



Colloque de transfert de connaissances

Des plants aux plantations : techniques, technologies et performances

Recueil des résumés

www.mrnf.gouv.qc.ca/carrefour/reboisement

19 septembre 2007
Centre des congrès de Québec



Québec 

Le contenu des résumés n'engage que la responsabilité des auteurs.

On peut retrouver le fichier PDF de ce recueil sur le site Internet de l'événement.

Organismes impliqués

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF)

- Direction de la recherche forestière (DRF)
- Direction générale des pépinières et des stations piscicoles (DGPSP)

Comité organisateur

Fabienne Colas, biol., DESS, DRF, MRNF

Michèle Bettez, agr., DGPSP, MRNF

Michèle Tourigny, ing.f., DGPSP, MRNF

Mohammed S. Lamhamedi, ing.f., Ph.D., DRF, MRNF

Remerciements

Nous tenons à remercier les organisateurs du Carrefour (Stéphan Mercier, Robert Légaré et Magella Morasse) pour l'invitation à tenir ce colloque et le support logistique durant la journée.

Maripierre Jalbert (DRF, MRNF) pour la conception graphique du recueil des résumés.

Sylvie Bourassa (DRF, MRNF) pour la révision linguistique.

Toutes les personnes qui sont impliquées dans la réussite de cette journée.

Le comité tient également à remercier la DGPSP et la DRF pour leur appui financier, ainsi que les gestionnaires de ces organisations (Jean-Claude Delarosbil, Gilles Gaboury et Robert Jobidon) pour leur soutien durant les différentes phases de préparation de ce colloque.

Crédits photos page couverture

De gauche à droite à partir du haut :

Pascal Desjardins (DRF, MRNF), Mohammed S. Lamhamedi (DRF, MRNF), Sylvie Carles (CEF, U. Laval), Laurence Tremblay (DRF et DGPSP, MRNF), André Rainville (DRF, MRNF), Guildo Gagnon (DRF, MRNF).

© Gouvernement du Québec

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2007

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2007

ISBN 978-2-550-50668-3 (Imprimé)

ISBN 978-2-550-50669-0 (PDF)

Code de diffusion : 2007-3027

Colloque de transfert de connaissances

Des plants aux plantations :

techniques, technologies et performances

Recueil des résumés

www.mrnf.gouv.qc.ca/carrefour/reboisement

19 septembre 2007

Centre des congrès de Québec

PROGRAMME

Le Colloque en un coup d'oeil
à la salle 205 AB du Centre des congrès de Québec

19 septembre 2007
Carrefour de la recherche forestière

9 h Mot d'accueil, **Gilles Gaboury** et **Jean-Claude Delarosbil**

9 h 15 *Les acquis et retombées de la recherche pour le programme de reboisement de l'épinette blanche au Québec,*
Denise Tousignant, Fabienne Colas, Mohammed S. Lamhamedi, Laurence Tremblay et Daniel Girard

9 h 45 *Tirer profit d'une espèce à haut rendement : quarante années d'efforts intégrés et continus en amélioration
génétique de l'épinette blanche,* **André Rainville** et Jean Beaulieu

10 h 15 **Pause**

10 h 30 *Utilisation de l'embryogenèse somatique en foresterie multi-clonale au Québec,*
Laurence Tremblay, Mohammed S. Lamhamedi, Fabienne Colas et Jean Beaulieu

11 h *Génétique et architecture des racines des plants d'épinette blanche,*
Sylvie Carles, Mohammed S. Lamhamedi, Jean Beaulieu, Fabienne Colas, Debbie Stowe et Hank A. Margolis

11 h 30 *Effets du traitement de jours courts sur la croissance des racines, la tolérance au gel et la nutrition minérale
des plants d'épinette noire (1+0) produits en pépinière forestière,*
Mohammed S. Lamhamedi, Mario Renaud, Pascal Desjardins et Linda Veilleux

12 h **Dîner**

13 h 30 *Mesure de l'activité de l'eau : intégration d'une nouvelle technologie pour le contrôle de la qualité des semences
et des pollens,* **Patrick Baldet**, Fabienne Colas et Michèle Bettez

14 h *Recherche et intégration de stratégies de lutte biologique contre les principaux ravageurs dans les pépinières
forestières,* **Claude Guertin**

14 h 30 *Le reboisement : un outil d'aménagement durable des forêts,* **Paule Têtu**

15 h **Pause**

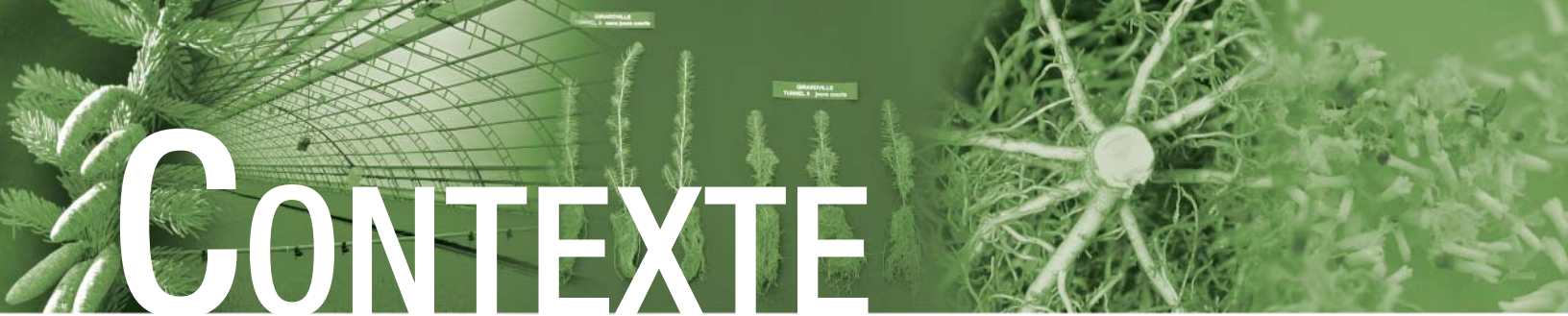
15 h 15 *Types de plants et compétition: éléments critiques à l'établissement de plantations,*
Vincent Roy et Nelson Thiffault

15 h 45 *Planter des arbres pour capturer le CO₂,* **Sylvie Tremblay**, Catherine Périé, Rock Ouimet, Lise Charette
et Guy Prigent

16 h 15 **Fin du colloque**

Tables des matières

	Programme.....	ii
	Tables des matières.....	iii
	Contexte.....	iv
	Objectifs.....	v
Conférences	Les acquis et retombées de la recherche pour le programme de reboisement de l'épinette blanche au Québec.....	1
	Tirer profit d'une espèce à haut rendement : 40 années d'efforts intégrés et continus en amélioration génétique de l'épinette blanche	7
	Utilisation de l'embryogenèse somatique en foresterie multiclonale au Québec.....	13
	Génétique et architecture des racines des plants d'épinette blanche produits en pépinière forestière.....	19
	Effets du traitement de jours courts sur la croissance des racines, la tolérance au gel et la nutrition minérale des plants d'épinette noire (1+0) produits en pépinière forestière.....	25
	Mesure de l'activité de l'eau : intégration d'une nouvelle technologie pour le contrôle de la qualité des semences et des pollens.....	33
	Recherche et intégration de stratégies de lutte biologique contre les principaux ravageurs dans les pépinières forestières.....	37
	Le reboisement : un outil d'aménagement durable des forêts	39
	Types de plants et compétition : éléments critiques à l'établissement de plantations.....	41
	Planter des arbres pour capturer le CO ₂	45
Stands et Affiches	Stands en lien avec le thème du colloque.....	49
	Stands thématiques du Carrefour 2007	49
	Domaine Reboisement et régénération naturelle.....	49
	Domaine Aménagement durable et protection	49
	Domaine Biodiversité.....	49
	Domaine Impact des changements climatiques.....	49
	Domaine Sylviculture des forêts résineuses	49
	Stands corporatifs du Carrefour 2007	49
	Affiches scientifiques en lien avec le thème du colloque.....	51
	Affiches scientifiques présentées au congrès Larix 2007	51
	Affiches scientifiques présentées à la réunion annuelle 2007 du Conseil du peuplier du Canada.....	51



CONTEXTE

Au Québec, environ 150 millions de plants forestiers sont produits chaque année par six pépinières publiques et 18 pépinières privées. Ces plants sont destinés à la remise en production des aires qui se régénèrent mal naturellement. Environ 15 à 20 % des superficies coupées annuellement sont reboisées afin de garantir une régénération suffisante, en quantité et en qualité.

Depuis bientôt 40 ans, le Québec s'est doté de programmes d'amélioration génétique des principales essences commerciales résineuses (épinettes blanche, noire et de Norvège; pin gris et mélèzes) afin d'augmenter la performance de ces espèces. Le réseau des vergers à graines de 1ère génération, dont l'implantation a débuté en 1982, est maintenant achevé. Les vergers de 2^e génération d'épinette blanche, d'épinette noire et de pin gris sont en cours d'installation ou commencent à produire des semences. Les résultats des travaux de recherche sur l'aménagement des vergers à graines ont facilité l'expression du plein potentiel de ces vergers.

La proportion de graines améliorées utilisées pour la production de plants augmente régulièrement. En 2006, 86 % des 500 millions de graines expédiées aux pépinières provenaient de sources améliorées. Depuis 2001, des améliorations ont été apportées à la chaîne d'extraction du Centre de semences forestières de Berthier (CSFB), ce qui a permis d'augmenter de façon significative le pouvoir germinatif moyen des semences destinées à la production de plants. Puisque les semences germent mieux, nous pourrions réduire le nombre de semences allouées pour la production de plants, sans nuire aux objectifs de production. Cette modification des facteurs d'ensemencement permettra d'augmenter plus rapidement la proportion de plants améliorés génétiquement.

Le travail entrepris au CSFB se poursuit afin de maintenir la qualité germinative des semences tout au long de leur conservation.

Les plants qui sont produits dans les pépinières forestières du Québec doivent satisfaire à des normes et des critères morpho-physiologiques exigeants. Les acquis de la recherche dans le domaine de la production de semences et de plants sont importants, et ils sont régulièrement intégrés aux opérations courantes. Il reste encore du travail à réaliser dans certaines productions, et des pratiques simples peuvent être instaurées afin d'améliorer de façon continue la qualité des plants produits en réceptifs.

En pépinière, quelques insectes causent des ravages importants et ont pour conséquence le déclassement ou la perte de plants. Le développement de la lutte biologique à l'aide de champignons entomopathogènes permet d'envisager un

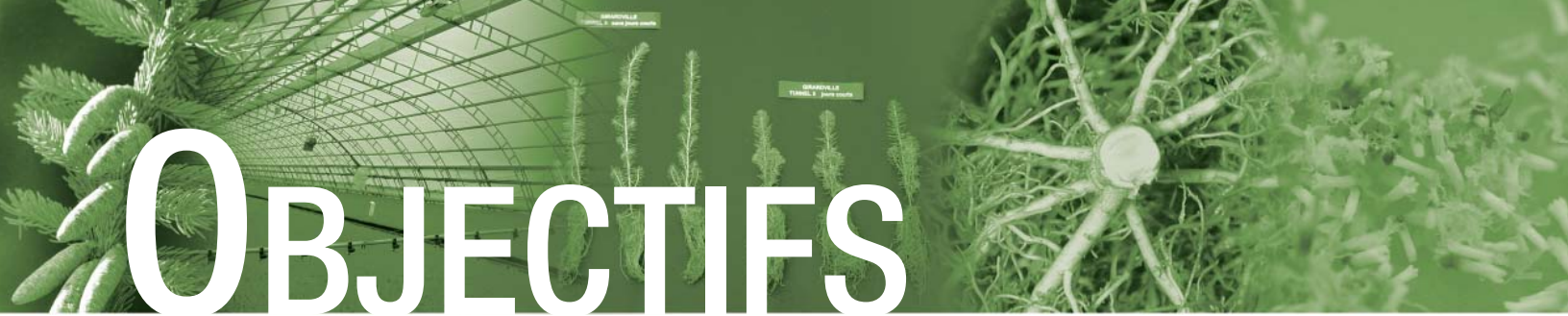
contrôle de ces insectes et de limiter le recours aux produits de lutte chimique.

Des percées technologiques majeures et le développement d'outils informatiques de gestion des cultures ont permis de rehausser la qualité des plants forestiers produits en pépinière. Citons entre autres l'optimisation de régies de cultures respectueuses de l'environnement, le développement de logiciels informatiques de gestion de la fertilisation et de la minéralisation de la matière organique; le suivi de la croissance et de la physiologie des plants et, enfin, un outil informatisé de gestion des semences et de plants à l'échelle du Québec.

En plus de la production de plants à partir de semences, le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) a développé la production de plants par bouturage. Déjà, près de quatre millions de plants sont ainsi produits annuellement. Ces plants, de la plus haute qualité génétique actuellement disponible, sont destinés aux aires les plus fertiles du Québec. Le MRNF mise également sur une foresterie multi-clonale respectueuse de la diversité génétique. À cet effet, une unité de production opérationnelle de plants issus d'embryogenèse somatique a été implantée à la pépinière forestière gouvernementale de Saint-Modeste (Bas Saint-Laurent). Avec ces plants somatiques, nous anticipons des gains de productivité de 30 à 40 % par rapport à ceux observés avec des plants issus de vergers à graines de 1ère génération. La première essence visée est l'épinette blanche à cause de la qualité de son bois. Le programme d'amélioration génétique de cette espèce est actuellement le plus avancé au Québec.

Depuis 2001, l'utilisation des phytocides est interdite en forêt publique. Cette politique québécoise, unique au Canada, a conduit au développement de nouveaux gabarits de plants de forte dimension (PFD). Les PFD sont destinés à des sites riches où la compétition végétale est importante. Ils résistent mieux à la concurrence tout en limitant les entretiens.

Réaliser des plantations avec le matériel végétal de la meilleure qualité tant génétique que morpho physiologique n'est pas suffisant pour en assurer le succès. L'adéquation entre l'espèce, le type de plant, le site retenu et une sylviculture dynamique sont des facteurs primordiaux pour qu'une plantation puisse atteindre les rendements prévus. Le reboisement est reconnu comme un outil pour augmenter le rendement de la forêt tout en réduisant la pression sur les forêts naturelles. Il doit également être vu comme un outil pour augmenter la séquestration du carbone et, ainsi, limiter l'augmentation des gaz à effet de serre.



OBJECTIFS

Organisé conjointement par la Direction de la recherche forestière et la Direction générale des pépinières et des stations piscicoles, toutes deux du ministère des Ressources naturelles et de la Faune, ce colloque s'adresse aux spécialistes et chercheurs du domaine des pépinières et du reboisement, ainsi qu'aux producteurs et utilisateurs de plants forestiers. Plus spécifiquement, ce colloque a comme objectif de présenter les résultats de plusieurs projets de recherche et de développement, certains réalisés de concert avec d'autres centres de recherche et des pépinières privées et publiques.

Outre la présentation de la sous-ministre associée à Forêt Québec, les conférences présenteront :

- le bilan des acquis des projets de recherche réalisés au Québec dans le programme de reboisement;
- le programme d'amélioration génétique de l'épinette blanche et l'influence de la génétique sur le développement racinaire de plants produits en récipients;
- les effets du traitement de jours courts sur le développement racinaire de plants d'épinette noire en pépinière;
- la mise en application de l'embryogenèse somatique en foresterie clonale au Québec;
- une nouvelle méthode pour améliorer le contrôle de la qualité des semences lors de leur extraction;
- la lutte biologique contre les principaux insectes dans les pépinières forestières;
- l'établissement des plantations en relation avec la compétition végétale;
- la capacité des plantations à fixer le carbone.



Les acquis et retombées de la recherche pour le programme de reboisement de l'épinette blanche au Québec

Denise Tousignant^{1,3}, Fabienne Colas¹, Mohammed S. Lamhamedi¹, Laurence Tremblay^{1,2} et Daniel Girard¹

Biographie de Denise Tousignant

Denise Tousignant est biologiste de formation, (Baccalauréat en Sciences biologiques de l'Université de Montréal obtenu en 1990, et Maîtrise en Biologie de l'Université McGill obtenue en 1993). À la suite de ses études universitaires, elle est recrutée comme conseillère scientifique par la pépinière forestière de Saint-Modeste. Ses recherches portent d'abord sur la mise sur pied à grande échelle du système « Bouturathèque », et l'initient au bouturage des arbres forestiers et à la production de plants en pépinière. Depuis 1998, elle est chercheuse à la Direction de la recherche forestière, dans l'équipe de Production de semences et plants. Elle concentre actuellement ses recherches sur les techniques de production de plants résineux issus de boutures. Elle entretient une collaboration étroite avec la DGPSP et le réseau des pépinières, spécialement les Pépinières de Saint-Modeste, de Grandes-Piles et de Berthier.

¹ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Direction de la recherche forestière (DRF), 2700, rue Einstein, Québec, QC, Canada G1P 3W8.

² MRNF, Direction générale des pépinières et des stations piscicoles (DGPSP), Pépinière forestière de Saint-Modeste, 410, rue Principale, Saint-Modeste, QC, Canada G0L 3W0

³ Téléphone : 418 643-7994, poste 6527.
Courriel : denise.tousignant@mrnf.gouv.qc.ca

TOUSIGNANT, D., F. COLAS, M. S. LAMHAMEDI, L. TREMBLAY et D. GIRARD, 2007. Les acquis et retombées de la recherche pour le programme de reboisement de l'épinette blanche au Québec. Dans : *Des plants aux plantations : Techniques, technologies et performances. Carrefour de la recherche forestière*, 19-20 septembre 2007, Québec, Canada. pp : 1-5.

Le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) joue un rôle central dans le reboisement au Québec, tant au niveau de la gestion et de la production de plants que de la recherche qui y est associée. La Loi sur les forêts (1986), la Stratégie de protection des forêts (1994) ainsi que la dynamique forestière elle-même ont modifié les enjeux de la foresterie québécoise, notamment avec l'élimination des phytocides en forêts et l'émergence d'une sylviculture intensive. Ces enjeux du reboisement font constamment évoluer les besoins en différents gabarits et types de plants, nécessitant le développement de nouvelles techniques et de nouveaux types de productions.

Depuis près de 40 ans, la Direction de la recherche forestière (DRF) du MRNF mène activement un programme de recherche et de développement d'avant-garde sur l'amélioration génétique classique des essences commerciales, la production de semences et de plants. Afin de profiter pleinement des gains génétiques résultant de ces travaux, toutes les étapes de la filière de production de plants doivent être optimisées en harmonie les unes avec les autres, soit de l'obtention des graines jusqu'à la plantation. Ces expertises de pointe diversifiées et complémentaires constituent la force de notre équipe multidisciplinaire de chercheurs au MRNF. Nos travaux visent à améliorer la qualité tant génétique que morphophysiologique des plants destinés au reboisement, toujours dans le respect de l'environnement et de la diversité génétique de nos essences commerciales.

Les chercheurs de la DRF en production de semences et plants travaillent en étroite collaboration et en complémentarité avec certaines universités et différentes pépinières du Québec, notamment la Direction générale des pépinières et des stations piscicoles (DGPSP, MRNF), les six pépinières gouvernementales (notamment les centres de semences forestières, de bouturage et d'embryogenèse somatique) et l'Office des producteurs de plants forestiers du Québec (18 pépinières privées). Cette synergie unique entre les chercheurs et les utilisateurs des résultats permet de mieux répondre aux problématiques de l'heure. Les projets de R-D de la DRF sont réalisés à l'interne ou en réseau avec les pépinières et certains

chercheurs du milieu universitaire. Afin de bien répondre aux besoins des aménagistes de vergers et pépiniéristes, les dispositifs sont réalisés directement en verger à graines ou en pépinière forestière, tant publique que privée. Le transfert de connaissances se fait en continu, ce qui facilite l'implantation rapide des résultats et des avancées techniques.

Les savoir-faire d'aujourd'hui découlent en majeure partie des acquis de la recherche effectuée depuis 40 ans. Les exemples suivants illustrent comment l'une des principales essences reboisée au Québec, l'épinette blanche, a pu bénéficier des innovations issues de la recherche en production de semences et plants, à toutes les étapes de la filière de reboisement.

Pollen et semences

En 2006, 86 % des graines résineuses ensemencées provenaient des sources améliorées du réseau québécois des vergers à graines. Cette proportion montait à 95 % pour l'épinette blanche. Pour cette essence, on compte 15 vergers de première génération et 2 de deuxième génération. L'aménagement et la gestion efficace de ce réseau a nécessité des études approfondies des mécanismes et de la phénologie de floraison de chaque espèce, dans les conditions climatiques propres au Québec (Mercier et Périnet 1998).

La pollinisation de masse permet d'augmenter significativement le rendement en semences améliorées des arbres des vergers à graines, surtout dans leur phase juvénile. La récolte des grandes quantités de pollen nécessaires à ces pollinisations, la constitution d'une banque pour la conservation à long terme de ces pollens (Colas et Mercier 2000) et la

pollinisation de masse elle-même, font toutes appel à des méthodes et appareils développés ou adaptés par la DRE, et qui sont maintenant utilisés couramment à l'échelle opérationnelle par la DGPSP.

De plus, les meilleurs individus identifiés dans les programmes d'amélioration génétique font l'objet de croisements dirigés afin d'obtenir des semences d'élite, destinées au bouturage. À la DGPSP, en 2006, le recours à des pollinisations dirigées (653 sacs de pollinisation) entre les meilleurs arbres d'épinette blanche a permis de produire 3 millions de semences de qualité génétique supérieure, représentant 25 croisements différents. Ces mêmes croisements sont également utilisés pour la production de plants par embryogenèse somatique.

Les semences produites sont traitées et conservées au Centre de semences forestières de Berthier. Des études sur le criblage des semences d'épinette blanche ont permis de déterminer que les plus petites semences (calibre 4) montraient un retard de croissance par rapport aux plus grosses. Sauf pour les cultures de graines issues de croisements dirigés, en raison de leur coût de production élevé (les graines sont alors semées séparément), les graines de calibre 4 ne sont plus fournies aux pépiniéristes. À la suite des recommandations d'une étude (Colas et Bettez 2001), les graines d'épinette blanche sont livrées stratifiées aux pépiniéristes afin de lever la dormance, d'uniformiser et d'accélérer la germination. Finalement, l'optimisation des facteurs d'ensemencement va permettre de réduire les quantités à ensemer en fonction des taux de germination, ce qui va générer des économies pouvant aller jusqu'à 20 % des semences allouées. Du même coup, les besoins en aménagement de sources semencières pour la DGPSP sont significativement réduits, de même que les travaux d'éclaircie des réceptifs pour les pépiniéristes.

Production de plants issus de semences

Plusieurs impératifs environnementaux et économiques ont guidé les recherches en production de plants. Ainsi, c'est la Stratégie québécoise de protection des forêts, interdisant l'utilisation de phytocides en milieu forestier, qui a conduit à la production de plants de fortes dimensions (PFD) destinés au reboisement des sites à forte compétition. Ces nouveaux produits ont été développés en tandem avec des recherches en plantation, qui ont permis de qualifier les types de plants les mieux adaptés en fonction de la nature de la végétation de compétition (Thiffault *et al.* 2003). La production à grande échelle des PFD, dans les conditions climatiques québécoises, comporte des défis particuliers, notamment pour des essences comme l'épinette blanche. Des études approfondies ont été effectuées sur les besoins en eau en relation avec la réduction du lessivage des éléments minéraux, la croissance, les échanges gazeux et les relations hydriques de cette essence (Lamhamedi *et al.* 2001, Stowe *et al.* 2001). Des technologies de pointe, notamment la réflectométrie dans le domaine temporel, ont été adaptées à la gestion de l'irrigation de cette essence en pépinière forestière (Lamhamedi *et al.* 2002). Récemment, une étude a mis en évidence la variabilité spatiale de l'irrigation générée par les asperseurs utilisés à l'extérieur lors de la deuxième saison de croissance des plants



Figure 1. Fleurs femelles d'épinette blanche réceptives pour la pollinisation. (Photo : Pascal Desjardins, DRF, MRNF).

(Lamhamedi *et al.* 2006). Cette étude a permis d'élaborer des recommandations pour un échantillonnage plus efficace en vue de déterminer les besoins en eau des cultures, ainsi que le suivi de croissance des cultures. Il en résulte des économies et une amélioration de la qualité des plants. Également, d'autres travaux ont permis de développer des seuils de tolérance au gel, selon les régions écologiques, permettant d'évaluer l'endurcissement progressif à l'automne des jeunes semis d'épinette blanche (1+0) produits sous tunnels. Ceci permettra de réduire les pertes de plants dues au gel, en permettant aux pépiniéristes de mieux cibler les périodes de risque de gel et de faciliter la prise de décision en matière de protection des plants (Lamhamedi *et al.* 2005).



Figure 2. Mesure de la teneur en eau du substrat en temps réel à l'aide du MP-917 (ESI Environmental Sensors inc., Victoria CB, Canada) (Photo : Mohammed S. Lamhamedi et Mario Renaud, DRF, MRNF).

La conception du logiciel PLANTEC pour le contrôle de la fertilisation en pépinière forestière est une autre réalisation majeure du MRNF (Girard *et al.* 2001). Une nouvelle version améliorée et enrichie de ce logiciel (Plantec 2) est en phase de calibrage dans plusieurs pépinières forestières. La DGPSP a organisé des séances de formation et de transfert de technologie destinées aux 24 pépinières forestières du Québec et aux chercheurs de la DRF en production de plants. Cet outil permet de gérer les cultures en fonction des besoins nutritifs réels des plants, et en suivant des profils de croissance spécifiques à chaque produit. La qualité des plants et l'efficacité des fertilisations s'en trouvent nettement améliorées. Un autre logiciel, LessN, également issu de recherches de son calibrage effectuées à la DRF, permet de quantifier l'azote issu de la minéralisation afin de réduire l'utilisation des engrais et leur lessivage. Ainsi, ce logiciel sera intégré à la nouvelle version du logiciel Plantec 2. Ceci permettra de protéger les eaux souterraines tout en diminuant les coûts associés à l'utilisation des engrais chimiques. Pour le calibrage de Less N, près de 40 cases lysimétriques ont été installées dans des cultures à racines nues, dans plusieurs pépinières gouvernementales. De plus, afin d'estimer le lessivage et d'optimiser les régies d'irrigation pour les cultures en récipient, plusieurs capteurs de lessivat spécifiques à ce type de culture ont été également installés dans plusieurs pépinières forestières.

Production de plants issus de boutures

Le bouturage est une technique permettant de multiplier végétativement et à grande échelle les semences d'élite, provenant des croisements dirigés dont les parents ont montré leur supériorité en matière de productivité. On le pratique depuis 1989 au Centre de bouturage de la Pépinière de Saint Modeste, grâce à deux types d'installations uniques et complémentaires, développés au MRNF. Le système « *Bouturathèque* » (Vallée et Noreau 1990) est principalement utilisé pour l'épinette noire (Tousignant *et al.* 1996), et le système de doubles enceintes (Tousignant et Rioux 2002), davantage pour l'épinette blanche et le mélèze hybride.

Les graines de croisements dirigés sont ensemencées et cultivées en tant que pieds-mères. Après une année, les pieds-mères d'épinette blanche produisent une douzaine de boutures, que l'on prélève à une longueur et à un stade de lignification précis. Celles-ci sont ensuite placées dans des conditions finement contrôlées pour favoriser l'enracinement. Dans les doubles enceintes, jusqu'à 85 % des boutures d'épinette blanche s'enracinent en 12 semaines. Par la suite, les boutures sont repiquées et cultivées deux années en pépinière avant d'être livrées au reboisement en tant que plants de fortes dimensions.

Afin de répondre à la demande de plants issus de boutures pour cette essence (objectif en 2007 de 3,38 millions de plants livrables), le système de doubles enceintes a récemment été déployé dans deux autres pépinières gouvernementales (Grandes-Piles et Berthier).

L'importante variabilité familiale et clonale qui caractérise l'épinette blanche s'observe notamment chez les pieds-mères (Lamhamedi *et al.* 2000, 2007). Pour atteindre les objectifs de bouturage, chaque croisement dirigé est assujéti à une caractérisation morpho-physiologique, tout au long des différentes étapes de culture et de bouturage (Lamhamedi *et al.* 2007). Cette caractérisation des semences, des plants, des pieds-mères et des boutures aidera le pépiniériste à optimiser l'utilisation des meilleurs croisements dirigés, tout en tenant compte de la diversité génétique du matériel. Il pourra ainsi mieux gérer ses populations et activités pour faciliter le bouturage et la culture de plants.



Figure 3. Insertion de boutures d'épinette blanche dans le récipient d'enracinement. (Photo : Nicole Robert, DRF, MRNF).

Production de plants par embryogenèse somatique

Depuis 1990, le MRNF s'est montré visionnaire en s'impliquant dans le développement des techniques d'embryogenèse somatique des conifères et des infrastructures nécessaires pour la mise en place d'un programme de foresterie clonale au Québec. L'embryogenèse somatique va permettre de sélectionner des clones élites et de les reproduire à grande échelle et ce, en complémentarité avec le bouturage. La DGPSP, conjointement avec la DRE, intègre progressivement cette technologie dans la filière de reboisement (Tremblay *et al.* 2006). Ainsi, une unité de production de plants par embryogenèse somatique a été implantée à la pépinière de Saint-Modeste. L'épinette blanche est la première essence visée à l'échelle opérationnelle. L'identification des meilleurs clones, par des tests clonaux, et leur multiplication par embryogenèse somatique, permettront de maximiser les gains génétiques tout en respectant la diversité génétique.

Les plants (clones) d'épinette blanche produits par embryogenèse somatique ont montré des qualités morphophysiologiques semblables, voire même supérieures à celles des plants issus de semences (Lamhamedi *et al.* 2000). Le développement et l'adaptation d'une technique d'acclimatation des plants, unique au monde (Lamhamedi *et al.* 2003), sans recourir à l'utilisation de la brumisation, permet de garantir des taux de survie des essences commerciales supérieurs à 98 % en pépinière forestière.

En conclusion, les investissements consentis depuis 40 ans par le MRNF en recherche sur la production de semences et de plants ont porté plusieurs fruits, et continuent de le faire. L'exemple de l'épinette blanche n'illustre qu'une partie des innovations québécoises issues de ces recherches. Celles-ci se traduisent en bénéfices concrets, tout au long de la filière de production de plants. Le Québec se place ainsi parmi les chefs de file en production de semences et de plants forestiers. Des plants de qualité constituent un levier inestimable pour augmenter, de façon significative, la productivité et le rendement de nos reboisements.



Figure 4. Plantules issues d'ES après 9 semaines en germination. (Photo : Laurence Tremblay, MRNF).

Références citées

- COLAS, F. et M. BETTEZ, 2001. *Operational methods for seed stratification in Quebec*. Tree Seed Working Group News Bulletin 34 : 17.
- COLAS, F. et S. MERCIER, 2000. *Évaluation et maintien de la viabilité des pollens utilisés dans le programme d'amélioration de arbres*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 135. 78 p.
- 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, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 111. 8 p.
- LAMHAMED, M.S., F. COLAS, D. TOUSIGNANT et M. RIOUX, 2007. *Characterization and multi-criteria selection of stockplants for the mass cutting propagation of white spruce (Picea glauca) in Quebec*. Dans : Beardmore, T.L. et J. D. Simpson (éditeurs). Recent advances in seed physiology and technology. Proceedings IUFRO Tree Seed Symposium, meeting of IUFRO Research Group 2 09.00 Fredericton (Nouveau-Brunswick), 18-21 juillet 2006. p. 64.
- LAMHAMED, 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 Science Society of America Journal 70 : 108-120.
- LAMHAMED, M.S., M. RENAUD et 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*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Forêt Québec, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 147. 52 p.
- LAMHAMED, M.S., H. CHAMBERLAND et F.M. TREMBLAY, 2003. *Epidermal transpiration, ultrastructural characteristics and net photosynthesis of white spruce somatic seedlings in response to in vitro acclimatization*. Physiologia Plantarum 18 : 544-561.
- LAMHAMED, M.S., M. RENAUD et H.A. MARGOLIS, 2002. *La réflectométrie dans le domaine temporel : une technique d'optimisation de l'irrigation et de réduction du lessivage en pépinières forestières au Québec*. Cahiers Agricultures 11 : 275-283.
- LAMHAMED, 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*. Canadian Journal of Forest Research 31:1968-1980.
- LAMHAMED, M.S., H. CHAMBERLAND, P.Y. BERNIER et F.M. TREMBLAY, 2000. *Clonal variation in morphology, growth, physiology, anatomy and ultrastructure of container-grown white spruce somatic seedlings*. Tree Physiology 20 : 869-880.
- MERCIER, S. et P. PÉRINET, 1998. *The second génération seed orchard research project at the Direction de la recherche forestière in Québec*. Forestry Chronicle 74(2) : 181-184.

- 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 regime*. Canadian Journal of Forest Research 31 : 1922-1929.
- THIFFAULT, N., R. JOBIDON et A.D. MUNSON, 2003. *Performance and physiology of large containerized and bare-root spruce seedlings in relation to scarification and competition in Quebec (Canada)*. Annals of Forest Science 60 : 645-655.
- TOUSIGNANT, D., P. PÉRINET et M. RIOUX, 1996. *Le bouturage de l'épinette noire à la Pépinière de Saint Modeste*. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles. Rapport RN96-3004. 33 p.
- TOUSIGNANT, D. et M. RIOUX, 2002. *Le bouturage des résineux à la pépinière de Saint-Modeste (Québec, Canada) : 10 ans de recherche, de développement et d'innovations*. Dans : Verger, M. (éd.). Multiplication végétative des ligneux forestiers, fruitiers et ornementaux. Troisième rencontre du groupe de la Sainte-Catherine, 22-24 novembre 2000, Orléans, France. Actes [CD-ROM]. Montpellier, France : CIRAD-INRA. p. 65-86.
- TREMBLAY, L., M.S. LAMHAMEDI, F. COLAS, D. TOUSIGNANT, A. RAINVILLE, G. PRÉSENT, J.-Y. GUAY, M. RIOUX, et J. BEAULIEU, 2006. *White spruce in Québec: a multidisciplinary approach for enhancing forest productivity*. Dans: 30^e rencontre de l'Association canadienne des améliorateurs d'arbres (ACAA) / Canadian Tree Improvement Association (CTIA), Tree Seed Working Group, Charlottetown (Île du-Prince-Édouard), 24 juillet 2006, p. 7, Section 6.
- VALLÉE, G. et R. NOREAU, 1990. *La « Bouturathèque » : système de bouturage compact hors serre*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction de la recherche (Forêts). Note de recherche forestière n° 41. 6 p.

[illegible]



Tirer profit d'une espèce à haut rendement : 40 années d'efforts intégrés et continus en amélioration génétique de l'épinette blanche

André Rainville¹ et Jean Beaulieu^{2,3}

Biographie de André Rainville

André Rainville est ingénieur forestier depuis 1983. Après avoir travaillé un an dans l'industrie forestière (Uniboard Canada), il prend en charge la conception du plan de mise en valeur des forêts privées du Saguenay-Lac-Saint-Jean. À l'emploi du ministère des Ressources naturelles depuis 1985, il agit d'abord comme conseiller auprès des régions pour l'aménagement des vergers à graines. En 1992, il devient responsable du projet d'amélioration génétique des feuillus nobles et obtient, un an plus tard, un diplôme de maîtrise en écologie et pédologie forestières, spécialisée en amélioration génétique, de la Faculté de Foresterie et de Géomatique de l'Université Laval. En 1996, il prend le relais du programme d'amélioration génétique de l'épinette blanche, transféré au MRNFP par le Service canadien des forêts (SCF). Finalement en 2002, il initie un nouveau projet sur l'évaluation des gains réels de productivité associés au reboisement avec des plants génétiquement améliorés.

M. Rainville agit aussi comme conseiller expert et fait partie de divers comités provinciaux et canadiens en génétique forestière, entre autres sur les questions de conservation des ressources génétiques.

¹ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Direction de la recherche forestière (DRF), 2700, rue Einstein, Québec, QC, Canada G1P 3W8.

Téléphone : 418 643-7994 poste 6548.

Courriel : andre.rainville@mrnf.gouv.qc.ca

² Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre canadien sur la fibre de bois, 1055, rue du Peps., Case postale 10 380, Succursale Sainte-Foy, Québec (Québec) G1V 4C7

³ Chaire de recherche du Canada en génomique forestière et environnementale, Centre d'étude de la forêt, Université Laval, Québec (Québec) G1K 7P4

RAINVILLE, A. et J. BEAULIEU, 2007. Tirer profit d'une espèce à haut rendement : 40 années d'efforts intégrés et continus en amélioration génétique de l'épinette blanche. Dans : *Des plants aux plantations : Techniques, technologies et performances*. Carrefour de la recherche forestière, 19-20 septembre 2007, Québec, Canada. pp : 7-10.

Le Québec a choisi d'aménager ses forêts selon l'approche écosystémique tout en visant à maintenir ou à augmenter la possibilité forestière. Dans de telles conditions, le reboisement avec du matériel génétiquement amélioré est le moyen à privilégier pour augmenter le rendement des forêts si on veut en même temps augmenter les superficies protégées. L'épinette blanche, une espèce à haute productivité, fait l'objet de travaux en génétique et en amélioration des arbres depuis plus de 40 ans au Québec. Les résultats obtenus confirment tous ses avantages pour l'établissement de plantations à haute productivité auxquelles est combinée une sylviculture appropriée, voire intensive sur les stations hautement productives. Tant l'expertise que les connaissances acquises et le matériel mis en place dans les dispositifs expérimentaux répartis dans les divers domaines écologiques du Québec nous apportent aujourd'hui des réponses et des solutions à de nouvelles préoccupations et nous ouvrent la porte à des innovations. Plus que jamais, la synergie entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée en génétique et en amélioration des arbres est le gage de plantations plus productives qui pourront contribuer encore davantage au rendement des forêts du Québec, dans le respect des principes de l'aménagement forestier durable.

Après avoir tracé le portrait des efforts déployés depuis plus de 40 ans en génétique et en amélioration de l'épinette blanche au Québec, la présentation mettra l'accent sur les résultats actuels et anticipés en terme de rendement des plantations. Elle visera aussi à démontrer qu'au-delà de ces résultats, les généticiens et améliorateurs ont pris en considération, au cours de leur travail, divers aspects liés à l'environnement et à l'économie. L'intégration des outils de la génétique moléculaire au programme d'amélioration permettra de rendre la sélection plus efficace et de tirer finalement un plus grand avantage de la variabilité naturelle de l'épinette blanche.

Les premiers efforts visant à acquérir des connaissances sur la génétique de l'épinette blanche remontent à la fin des années 1950; le Service canadien des forêts établissait alors une dizaine de tests dans plusieurs régions au Québec, comprenant chacun des provenances de toute l'aire de distribution

de l'espèce. Ces tests furent complétés dans les années 1970 et 1980 par l'ajout de huit nouveaux tests comprenant plusieurs centaines de familles, principalement d'origine québécoise. (Beaulieu, 1999), figure 1.



Figure 1. Test de descendance planté en 1969 à Valcartier
(Photo : André Rainville, MRNF).

Les informations obtenues de ces deux séries de tests ont permis, entre autres, d'identifier des provenances supérieures, soit celles de la région des Grands-Lacs, qui affichaient un gain en volume de 19 à 53 % par rapport aux sources québécoises. Elles ont aussi mené à la délimitation de deux zones de transfert des sources de semences pour l'épinette blanche au Québec, ainsi qu'à l'acquisition de connaissances sur la densité du bois de plantations et sur son comportement au séchage (gauchissement, fléchissement, retrait), avec la collaboration de l'Université Laval et de Forintek Canada Corp. (Beaulieu *et al.* 2002; 2006)

De son côté le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRNQ) lançait, au début des années 1980, un ambitieux programme de reboisement au Québec. Afin de produire les semences améliorées nécessaires à l'approvisionnement de ce programme, il mettait en place, entre 1983 et 1991, un réseau de 17 vergers à graines d'épinette blanche de première génération. Comme les travaux d'amélioration génétique effectués par le SCF n'étaient pas très avancés et les connaissances encore fragmentaires (Beaulieu 1999), les arbres devant servir à constituer ces vergers à graines étaient sélectionnés principalement sur une base régionale, en forêt naturelle. À la même époque, le MRNQ travaillait à mettre au point une technique de reproduction végétative, le bouturage, et finançait le développement de l'embryogenèse somatique par une équipe de chercheurs de l'Université Laval.

Quelques années plus tard, soit en 1994, les autorités du MRNQ mandataient un comité pour proposer des stratégies afin de développer la deuxième génération d'amélioration. Ce comité, formé de chercheurs en amélioration génétique du MRNQ, du Service canadien des forêts (SCF) et de l'Université Laval, jetait les bases d'une collaboration qui allait devenir, avec les années, de plus en plus étroite et complémentaire. En 1996 en effet, la mission du SCF prit une

orientation différente, étant dorénavant axée sur la recherche fondamentale en génétique de pointe et en génie génétique. Pour l'épinette blanche, cette réorientation signifiait que le MRNQ devenait l'unique responsable du programme d'amélioration génétique au Québec. Il mit les bouchées double et établit, avec le matériel légué par le SCF, plusieurs plantations expérimentales issues de croisements dirigés entre arbres sélectionnés, puis deux vergers à graines clonaux de deuxième génération; la DRF entreprit aussi, sur une période de cinq ans, l'évaluation des clones composant les vergers de première génération. En 2002 et 2003, elle réalisa plusieurs centaines de croisements dirigés chez une nouvelle population d'arbres sélectionnés.

Comment se concrétisent justement tous ces efforts, aussi bien en termes de proportion de plants améliorés que de rendement des plantations ?

Une forte proportion (87%) des épinettes blanches actuellement plantées au Québec proviennent de vergers à graines de première génération; dans la sapinière, sur une station de fertilité moyenne, ces plantations nous procurent un volume marchand variant de 4,7 à 4,8 m³/ha/an⁴, de 6 % supérieur aux plantations issues de semences récoltées en peuplements naturels. La seconde génération de vergers, établie en 1999, a déjà commencé à produire des semences (figure 2); les plantations opérationnelles réalisées avec ces semences ont un rendement anticipé en volume marchand de 5,1 m³/ha/an, supérieur de 15 % aux plantations issues de semences récoltées en peuplements naturels, toujours dans la sapinière sur une station de qualité moyenne.



Figure 2 Verger de deuxième génération planté en 1999 à la pépinière forestière de Berthier (Photo : Régis April, MRNF).

À chaque cycle d'amélioration, les rendements des plantations seront liés aux stratégies de déploiement utilisées. Ainsi, on peut choisir de contrôler la pollinisation des arbres sélectionnés plutôt que de les laisser se croiser librement dans des vergers à graines (figure 3). Le rendement attendu

⁴ Volume marchand estimé à l'âge de 60 ans, pour une densité de plantation de 2 000 tiges/ha.



Figure 3 Croisements dirigés entre arbres sélectionnés, réalisés au Centre d'expérimentation et de greffage de Duchesnay (Photo : André Rainville, MRNF).

des plantations issues de ces croisements dirigés est de $5,6 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ en moyenne dans la sapinière, soit de 25 % supérieur à celui des plantations établies à l'aide de semences de peuplements naturels. Sur les stations les plus fertiles de la sapinière, ce rendement passe à $6,7 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$. Lorsqu'on plante ce matériel plus au sud, dans l'érablière, le rendement moyen attendu sur l'ensemble des stations est de $6,9 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$, et de $7,8 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ sur les meilleures stations. Puisque ces semences sont toutefois produites en faible quantité, elles devront être multipliées végétativement par bouturage pour hausser le nombre d'hectares reboisées. C'est ce qui est fait à la bouturathèque de Saint-Modeste. Actuellement, 3,4 millions de boutures d'épinette blanche sont produites au Québec.

L'ensemble des semences issues d'un croisement dirigé forme une famille, mais chacun des semis qui en émerge a une identité génétique qui lui est propre, et donc un potentiel de croissance unique. Cette différence peut être exploitée à grande échelle si on reproduit les individus qui possèdent les caractéristiques les plus avantageuses en de multiples copies par des techniques de clonage. Cette différence est à l'origine de ce qu'on appelle la variabilité clonale, un niveau supplémentaire de variabilité que peuvent exploiter les améliorateurs et qui promet d'être très rentable en terme de gains génétiques. Dans un test clonal âgé de cinq ans, la croissance en hauteur des meilleurs clones d'épinette blanche a été de 59 % supérieure aux individus provenant de peuplements naturels. À partir de 2007, la DRF s'engagera résolument dans la foresterie clonale puisqu'un grand nombre de clones seront ainsi évalués, de manière continue, en collaboration avec la Direction générale des pépinières et des stations piscicoles (DGPPS). Une fois les meilleurs clones identifiés, ils pourront ensuite être reproduits en des milliers de copies, grâce à l'embryogenèse somatique, pour la production de plants de très haute qualité génétique.

D'un point de vue économique, le Québec est maintenant mieux positionné que jamais pour augmenter sa production forestière par le reboisement, et l'épinette blanche représente une espèce à privilégier en raison de son haut rendement et

de sa grande plasticité. La connaissance acquise après plus de 40 ans de travaux en génétique et en amélioration des arbres nous a aussi permis de définir des règles de déplacement pour les diverses sources de semences, basées à la fois sur des données écologiques et sur les patrons de variation des caractères adaptatifs. De nouveaux outils puissants seront sous peu à notre disposition, entre autres, ceux de la génomique, afin de nous permettre de sélectionner des arbres qui auront un meilleur rendement et qui produiront plus de bois de meilleure qualité, tout en diminuant le temps de sélection (outil d'aide à la sélection). Le projet *Arborea*, un des deux seuls projets en génomique forestière financés par Génome Canada et qui a été amorcé en 2002 par une équipe multidisciplinaire de recherche coordonnée par les professeurs John MacKay et Jean Bousquet de l'Université Laval, a pour objectif d'identifier les gènes responsables de la variation naturelle des caractères de croissance et du bois dans les populations d'amélioration de l'épinette blanche. Les informations recueillies seront ensuite utilisées pour la sélection assistée par marqueurs des individus possédant les propriétés souhaitées et pour assurer une meilleure gestion des ressources génétiques de cette espèce. Le projet *Arborea* regroupe près de 80 personnes (chercheurs, stagiaires post doctoraux...) de l'Université Laval, du Service canadien des forêts, du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (DRF), de l'Agriculture et Agro alimentaire Canada, de FPInnovations, Paprican, de l'université de l'Alberta et de l'université de Géorgie, aux États-Unis.

D'un point de vue environnemental, la quête de rendements toujours supérieurs, obtenus en sélectionnant les meilleurs parmi les meilleurs, risque-t-elle d'avoir un impact négatif sur la variabilité génétique naturelle de l'épinette blanche?

Même si le choix du nombre de familles et de clones à utiliser dans les programmes d'amélioration génétique et de production de plants a été historiquement empreint de prudence au Québec, il a quand même fallu attendre au début des années 1990 pour obtenir les premières véritables confirmations de l'effet de la sélection sur la diversité génétique; elles nous ont été apportées par les outils de la génétique moléculaire. Ces outils nous ont aussi permis d'évaluer l'impact des travaux d'aménagement forestier, comme la fragmentation des paysages ou les pratiques de régénération artificielle, sur la diversité génétique. Les plantations d'épinette blanche mises en place par les généticiens depuis quelques dizaines d'années au Québec peuvent aussi nous renseigner sur la réponse d'une source de semences donnée lorsqu'elle est déplacée dans une diversité d'environnements, permettant ainsi d'estimer l'impact potentiel des changements climatiques en associant leur performance aux déplacements réalisés vers des régions plus chaudes. Un modèle mathématique, développé grâce à une collaboration entre les chercheurs du SCF et de l'Université Laval, a servi à prédire l'effet des changements climatiques sur le rendement de l'épinette blanche en plantation (Andalo *et al.* 2005; Rainville et Beaulieu 2005). Ce modèle pourra être utilisé par le MRNF pour guider le choix des provenances les plus performantes à utiliser dans les reboisements, en fonction des conditions climatiques futures.

Vous voulez en savoir plus..., connaître les résultats de ces recherches ?

La présentation couvrira tant les aspects économiques et environnementaux, le passé et l'avenir, les acteurs, les retombées et les opportunités de plus de 40 années d'efforts en génétique et amélioration des arbres. Écologistes et économistes, soyez-y et vous y trouverez vos réponses.

Conclusion

Plus de 40 ans après le début des programmes de recherche en génétique et en amélioration de l'épinette blanche au Québec, l'expertise et les connaissances acquises, de même que le matériel mis en place au Québec, ont ouvert la porte à de nouvelles opportunités de collaboration (MRNF, SCE, FPInnovations, Centre canadien sur la fibre de bois, Université Laval, *Arborea*), à une synergie encore plus grande entre la recherche fondamentale et la recherche appliquée. Cette recherche vise à combler des besoins diversifiés, à répondre à de nouvelles préoccupations. Depuis 1996, le programme d'amélioration est maintenant entièrement réalisé par la Direction de la recherche forestière (DRF) et son objectif est toujours de sélectionner le meilleur matériel dans le but d'augmenter le rendement des plantations mais pour y parvenir, le MRNF doit veiller à ce que ces connaissances fondamentales soient intégrées à la pratique, qu'elles soient utilisées dans des conditions qui permettent l'expression du plein potentiel génétique de l'épinette blanche. Les études menées en sylviculture des plantations ont amplement démontré l'importance de la fertilité des stations et de la fréquence des éclaircies sur le rendement des plantations. Avec une sylviculture adéquate, le Québec est bien positionné pour augmenter sa productivité forestière et poser les jalons qui nous permettront de hausser les superficies consacrées à la conservation des ressources génétiques.

Références

- ANDALO, C., J. BEAULIEU et J. BOUSQUET, 2005. *The impact of climate change on growth of local white spruce populations in Québec, Canada*. For. Ecol. Manage. 205 : 169-182.
- BEAULIEU, J., 1999. *Les programmes d'amélioration génétique : bilan des réalisations. L'épinette blanche*. Dans : L'amélioration génétique en foresterie : où en sommes-nous? Actes du Colloque tenu à Rivière-du-Loup du 28 au 30 septembre 1999. pp. 53-60.
- BEAULIEU, J., B. GIRARD et Y. FORTIN, 2002. *Effect of drying treatments on warping of 36 year-old white spruce seed sources tested in a provenance trial*. Ann. For. Sci. 59 : 503-509.
- BEAULIEU, J. et A. RAINVILLE, 2005. *Adaptation to climate change : genetic variation is both a short- and a long-term solution*. For. Chron. 81(5) : 704-709.
- BEAULIEU, J., S. Y. ZHANG, Q. YU et A. RAINVILLE, 2006. *Comparison between genetic and environmental influences on lumber bending properties in young white spruce*. Wood and Fibre Science 38 (3) : 553-564.
- RAINVILLE, A. et J. BEAULIEU, 2005. *Adaptation aux changements climatiques : la génétique peut-elle nous servir?* Dans : Changements climatiques et foresterie : impacts et adaptation, Baie-Comeau (Québec) 20 et 21 avril 2005. pp 18-21.

[illegible]

[illegible]



Utilisation de l'embryogenèse somatique en foresterie multiclonale au Québec

Laurence Tremblay^{1,2,4}, Mohammed S. Lamhamedi², Fabienne Colas² et Jean Beaulieu³

Biographie de Laurence Tremblay

Laurence Tremblay a obtenu un baccalauréat en science biologie de Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), en 1986. En 1990, elle obtient un diplôme de maîtrise en sciences forestières de l'Université Laval.

De 1986 à 2005, elle exerce, de façon successive, les postes d'auxiliaire de recherche sur la multiplication végétative du bleuet nain à UQAC, de chargé de projets de recherche en embryogenèse somatique des essences forestières à l'Université Laval, de chargé de projets sur la multiplication in vitro de la luzerne chez Médicago Inc., de responsable du laboratoire de la transformation génétique des arbres forestiers au Service canadien des forêts.

Depuis 2005, elle a été engagée à titre de chercheuse dans le cadre d'une collaboration conjointe en matière de R-D entre la Direction générale des pépinières et des stations piscicoles et la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Elle poursuit ses recherches dans le domaine de l'embryogenèse somatique des conifères et de son intégration en pépinières forestières, ainsi que la production de clones destinés aux différents tests clonaux.

¹ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Direction générale des pépinières et des stations piscicoles (DGPS), 410, rue Principale, Saint-Modeste (Québec) G0L 3W0.

² MRNF, Direction de la recherche forestière (DRF), MRNF, 2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8.

³ Centre canadien sur la fibre de bois, Ressources naturelles Canada, 1055, rue du Peps, Case postale 10 380, Succ Sainte-Foy, Québec (Québec) G1V 4C7.

⁴ Courriel : Laurence.Tremblay@mrnf.gouv.qc.ca

L. TREMBLAY, M. S. LAMHAMED, F. COLAS et J. BEAULIEU, 2007. Utilisation de l'embryogenèse somatique en foresterie multi-clonale au Québec. Dans : Des plants aux plantations : Techniques, technologies et performances. Carrefour de la recherche forestière, 19-20 septembre 2007, Québec, Canada. pp : 13-16.

Introduction

Depuis 25 ans, le Québec a investi dans l'établissement d'un important réseau de vergers à graines afin de produire des semences et des plants forestiers présentant une croissance et un rendement plus élevé. Grâce à l'avancement des programmes d'amélioration génétique réalisés par la Direction de la recherche forestière (DRF) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), la Direction générale des pépinières et des stations piscicoles (DGPS) dispose de recommandations de matériel génétique de très haute qualité, recommandations qui sont utilisées pour l'aménagement de nouvelles sources de semences et la réalisation de croisements dirigés entre individus d'élite. Ces croisements vont permettre, notamment, la production de clones par embryogenèse somatique (ES). En utilisant ces clones en plantation, le Québec entre dans l'ère de la foresterie multiclonale. Ceci est une option de choix qui permettra d'obtenir, rapidement, des rendements forestiers plus importants qu'avec des plants issus des semences de vergers à graines conventionnels.

Le Québec est maintenant bien positionné pour accentuer ses efforts en foresterie multiclonale tout en respectant la diversité génétique. En effet, dans un premier temps, le MRNF a subventionné des projets de R-D pour développer des protocoles spécifiques aux différentes essences commerciales à l'échelle du laboratoire. En 2001, le MRNF a investi dans la mise à l'échelle opérationnelle de l'embryogenèse somatique (ES) comme technique de production de clones montrant des caractéristiques supérieures. Ainsi, il est possible de choisir les meilleurs individus chez une famille issue de croisements dirigés, et de les multiplier végétativement par ES pour constituer des variétés multiclones. La première essence visée est l'épinette blanche car son programme d'amélioration génétique est le plus avancé parmi les espèces résineuses.

Définition et principales étapes de l'embryogenèse somatique

L'ES est une méthode de multiplication végétative qui permet d'obtenir, à partir d'une seule graine, un nombre illimité d'embryons somatiques, lesquels deviendront des plants

dont le génotype est identique à la graine initiale. Le terme somatique signifie que les embryons sont créés de façon asexuée. Six principales étapes sont nécessaires soient : 1) l'induction qui est l'obtention de tissu embryogène à partir de l'embryon zygotique extrait de la graine; 2) la maintenance permettant de multiplier le tissu embryogène qui restera à un stade très peu différencié. À ce stade, le tissu embryogène est mis en cryoconservation (conservation à long terme dans l'azote liquide); 3) la maturation a pour but le développement ultérieur des embryons somatiques au stade cotylédonaire; 4) la germination qui est le développement des embryons somatiques matures en plantules. Cette étape est comparable à la germination de la graine (croissance du

système racinaire et caulinaire fonctionnel); 5) l'acclimatation qui est indispensable à la survie et à la croissance des plantules; 6) les plantules sont transférées en sol pour une croissance en serre. Une fois la croissance en serre complétée, les plants sont cultivés deux années en pépinière selon les mêmes scénarios que ceux utilisés pour la production de plants conventionnels en réceptifs.

La production de plants issus d'ES permettra l'établissement de tests clonaux, la production de pieds mères à des fins de bouturage et l'étude de la variabilité clonale. La priorité est accordée à la production de clones d'épinette blanche (Figure 1).

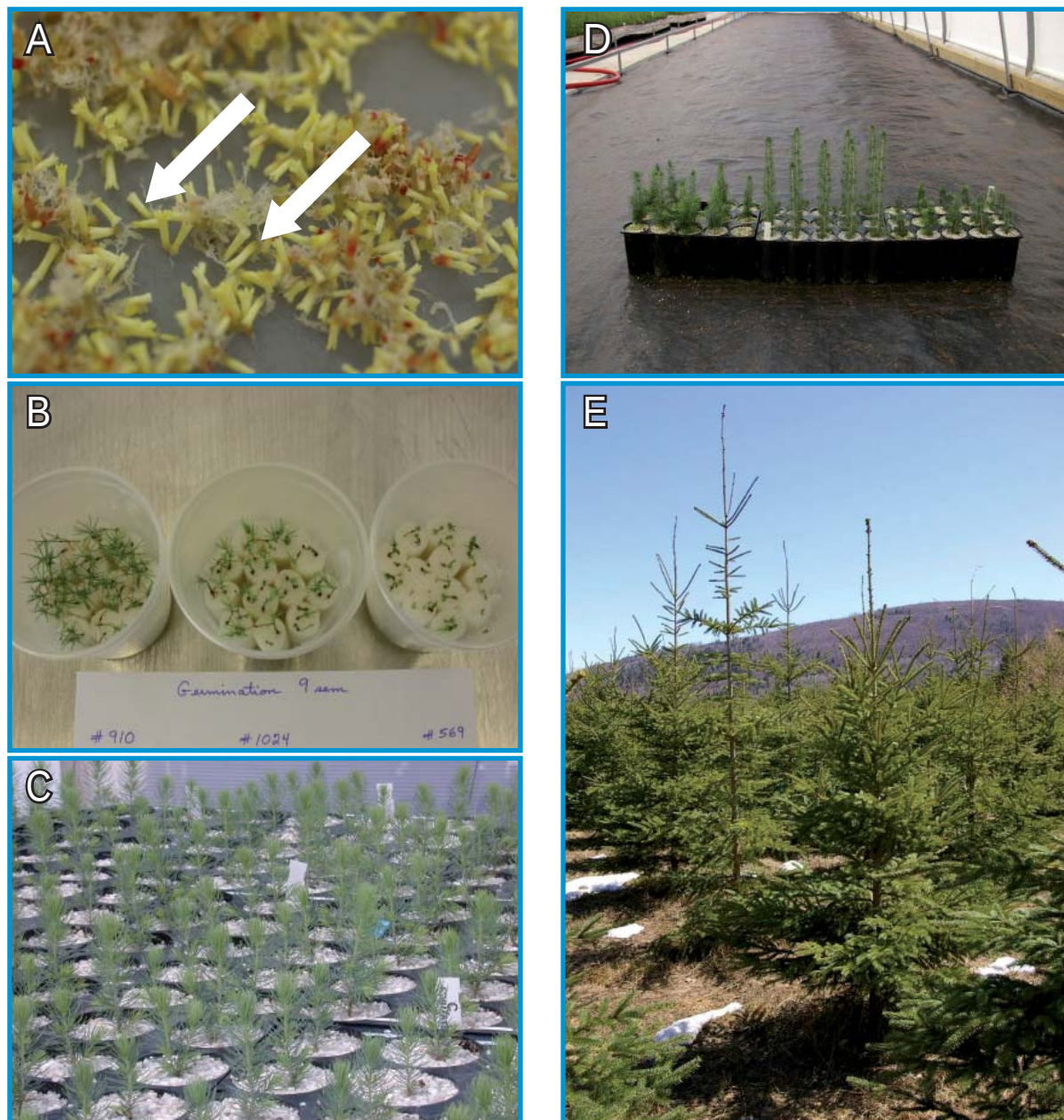


Figure 1 : Obtention de plants d'épinette blanche par embryogenèse somatique. **A)** embryons somatiques matures (flèches) après cinq semaines sur milieu de maturation; Photo : Laurence Tremblay, DGSP, DRF, MRNF; **B)** différents clones obtenus après neuf semaines de germination in vitro; Photo : Laurence Tremblay et Julie Gingras, DGSP, DRF, MRNF; **C)** plants issus d'embryogenèse somatique trois semaines après le transfert en sol; Photo : Laurence Tremblay, DGSP, DRF, MRNF; **D)** première saison de croissance en serre montrant des différences de croissance en hauteur entre les plants zygotiques (verger à gauche) et deux clones produits par ES (au centre et à droite); Photo : Mohammed S. Lamhamedi et Pascal Desjardins, DRF, MRNF; **E)** plants issus d'embryogenèse somatique sur un site de plantation (mise en terre en 1998 à Valcartier); Photo : Fabienne Colas, DRF, MRNF.

Perfectionnement des techniques d'embryogenèse somatique

L'ES est une technique récente de propagation végétative, la première publication datant de 1985 (Hakman *et al.* 1985). Depuis, des protocoles d'ES ont été développés et calibrés pour une quarantaine d'espèces de conifères tels que sapin, mélèze hybride, épinette, pin, cyprès, cèdre, et séquoia (revue par Jain et Gupta 2005). Au Québec, les travaux ont porté sur l'optimisation des différentes étapes de l'ES, ainsi que sur la mise en place de tests clonaux pour l'épinette noire, l'épinette blanche et les mélèzes hybrides (Tremblay et Lamhamedi 2006). En 2001, la mise à l'échelle opérationnelle de l'ES a débuté à la pépinière de Saint-Modeste avec le transfert de savoir-faire dans le cadre d'un projet pilote. Un laboratoire fonctionnel en ES y a alors été mis sur pied, à la pépinière de Saint-Modeste, permettant ainsi d'effectuer toutes les étapes nécessaires à la production de plants ainsi que l'élaboration des régies de culture des plants somatiques en récipients. À partir de 2004, les opérations ont été réalisées avec des croisements dirigés recommandés par les généticiens forestiers.

Tests clonaux

Le but premier de la production de plants issus d'ES est la réalisation de tests clonaux. Ces tests ont pour objectif d'évaluer les performances des différents clones en plantation afin d'émettre des recommandations sur le matériel d'élite à utiliser dans le programme de reboisement.

- En 2004, le laboratoire d'ES de la pépinière de Saint-Modeste a produit 3 860 plants issus de 80 clones. Le premier test clonal sera composé de 52 des 80 clones obtenus. Ce test a été implanté au printemps 2007 sur deux sites distincts en milieu forestier.
- En 2005, plus de 9 000 plants issus de 163 nouveaux clones ont été obtenus. Ces plants sont présentement cultivés en pépinière et seront utilisés pour le prochain test clonal implanté en 2008.
- En 2006, soit seulement deux ans après le début des activités opérationnelles, nous avons produit 13 015 plants issus de 272 nouveaux clones. Ces clones sont présentement en croissance en serre.

Rappelons que pour tous les clones produits, des copies sont conservées dans l'azote liquide par cryogénie afin de les reproduire indéfiniment si leurs performances en plantation le justifient.

Ces résultats très encourageants ont été obtenus en utilisant un protocole standard de culture *in vitro*, optimisé et spécifique à l'épinette blanche, quels que soient les croisements dirigés utilisés. L'étape d'induction est une étape critique et décrite dans la littérature comme dépendante du génotype. Nous avons induit, en 2006, 781 clones à partir de 21 des 22 croisements recommandés. Le taux moyen d'induction est de 60 % et il est supérieur à l'induction obtenue en 2005 et aux taux décrits dans la littérature. En 2006, ce taux varie de 30,3 à 85,7 % selon le croisement. Nous avons, de plus, très peu de perte de clones pour les différentes étapes d'ES. Actuellement, 660 clones d'épinette blanche sont en cryoconservation, et ce après seulement trois années d'activités de notre laboratoire.

Avantages de l'embryogenèse somatique

Cette technique a comme principal avantage de conserver la juvénilité des tissus grâce à la cryoconservation à long terme du tissu embryogène. De cette façon, des copies de chaque clone sont conservées dans l'azote liquide en attendant les résultats de performance en site de reboisement de ces clones. D'ailleurs, nous venons de régénérer des clones qui ont été conservés dans l'azote liquide durant 7 à 10 ans, les plantules se développent actuellement en serre et ont une morphologie normale. La viabilité des clones qui ont été sortis de la cryoconservation est très élevée, ainsi qu'une bonne reprise de croissance pour les trois essences de conifères testées (épinette blanche, épinette noire, mélèze hybride). Une évaluation moléculaire et morpho-physiologique est en cours.

L'ES est un outil performant pour amener les produits de l'amélioration génétique au niveau du reboisement. L'ES va permettre de sélectionner des clones élités et de les reproduire à grande échelle. Un autre avantage est le taux de multiplication élevé obtenu par cette technique permettant d'obtenir une multitude d'embryons somatiques qui poursuivront leur développement en plantules. Cette technique de multiplication s'adapte à l'automatisation, ce qui permet de réduire de façon significative les coûts de production.

Intégration dans la filière production de plants

La DGSP et la DRF ont débuté des travaux originaux afin d'utiliser le plein potentiel de l'ES dans sa filière de reboisement. Ainsi, une approche de caractérisation morpho-physiologique des clones en pépinière a débuté (Lamhamedi *et al.* 2000). Ces travaux vont permettre de sélectionner les clones avant leur implantation dans les tests clonaux. De plus, les clones sont caractérisés pour leur aptitude au bouturage. En effet, le MRNF compte intégrer de façon complémentaire les deux techniques afin de reproduire à moindre coût les clones les plus performants pour le reboisement.

Le Québec dispose de tests clonaux exploratoires implantés depuis 1992. Nous avons pu observer une floraison précoce dans des tests clonaux d'épinette noire et d'épinette blanche. Des travaux de recherche uniques ont été initiés afin de déterminer si les clones peuvent être utilisés comme semenciers dans des futurs vergers à graines. Certains clones ont déjà produit des semences qui ont été caractérisées selon les normes de l'ISTA en vigueur (ISTA 1999). Au printemps 2007, une première plantation de semis de deux ans d'épinette noire a été mise en terre afin d'évaluer la qualité des plants au cours de leur développement.

Nos premiers résultats montrent que les clones issus d'ES pourraient être intégrés comme semenciers dans de futurs vergers à graines. Ainsi, nous pourrions, en sélectionnant les clones les plus performants, accroître encore la qualité génétique des semences utilisées pour le programme de reboisement au Québec.

Mise à l'échelle opérationnelle

Grâce à l'optimisation continue des différentes étapes, l'intégration de l'ES se fait progressivement à l'échelle opération-

nelle. Nous présenterons les résultats obtenus sur certains aspects de cette mise à l'échelle soit : la germination en vrac (germination dans de grands contenants en circuit fermé avec une évaluation continue des variables environnementales telles que lumière, température, humidité relative et déficit de pression de vapeur) et l'ensemencement direct des embryons somatiques (possibilité de mettre directement des embryons somatiques après cinq semaines de germination dans le sol et obtention de plants viables).

À plus long terme, nous proposons d'évaluer la pertinence d'utiliser des graines immatures par rapport aux matures, d'étudier la mécanisation de certaines étapes de l'ES dont la récolte d'embryons somatiques à la fin de la période de maturation, et d'envisager les possibilités d'utilisation de bioréacteurs.

Conclusion

La possibilité de produire des clones sélectionnés à partir de familles d'élite est maintenant possible grâce aux techniques d'ES. L'approche utilisée au MRNF est unique quant à l'examen approfondi des différentes possibilités d'intégration de cette technologie dans la filière de reboisement c'est-à-dire de la semence à la plantation. Un atout essentiel de l'ES est la cryoconservation des tissus embryogènes. Cette technique permet la conservation du matériel dans un minimum d'espace et de pouvoir le reproduire en grande quantité au moment voulu. Elle est aussi essentielle à la conservation des ressources génétiques.

Les travaux en cours de réalisation sur la caractérisation morpho-physiologique des clones en pépinière, le bouturage des pieds-mères clonaux produits par ES et l'évaluation de la qualité des semences et du pollen produits par différents clones montrent que le MRNF est à l'avant-garde dans l'utilisation opérationnelle de cette nouvelle technologie à chacune des phases de la filière de reboisement.

Références

- ASSOCIATION INTERNATIONALE D'ESSAIS DE SEMENCES, 1999. *Règles internationales pour les Essais de Semences* 1999. Seed Sci. & Technol. 27 supplément 1 : 1-362.
- HAKMAN, I., L.C. FOWKE, S. VON ARNOLD, et T. ERIKSSON, 1985. *The development of somatic embryos in tissue cultures initiated from immature embryos of Picea abies (Norway spruce)*. Plant Science 38 : 53-60.
- JAIN, S.M. et P.K. GUPTA, 2005. *Protocol for somatic embryogenesis in woody plants*. Netherlands: Springer.
- LAMHAMEDI, M.S., H. CHAMBERLAND, P.Y. BERNIER, et F.M. TREMBLAY, 2000. *Clonal variation in morphology, growth, physiology, anatomy and ultrastructure of container-grown white spruce somatic plants*. Tree physiol 20 : 869-880.
- TREMBLAY, L., et S.M. LAMHAMEDI, 2006. *Embryogénèse somatique au ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec : Du laboratoire au site de plantation*. Des plants et des hommes 9 : 6-11.

This image shows a full page of blank, lined paper. It features approximately 20 evenly spaced horizontal blue lines across its entire width, typical of notebook or primary school writing paper. The background is a solid off-white color. There are no margins, text, or other markings present.

[illegible]



Génétique et architecture des racines des plants d'épinette blanche produits en pépinière forestière

Sylvie A. Carles^{1,4}, Mohammed S. Lamhamedi², Jean Beaulieu³, Fabienne Colas², Debbie C. Stowe¹ et Hank A. Margolis¹

Biographie de Sylvie Carles

Sylvie Carles a obtenu un diplôme d'ingénieur forestier à la Formation des Ingénieurs Forestiers de l'École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts (FIF-ENGREF) à Nancy (France) en 1996. Jusqu'en 2001, elle a enseigné en France les sciences et techniques forestières et le commerce national et international des produits d'origine forestière. De 2002 à 2004, elle a réalisé une maîtrise, à l'Université Laval, sur l'effet de différentes régies d'irrigation sur l'acquisition de la tolérance au gel de plants d'épinette blanche (2+0). En 2004, après un passage direct au doctorat, elle a commencé un nouveau projet portant sur la variabilité génétique des caractéristiques morphologiques et physiologiques de plants d'épinette blanche (1+0) et (2+0). Ce projet, mené conjointement par l'Université Laval, la Direction de la recherche forestière et le Centre de Foresterie des Laurentides, priorise l'étude de la variabilité génétique du développement et de l'architecture des systèmes racinaires de ces plants en comparant les descendants de 10 vergers à graines et de 75 familles d'épinette blanche. Parallèlement à ses travaux de recherche et ses études, elle participe activement à l'enseignement de la partie reboisement du cours de sylviculture du Baccalauréat en aménagement et environnement forestiers de l'Université Laval.

Introduction

Quand un plant est mis en terre, ses aiguilles sont immédiatement soumises aux demandes évaporatives de l'atmosphère. Parallèlement, l'accessibilité à l'eau du sol est restreinte puisque le contact entre les racines du semis et le sol n'est pas encore établi (Margolis et Brand 1990). La survie et la croissance des plants sur les sites de plantations sont donc intimement liées à leur capacité à développer de nouvelles racines (Grossnickle 2005). De nombreux facteurs (saison, taille du plant, masse du système racinaire, etc.) influencent la capacité de croissance racinaire des plants (Grossnickle 2000). Toutefois, une bonne capacité de croissance racinaire ne pourra pas être observée sans un système racinaire bien développé et capable de résister aux manipulations qui accompagnent le transport puis la mise en terre du plant.

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 (Michèle Tourigny, DPSP, communication personnelle, 2007). Plus de la moitié (59 %) de ces plants seront des plants de fortes dimensions (PFD) cultivés en récipients (Michèle Tourigny, communication personnelle, 2007). Avant d'être livrés sur les sites de reboisement, ces 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, c'est celui concernant l'insuffisance racinaire qui a conduit, ces dernières années, au plus de rejets de PFD d'ÉPB (DGPSP, MRNF, janvier 2004). Selon les normes actuellement en vigueur, 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). 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.

¹ Centre d'Étude de la Forêt (CEF), Faculté de foresterie et de géomatique, Pavillon Abitibi Price, Université Laval, Québec (Québec) G1K 7P4, Canada

² Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Direction de la recherche forestière (DRF), 2700, rue Einstein, Québec, QC, Canada G1P 3W8

³ Centre canadien sur la fibre de bois, Ressources naturelles Canada, 1055, rue du Peps, Case postale 10 380, Succ Sainte-Foy, Québec (Québec) G1V 4C7, Canada.

⁴ Courriel : sylvie.carles.1@ulaval.ca

CARLES, S., M. S. LAMHAMED, J. BEAULIEU, F. COLAS, D. STOWE et H. MARGOLIS, 2007. Génétique et architecture des racines des plants d'épinette blanche produits en pépinière forestière. Dans : *Des plants aux plantations : Techniques, technologies et performances. Carrefour de la recherche forestière*, 19-20 septembre 2007, Québec, Canada. pp : 19-23.

De nombreuses études se sont intéressées aux pratiques culturales susceptibles d'influencer la croissance racinaire et la conductivité hydraulique des racines des plants d'ÉPB produits en pépinière forestière (Lamhamedi *et al.* 2001, Stowe *et al.* 2001). Ainsi, Lamhamedi *et al.* (2001) ont montré qu'une teneur en eau de 15 % v/v maintenue constante pendant la première saison de croissance de plant d'ÉPB s'accompagnait d'une réduction de la croissance et de la surface des racines des plants alors qu'une teneur en eau de 60 % n'avait pas d'effet significativement différent des teneurs de 30 ou 40 % v/v. Les effets de la fertilisation sur la croissance des racines ont aussi été étudiés. Une fertilisation inférieure s'accompagne généralement d'une modification du patron de ressources entre les parties aériennes et racinaires des plants, avec plus de ressources allouées, en pourcentage, à la croissance des racines (Mari *et al.* 2003). Dans le cas de l'ÉPB, une piste n'a pas encore été explorée, celle de la génétique. Pourtant, l'ÉPB bénéficie d'un programme d'amélioration génétique au Québec depuis le milieu des années 1950 (Beaulieu *et al.* 1997). De nombreux caractères d'arbres matures, comme la croissance des parties aériennes ou les caractéristiques du bois, ont été améliorés (Beaulieu 1996). Les caractères juvéniles des plants, quant à eux, n'ont jamais été considérés comme les caractères à améliorer mais comme d'éventuels critères de sélection précoce (Khalil 1985, Li *et al.* 1993, Rweyongeza *et al.* 2004). De plus, seul Khalil (1985) s'est intéressé aux caractéristiques des racines des plants en plus des caractéristiques des parties aériennes. Il semble donc pertinent d'évaluer la variabilité génétique des caractéristiques des racines de plants d'ÉPB afin de déterminer si ces caractéristiques pourraient être améliorées génétiquement.

La variabilité génétique peut s'exprimer au niveau des caractéristiques morphologiques et physiologiques des plants cultivés en conditions optimales de croissance, mais aussi au niveau de leur réponse aux pratiques culturales. Ainsi, Samuelson (2000), travaillant avec des plants de pins (*Pinus taeda* et *Pinus elliotii*) de sept mois, a mis en évidence que la modification du pourcentage d'allocation des ressources au profit des racines fines en réponse à des apports différents en azote différait selon les familles considérées. Toutefois, selon les résultats de Mari *et al.* (2002), il existe certaines familles stables, qui maintiennent la même croissance quel que soit le niveau de fertilisation. Les plants sont élevés en pépinière dans des conditions optimales de croissance, mais sont destinés à être mis en terre sur des sites de reboisement où ils seront soumis à l'interaction de différents stress environnementaux. Repérer, en pépinière, les familles qui maintiennent un bon niveau de croissance racinaire quel que soit le niveau de fertilité de substrat permettrait d'optimiser la croissance des plants sur les sites de reboisement où les plants sont susceptibles de subir un stress nutritif. L'étude de la stabilité des familles semble d'autant plus pertinente que Mari *et al.* (2003) ont observé que la modification du comportement des familles de *Picea abies* face à un changement de fertilisation était plus importante pour la masse sèche de leurs racines que pour la hauteur des plants.

Objectifs de notre étude

Afin d'apporter des éléments de réponse à la problématique de l'insuffisance racinaire des PFD d'ÉPB cultivés en récipient, les objectifs de notre étude sont (i) d'évaluer la variabilité génétique des caractères morphologiques et d'architecture des racines pour des lots de plants d'épinette blanche (1+0) et (2+0) issus de 75 familles, (ii) d'identifier les bases physiologiques de cette variabilité à l'aide de caractères comme les échanges gazeux, l'allocation du carbone et la nutrition minérale et (iii) de déterminer la stabilité des familles face à deux fertilités de substrat différentes évaluées en pépinière forestière.

Méthodologie

La population étudiée représentait 75 familles uniparentales d'ÉPB. Dans la pratique, les 75 familles correspondent à 75 arbres pollinisés librement du parc d'hybridation de Cap Tourmente, sur lesquels les cônes ont été récoltés.

L'expérience en pépinière a été réalisée de juin 2004 à octobre 2005 au Centre de production de plants forestiers du Québec à Sainte-Anne-de-Beaupré. Le dispositif a été installé sous un tunnel dont la toile a été maintenue pendant la première saison de croissance. L'ensemencement a été réalisé manuellement, la semaine du 7 juin 2004 dans des récipients IPL 15-320 (15 cavités par récipient, 320 cm³ par cavité; IPL®, Saint-Damien, Bellechase, Québec) dans un mélange tourbe vermiculite (3:1). Pour chaque famille, 18 récipients (3 récipients par bloc et par famille) ont été utilisés pour les six blocs du dispositif expérimental.

La teneur en eau du substrat a été maintenue à un niveau proche de 40 % (v/v) pendant les deux saisons de croissance.

Au cours de leur première saison de croissance, les plants ont été fertilisés du 7 juillet 2004 au 27 septembre 2004. Deux niveaux de fertilisation ont été appliqués de part et d'autre de l'allée centrale du tunnel de façon à obtenir deux niveaux de fertilité du substrat : une fertilité optimale correspondant aux pratiques culturales courantes de la pépinière (bilan N, P et K appliqués en fin de saison : 60,7 mg/plant, 19,7 mg/plant et 38,1 mg/plant respectivement) et une fertilité faible (la fertilité en N du substrat était le quart de la fertilité en N du substrat sous la fertilisation optimale). Au cours de leur deuxième saison de croissance, les plants ont été fertilisés du 10 mai au 22 septembre 2005. La même fertilisation a été appliquée à l'ensemble du dispositif (bilan N, P et K appliqués en fin de saison : 402,32 mg/plant, 99,77 mg/plant et 154,22 mg/plant respectivement).

Une fois la croissance en hauteur terminée et tous les bourgeons formés, la photosynthèse a été mesurée sur un plant/bloc/famille pour les trois blocs présentant une fertilité optimale la semaine du 20 septembre 2004 à la fin de la première saison de croissance et à partir du 16 septembre 2005, à la fin de la deuxième saison de croissance.

Un échantillonnage destructif a été réalisé à la fin de la première saison de croissance (25 octobre 2004) et un autre à la fin de la deuxième saison de croissance (31 octobre 2005).

Après avoir mesuré la hauteur et le diamètre au collet de trois plants par famille et par bloc, les masses des parties aériennes et des racines ont été déterminées après un séchage de 48 h à 60 °C. Les concentrations en éléments minéraux (N, P, K, Ca et Mg) dans les parties aériennes et dans les racines ont été déterminées à partir d'un échantillon composite regroupant les trois plants par famille par bloc.

À la fin de la première saison de croissance, l'architecture des racines a été caractérisée pour un plant par famille par bloc pour les trois blocs ayant reçus une fertilité optimale à l'aide d'un système intégré de numérisation et d'analyse d'images utilisant le logiciel WINRHIZO (Instruments Regent Inc., Québec). 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 de l'architecture du système racinaire a été réalisée. Les caractéristiques observées ont été 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).

Afin de pouvoir généraliser nos résultats à d'autres semis d'ÉPB produits selon les pratiques culturales standards, les paramètres génétiques (héritabilités et corrélations génétiques) et les moyennes des familles ont été calculés en considérant séparément les deux niveaux de fertilité du substrat. Une analyse de variances regroupant les deux traitements de fertilisation a permis de vérifier la significativité de l'interaction famille*fertilisation. Le calcul des « écovalences » a permis ensuite d'identifier les familles les plus sensibles au changement de fertilisation (Mari *et al.* 2002, Mari *et al.* 2003).

Résultats et discussion

À la fin de la première saison de croissance, des différences significatives entre les familles ont été observées pour presque toutes les caractéristiques morphologiques aériennes et racinaires des plants, qu'ils soient soumis à une fertilisation optimale (Tableau 1) ou faible. Le pourcentage de la variabilité phénotypique observée attribuable à des différences entre les familles variait de 7 à 19 % pour les plants soumis à une fertilisation optimale (Tableau 1). Si on considère la hauteur des plants, cela signifie que, à moins d'une sélection familiale qui diminuerait les différences entre les familles, au moins 1/5e de l'hétérogénéité entre les hauteurs des plants sera toujours présente quelles que soit les pratiques culturales utilisées pour uniformiser leur croissance.

Les estimés des héritabilités familiales (~ pourcentage de chance que des descendants du même arbre mère présentent les mêmes caractéristiques) étaient faibles (< 0,2) à moyens (entre 0,2 et 0,4) pour le diamètre au collet et moyens à forts (> 0,4) pour les autres caractéristiques morphologiques (Tableau 2).

Les analyses des mesures des échanges gazeux et des contenus en éléments minéraux des parties aériennes et des parties racinaires des semis permettront de déterminer si ces différences morphologiques entre les familles sont associées à des différences physiologiques.

Que les plants aient été soumis à une fertilisation optimale ou faible, c'est avec le diamètre au collet que la masse sèche des racines est apparue le plus corrélée génétiquement (0,91 ± 0,09 et 0,76 ± 0,21, respectivement). Cela signifie qu'une sélection des familles sur la base du diamètre au collet à la fin de la première saison de croissance sera également une sélection en faveur de systèmes racinaires avec une masse sèche supérieure.

Tableau 1. Variation familiale des caractéristiques morphologiques de plants d'ÉPB (1+0) et (2+0) ayant reçu une fertilisation optimale pendant leur première saison de croissance en pépinière

Caractère	Moyenne	minimum	maximum	% de variance expliqué par variance familiale	Pr Z
Plants (1+0)					
Hauteur (cm)	5,1757	4,3239	6,221	19,4	< 0,0001
Diamètre (mm)	1,6482	1,5469	1,7405	4,2	ns
Masse sèche parties aériennes (g)	0,3298	0,2679	0,4076	14,1	0,0010
Masse sèche racines (g)	0,1692	0,1465	0,1991	7,5	0,0221
Ratio racines/tiges	0,52	0,4555	0,6083	11,99	0,0010
Longueur totale des racines (cm)	486,99	280,17	821,64	12,57	0,0189
Diamètre moyen des racines (mm)	0,4490	0,4232	0,4753	18	0,0088
Surface projetée des racines (cm²)	21,77	17,59	27,99	12,03	0,0236
Plants (2+0)					
Hauteur (cm)	33,25	25,83	39,27	16,46	0,0013
Diamètre (mm)	6,18	5,74	6,58	4,77	ns
Masse sèche parties aériennes (g)	8,22	7,66	9,22	0	ns
Masse sèche des racines (g)	2,75	2,58	2,92	2,51	ns
Ratio racines/tiges	0,34	0,26	0,46	17,89	0,0003

Tableau 2. Estimés des héritabilités familiales des caractéristiques morphologiques de plants (1+0) représentant 75 familles uni-parentales d'ÉPB et soumis à deux régimes de fertilisation pendant leur première saison de croissance

	Masses sèches							
	Hauteur		Diamètre		parties aériennes		racines	
	Fertilité		Fertilité		Fertilité		Fertilité	
	optimale	faible	optimale	faible	optimale	faible	optimale	faible
h² fam	0,64	0,64	0,22	0,16	0,53	0,52	0,36	0,42
Écart-type	0,17	0,17	0,19	0,19	0,21	0,17	0,23	0,18

Dans l'ensemble, une diminution de la fertilité du substrat s'est accompagnée d'une diminution de la masse sèche des racines mais d'une augmentation de la longueur totale du système racinaire ; augmentation attribuable au développement de racines de diamètre plus faibles. Concernant la stabilité des familles face à une modification du régime de fertilisation, les analyses ont mis en évidence que, pour la croissance en hauteur, 10 des 75 familles avaient une croissance complètement différente selon le régime de fertilisation considéré. Parmi ces familles, il y a des familles dont la croissance en hauteur diminue beaucoup en réponse à une diminution de la fertilité, alors que d'autres maintiennent la même croissance quel que soit le niveau de fertilité. Nous avons trouvé des résultats similaires pour la masse sèche des racines mais avec des familles différentes.

À la fin de la deuxième saison de croissance, les analyses en cours semblent indiquer que le traitement de fertilisation imposé pendant la première année avait encore un effet significatif sur les caractéristiques des plants (2+0).

Les résultats préliminaires obtenus, en ne considérant que les blocs fertilisés de façon optimale pendant la première saison de croissance, mettent en évidence un effet significatif des familles sur la hauteur et le ratio masse sèche racines/masse sèche tiges (Tableau 1) seulement. Les familles n'ont pas eu d'effet significatif sur les caractéristiques morphologiques des systèmes racinaires des plants soumis à une fertilité optimale

pendant leur première saison de croissance. Cependant, les corrélations phénotypiques entre les moyennes des familles indiquent que ce ne sont pas les familles qui atteignent les meilleures hauteurs à la fin de la deuxième saison de croissance qui ont les systèmes racinaires les plus lourds ($r = -0.32$, $p = 0,005$).

Si on considère les plants soumis à une fertilisation faible, certaines familles présentaient un angle d'insertion des racines latérales de premier ordre dans la partie supérieure de la carotte de tourbe (Photos 1 et 2) significativement différent. Des analyses complémentaires sont en cours dans le but, notamment, de déterminer si ces familles correspondent aux familles qui arrivent à développer une bonne croissance racinaire lorsque soumises à une fertilité faible.

Les analyses des données obtenues à la fin de la deuxième saison de croissance ne sont pas terminées. Toutefois, il apparaît déjà 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. Un autre volet de notre étude, non présenté ici, permet de dire 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.



Photos 1 et 2. Systèmes racinaires d'ÉPB (2+0) présentant des angles d'insertion des racines latérales de premier ordre dans le quart supérieur de la cavité différents suite à un traitement de fertilisation faible au cours de la première saison de croissance.

Conclusion

Il existe des différences significatives entre les familles et entre les caractéristiques morphologiques des racines des plants de fortes dimensions d'ÉPB à la fin de la première saison de croissance, mais ces différences s'estompent à la fin de la deuxième saison de croissance. Le contrôle génétique de la croissance des racines est donc plus important au cours de la première saison de croissance qu'au cours de la deuxième saison de croissance. Par ailleurs, nos résultats préliminaires semblent indiquer qu'une sélection des meilleures familles basée sur la hauteur atteinte à la fin de la deuxième saison de croissance ne serait pas une sélection des meilleures familles en terme de croissance racinaire.

Une diminution de la fertilité du substrat au cours de la première saison de croissance s'accompagne d'une diminution de la masse sèche des racines et de modifications dans l'architecture du système racinaire à la fin de la première saison de croissance, mais aussi à la fin de la deuxième saison de croissance. Ces modifications sont différentes selon les familles considérées. Certaines familles se montrent beaucoup plus sensibles que d'autres vis-à-vis des changements de fertilité du substrat. Parce que les plants sont susceptibles de subir un stress nutritif une fois mis en terre, il sera important, lors des programmes de sélection où le recours à des croisements dirigés, de repérer les familles dont la croissance se détériore beaucoup avec une diminution de la fertilité du substrat afin de favoriser les familles qui maintiennent la même croissance quelle que soit la fertilité du substrat.

Références

- BEAULIEU, J., 1996. *Programme et stratégie d'amélioration génétique de l'épinette blanche au Québec*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Québec. p. 26.
- BEAULIEU, J., M. VILLENEUVE et J. BOUSQUET, 1997. *Overview of progress in tree breeding in Québec with emphasis on white spruce and black spruce*. In *Proceeding of the twenty-sixth meeting of canadian tree improvement association - Part 2 - Tree improvement: its contribution to sustainable development* Ed. J.D. Simpson. Natural Resources Canada for the canadian tree improvement association, Sainte Foy, Québec, p. 2 15.
- GROSSNICKLE, S.C., 2000. *Ecophysiology of northern spruce species: the performance of planted seedlings*. NRC Research Press, Ottawa, Ontario, Canada. 409 p.
- GROSSNICKLE, S.C., 2005. *Importance of root growth in overcoming planting stress*. *New Forests* 30 : 273-294.
- KHALIL, M.A.K., 1985. *Genetic variation in eastern white spruce (Picea glauca (Moench) Voss) populations*. *Can. J. For. Res.* 15 : 444-452.
- LAMHAMED, 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.* 31 : 1968-1980.
- LI, P., J. BEAULIEU, A. CORRIVEAU et J. BOUSQUET, 1993. *Genetic variation in juvenile growth and phenology in a white spruce provenance-progeny test*. *Silvae genetica* 42 : 52-60.
- MARGOLIS, H.A. et D.G. BRAND, 1990. *An ecophysiological basis for understanding plantation establishment*. *Can. J. For. Res.* 20 : 375-390.
- MARI, S., A. JONSSON, D. THOMPSON et G. ERIKSSON, 2002. *Variation in nutrient utilization and juvenile growth in open-pollinated families of Picea sitchensis (Bong.) Carr. grown in a phytotron and correlations with field performance*. *Silvae genetica* 51 : 5-6.
- MARI, S., A. JONSSON, R. FINLAY, T. ERICSSON, M. KÄHR et G. ERIKSSON, 2003. *Genetic variation in nitrogen uptake and growth in mycorrhizal and nonmycorrhizal Picea abies (L.) Karst. seedlings*. *Forest science* 49 : 258-267.
- RWEYONGEZA, D.M., F.C. YEH et N.K. DHIR, 2004. *Genetic parameters for seasonal height growth curves of white spruce seedlings and their implications to early selection*. *Forest Ecology and Management* 187 : 159-172.
- SAMUELSON, L.J., 2000. *Effects of nitrogen on leaf physiology and growth of different families of loblolly and slash pine*. *New Forests* 19 : 95-107.
- STOWE, D.C., M.S. LAMHAMED et H.A. MARGOLIS, 2001. *Water relation, cuticular transpiration, and bud characteristics of air-slit containerized Picea glauca seedlings in response to controlled irrigation regime*. *Can. J. For. Res.* 31 : 2200-2212.

This image shows a full page of blank, white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, typical of notebook or legal stationery. There are no margins, text, or other markings present.



Effets du traitement de jours courts sur la croissance des racines, la tolérance au gel et la nutrition minérale des plants d'épinette noire (1+0) produits en pépinière forestière

Mohammed S. Lamhamedi¹, Mario Renaud, Pascal Desjardins et Linda Veilleux

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Direction de la recherche forestière (DRF),
2700, rue Einstein, Québec, QC, Canada G1P 3W8.

Biographie de Mohammed S. Lamhamedi

Mohammed S. Lamhamedi a obtenu son diplôme d'agronomie générale à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II (IAV Hassan II) du Maroc en 1983. En 1985, ce même établissement lui décernait le diplôme d'ingénieur agronome spécialisé en sciences forestières (M. Sc.). En 1991, l'université Laval (Québec, Canada) lui décerne son doctorat en sciences forestières (Ph.D.). Depuis 1998, Il est ingénieur forestier (OIFQ, Québec) après avoir complété sa formation en sciences forestières exigée par l'OIFQ. Monsieur Lamhamedi est enseignant-chercheur à l'IAV Hassan II en écophysologie et en plantations forestières de 1986 à 1991. En 1992, il a effectué un stage postdoctoral à l'Institut de recherche en biologie végétale de l'université de Montréal. Il est ensuite devenu chercheur visiteur au Centre de foresterie des Laurentides du service canadien des forêts en 1993-1995, puis directeur scientifique à Pampev Internationale dans le cadre du projet d'installation de trois pépinières pilotes financé par la Banque mondiale en Tunisie, en 1996-1997. De plus, M. Lamhamedi a été attaché de recherche au Centre de recherche en biologie forestière (Université Laval) en 1998-1999. Il est chercheur à la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec depuis juin 1999, chercheur associé au Centre d'étude de la forêt (CEF) et professeur associé à l'université Laval. Il agit à titre de directeur scientifique associé à la revue canadienne de recherche forestière depuis janvier 2006. Il a également participé à différentes phases de plusieurs projets reliés à la modernisation des pépinières forestières (Tunisie, Ghana, Nicaragua et Maroc). Il réalise également du transfert de connaissances et d'expertises auprès des 24 pépinières forestières du Québec. Il est l'auteur de plusieurs publications scientifiques et techniques. Il dirige / codirige des étudiants gradués à la maîtrise et au doctorat. Son expertise porte sur l'optimisation des régies de culture, le développement des seuils de tolérance au gel en pépinière forestière, la variabilité clonale chez les feuillus et les résineux, l'embryogenèse somatique et la production de plants en pépinière forestière. Il a également développé un savoir faire spécifique au transfert et à l'adaptation de l'expertise québécoise en production de plants dans le cadre de la modernisation des pépinières forestières des pays en développement.

¹ Courriel : mohammed.lamhamedi@mrnf.gouv.qc.ca

LAMHAMED, M.S., M. RENAUD, P. DESJARDINS et L. VEILLEUX. 2007. Effets du traitement de jours courts sur la croissance des racines, la tolérance au gel et la nutrition minérale des plants d'épinette noire (1+0) produits en pépinière forestière. Dans : *Des plants aux plantations : Techniques, technologies et performances*. Carrefour de la recherche forestière, 19-20 septembre 2007, Québec, Canada. pp : 25-31.

Problématique

Actuellement, on produit au Québec, en moyenne, entre 150 et 160 millions de plants selon diverses combinaisons et scénarios de production (essence, modèle du récipient, volumétrie de la cavité, gabarit du plant, semence ou bouture, date de livraison, etc.). Le pépiniériste doit composer avec certaines contraintes, non contrôlables, qui affectent de façon négative la qualité morpho-physiologique des plants, notamment, la rudesse et la variabilité inter et intra-annuelle du climat (gel hâtif ou tardif, épaisseur de la couche de neige et son impact sur la dessiccation hivernale des plants, été sec ou pluvieux, etc.), combinées à la durée très courte de la saison de croissance. Au Québec, les plants produits en récipients (conteneurs) sont cultivés sous tunnel lors de la première saison de croissance (mai à mi-novembre), sans recourir à l'utilisation de la lumière artificielle. Par la suite, selon le gabarit et le type de plants recherchés, les plants sont généralement hivernés sans utiliser de toile protectrice, en préparation à une deuxième saison de croissance à l'extérieur en pépinière ou à leur mise en terre en site de reboisement.

Le bilan et l'analyse des données issues de la qualification des plants, selon les 25 critères et normes de qualité des plants¹ durant la période 2003 à 2006, effectuée à l'échelle des 24 pépinières forestières actuelles, font ressortir que le rejet des plants est dû en grande partie à neuf défauts majeurs. Parmi ces défauts, l'insuffisance racinaire évaluée en automne chez les plants d'épinettes noire et blanche, produits dans le récipient 67-50, a respectivement atteint 54,3 et 40,7 %. Ainsi, le taux d'insuffisance racinaire, évalué en automne (sans triage), varie de façon significative entre les producteurs de plants. À cet effet, en plus des conditions environnementales qui existent entre les pépinières selon la région écologique, ces variations en matière d'insuffisance racinaire entre les producteurs seraient fortement influencées par l'interaction de différentes techniques culturales qui affectent de façon positive ou négative la croissance et le développement du système racinaire des plants. Une autre cause de rejet est le non-respect de la longueur minimale de la carotte qui varie selon le volume de la cavité (critère 06)¹.

Cependant, la croissance, la physiologie, la cohésion de la carotte, l'architecture et le développement des racines des plants produits en récipients dans les pépinières forestières sont le résultat de plusieurs interactions complexes entre les variables environnementales spécifiques à chaque pépinière et les techniques culturales, et ce à chaque phase de production et à chaque stade de croissance des plants. Au Québec, plusieurs techniques culturales ont été optimisées et ajustées, à l'échelle opérationnelle, pour améliorer la croissance et la cohésion des racines, notamment le récipient^{3,4} (ou conteneur), l'imposition de stress hydrique³, ainsi que les régies d'irrigation et de fertilisation^{5,6,7,8}. Nos récents travaux ont démontré l'existence de différences très marquées, lors de la saison de croissance, pour les besoins en eau des plants entre l'épinette blanche et l'épinette noire^{5,6}. Ainsi, l'optimisation des teneurs en eau du substrat de la rhizosphère et de sa fertilité, selon l'essence, contribue de façon significative à améliorer la croissance et l'architecture des racines de ces deux essences. Cependant, lors de la deuxième saison de croissance, la variabilité clonale⁹ et la sensibilité des plants d'épinette blanche (2+0), produits à l'extérieur, vis-à-vis des variations des teneurs en eau du substrat contribuent à conférer aux plants une variabilité spatiale très prononcée de plusieurs variables morphologiques de croissance¹⁰.

Pour améliorer davantage la qualité du système racinaire tout en conférant une bonne cohésion à la carotte, le traitement de jours courts figure parmi les techniques culturales pouvant être utilisées pour améliorer la croissance et la cohésion des racines. Ce traitement consiste tout d'abord à arrêter la croissance en hauteur des plants d'épinette noire. En effet, après l'atteinte de la hauteur cible chez les plants d'épinette noire (1+0), produits sous tunnel ou en serre lors de la première saison de croissance, nous émettons l'hypothèse que l'imposition d'un traitement de jours courts (diminution de la photopériode en phase de croissance active) pendant une période relativement courte (14 jours), combinée à l'augmentation de la température induite dans l'environnement immédiat des plants (substrat et à la surface des récipients) par ce traitement, permettra i) l'initiation, la formation des bourgeons, un arrêt de la croissance en hauteur et la translocation des produits de la photosynthèse courante (sucres) vers les racines, ainsi que ii) l'amélioration de la tolérance au gel hâtif. Le traitement de jours courts a été utilisé avec succès pour améliorer la tolérance au gel des plants¹¹, mais il n'a jamais été appliqué, pendant la saison de croissance active en pépinière, comme traitement cultural dont l'objectif est d'améliorer la croissance des racines et la cohésion de la carotte. Au Québec, les pertes occasionnées par le gel varient de 5 à 30 % selon l'intensité et la durée du gel¹². Ainsi, l'amélioration de la tolérance au gel hâtif, suite au traitement de jours courts, ne pourrait que diminuer les pertes et améliorer la qualité morpho-physiologique des plants.

Objectifs généraux

i) Vérifier l'hypothèse que le traitement de jours courts, en période de croissance active, améliore de façon significative la croissance des racines, la cohésion de la motte, la nutrition minérale, la formation des bourgeons et la tolérance au gel des plants d'épinette noire (1+0) produits en serre et sous tunnel;

ii) Quantifier, à l'aide de modèles allométriques de croissance, les effets des traitements de jours courts sur les patrons d'allocation de matière sèche entre les racines et les parties aériennes.

Matériel et méthodes

L'ensemencement des graines d'épinette noire (lot de semences : EPN-V1-LEV-2-2; culture GI05EPN05-C06) dans le récipient 67-50 a été effectué à la fin de mars 2006. L'installation des deux dispositifs a été réalisée les 12 et 13 avril, tant dans la serre qu'en tunnel, à la pépinière forestière privée de Girardville (latitude : 49° 01' 06"; longitude : 72° 30' 42"). Pour chaque dispositif expérimental (serre et tunnel), nous avons installé une station météorologique pour mesurer et enregistrer de façon continue les différentes variables environnementales (températures : substrat, à la surface de la silice et à 2 m; humidité relative de l'air; intensité de lumière à différents endroits, etc.). De plus, un inventaire de qualification des plants (120 plants/traitement) avant reboisement a été réalisé en mai 2007, selon les 25 critères et normes de qualification, mais en adoptant une stratégie d'échantillonnage différente de celle généralement réalisée par le MRNF.

Les plants d'épinette noire (1+0) sont produits en récipient 67-50 selon les régies optimales de fertilisation et d'irrigation de la pépinière. Les teneurs en eau du substrat ont été évaluées en utilisant la méthode gravimétrique. Par la suite, un dispositif en cinq blocs aléatoires complets a été installé. Dans chaque environnement (serre et tunnel), les plants ont été soumis à deux traitements : jours courts (JC) et sans jours courts (SJC, plants témoins). Le traitement de JC consiste à couvrir tous les plants de la serre ou du tunnel, à chaque jour, par une toile en polythène noire afin de modifier la photopériode (lumière/obscurité : 8 h/16 h). La diminution de la photopériode a été appliquée, du 29 juin au 18 juillet, pendant la période de croissance active en pépinière [Début traitement jours courts : serre = 29 juin; tunnel = 30 juin. Fin du traitement jours courts : serre = 14 juillet; tunnel = 18 juillet]. À l'exception de la durée du traitement de jours courts, les plants des deux traitements ont été soumis aux mêmes régies de production. Dans le cas du traitement SJC (tunnel et serre), quatre récipients/bloc étaient constamment exposés à la photopériode du jour. Les procédures d'échantillonnage dans les dispositifs expérimentaux installés dans les deux environnements (serre et tunnel) étaient identiques.

Pour chaque date d'échantillonnage, nous avons choisi aléatoirement le premier récipient du premier bloc. Par contre, les quatre récipients suivants, à raison d'un récipient/bloc, ont été choisis systématiquement, leur position étant similaire au premier récipient. L'échantillonnage a été effectué à un intervalle généralement régulier de deux semaines (juin – début novembre) afin de déterminer plusieurs variables morpho-physiologiques durant toute la saison de croissance. Ces variables englobent la hauteur (50 plants), le diamètre (50 plants), les masses sèches des parties aériennes et des racines (10 plants/échantillon composite/bloc), la nutrition minérale des plants (50 plants/échantillon composite/bloc), la fertilité et la conductivité du substrat (50 carottes/échantillon composite/bloc), et la formation des bourgeons. Pour cette dernière variable, cinq récipients/traitement (JC et SJC),

à raison d'un récipient/bloc, ont été choisis aléatoirement. Ainsi, tant pour la serre que pour le tunnel, l'évaluation de la formation des bourgeons terminaux a été réalisée dans la rangée située au centre du récipient, qui compte neuf cavités. Les plants contenus dans ces cavités ont été identifiés à l'avance avec des numéros de 1 à 9 en vue de faire des évaluations répétées sur les mêmes plants. Ces évaluations ont été effectuées trois fois/semaine (lundi, mercredi, vendredi), jusqu'à l'apparition d'un bourgeon terminal blanc sur tous les plants.

Pour le contrôle de l'irrigation, l'évaluation des teneurs en eau a été effectuée dans 10 récipients/serre ou tunnel en pesant chacun des récipients avec une balance. Ces récipients ont été choisis aléatoirement dans des endroits représentatifs des conditions de croissance dans chacune des enceintes de culture.

En ce qui concerne la tolérance au gel, l'échantillonnage aléatoire des plants a été effectué à la mi-septembre. Les plants ont été soumis à cinq températures : $T_0 = 4\text{ °C}$ (plants témoins), $T_1 = -4\text{ °C}$, $T_2 = -6\text{ °C}$, $T_3 = -8\text{ °C}$ et $T_4 = -12\text{ °C}$. Trois plants/température/bloc/traitement (JC et SJC)/environnement (tunnel et serre) ont été utilisés, soit 15 plants/bloc/traitement/environnement, ce qui fait un total de 300 plants pour les deux dispositifs. La tolérance au gel a été évaluée à l'aide de la conductivité électrolytique (CE) et l'indice de dommages foliaires (I) selon l'approche décrite de façon détaillée par Lamhamedi *et al.* (2005)¹².

Les analyses statistiques ont été effectuées en utilisant la procédure mixte de SAS (SAS Institute, Cary, C.N., États-Unis d'Amérique). L'hypothèse de la normalité des termes d'erreur était respectée pour toutes les variables. Les hypothèses de normalité et d'homogénéité des variances ont été vérifiées. L'indépendance entre les dates d'échantillonnage a été supposée puisque celles-ci ont été randomisées et que les mesures des variables de croissance étaient prises sur des plants différents à chaque date.

Résultats et discussion

Après 13 à 14 jours d'application du traitement de jours courts (JC), en période de croissance active, aussi bien sous tunnel que sous serre, la totalité des plants d'épinette noire soumis aux JC avaient formé des bourgeons et cessé leur croissance en hauteur (Figure 1). Cet arrêt de croissance a déjà été observé chez les plants d'épinette noire soumis à un traitement de JC en vue d'améliorer la tolérance au gel¹¹. Par contre, en absence du traitement de jours courts (SJC) et sous des régies de culture similaires pour les deux traitements (JC et SJC), la formation des bourgeons et l'arrêt de croissance se sont étalés de la mi-juillet jusqu'au 11 août dans les deux environnements (tunnel et serre). Les enregistrements continus des variations des températures (substrat, à la surface de la cavité du récipient et de l'air à 2 m) variaient différemment entre le tunnel et la serre. Par exemple, les pics des températures moyennes du substrat dans la serre variaient entre 30 et 36 °C alors que celles dans le tunnel ne dépassaient guère 30 °C. Ainsi, pour le traitement de JC, la formation rapide des bourgeons est le résultat de la

diminution de la photopériode combinée aux effets du stress thermique dû à l'augmentation significative des températures enregistrées sous le polythène.

À l'exception de l'effet seul du traitement de JC sur la masse des racines ($p = 0,07$), aussi bien sous tunnel que sous serre, les effets du traitement de jours courts, de la date d'échantillonnage et de leur interaction ont été significatifs ($p = 0,04$ à $< 0,0001$) pour les autres différentes variables de croissance des plants. Quant à la masse des racines, les écarts entre les traitements JC et SJC ont été plus importants en tunnel qu'en serre (Figure 1). Dans le cas du tunnel et à la fin de la saison de croissance, le traitement de JC a favorisé de façon significative la croissance des racines par comparaison au traitement SJC. Pour la croissance des parties aériennes sous tunnel et sous serre, les plants de traitement SJC ont montré, à la dernière date d'échantillonnage, des masses sèches significativement supérieures par comparaison à celles des plants soumis au traitement JC (Figure 1). Ainsi, le traitement de JC a modifié de façon significative le patron d'allocation de la matière sèche entre les parties aériennes et les racines aussi bien sous tunnel que sous serre. En effet, la détermination de modèles allométriques démontrent que le coefficient de cette allocation entre les parties aériennes et les racines diffère significativement ($p < 0,0001$) entre les deux traitements (JC et SJC) aussi bien sous tunnel (coefficient d'allocation_{SJC} = 0,5678; coefficient d'allocation_{JC} = 0,3185) que sous serre (coefficient d'allocation_{SJC} = 0,5125 ; coefficient d'allocation_{JC} = 0,3799). Ces coefficients indiquent que, pour une même masse de la partie aérienne, le traitement de jours courts favorise l'allocation de matière sèche vers les racines. Ceci contribue à améliorer donc de façon significative la croissance des racines et la cohésion de la carotte.

L'efficacité d'utilisation des éléments minéraux (N, P et K) différait entre les deux traitements (JC et SJC) aussi bien sous tunnel que sous serre. Ceci indique que la capacité d'absorption a été modifiée par le traitement de jours courts. Pour la tolérance au gel, seuls les effets significatifs du traitement de JC et de la température ont été respectivement observés sous serre et sous tunnel.

L'application du traitement de JC en phase de croissance active (début juillet) ne garantit pas un arrêt de croissance définitif des plants d'épinette noire (1+0) tout au long de la saison de croissance (Figure 2). En effet, nous avons observé le débourrement d'une certaine quantité de plants dès la fin d'août. Nos observations ont également révélé que, sous les mêmes conditions environnementales et sous les mêmes régies de culture, le taux de plants débourrés varie considérablement selon le lot de semences (vergers).

Cette variation du débourrement des bourgeons modifie significativement l'architecture de la partie aérienne (Figure 2). En effet, il y a eu un débourrement du bourgeon apical, de certains bourgeons latéraux causant une perte de la dominance apicale ou un débourrement généralisé. Cette perte pourrait être attribuée au traitement de JC qui affecte la répartition de l'auxine entre le bourgeon apical et les bourgeons latéraux ou un autre stress biotique, notamment une attaque par certains insectes (punaise terne, *Lygus lineolaris*).

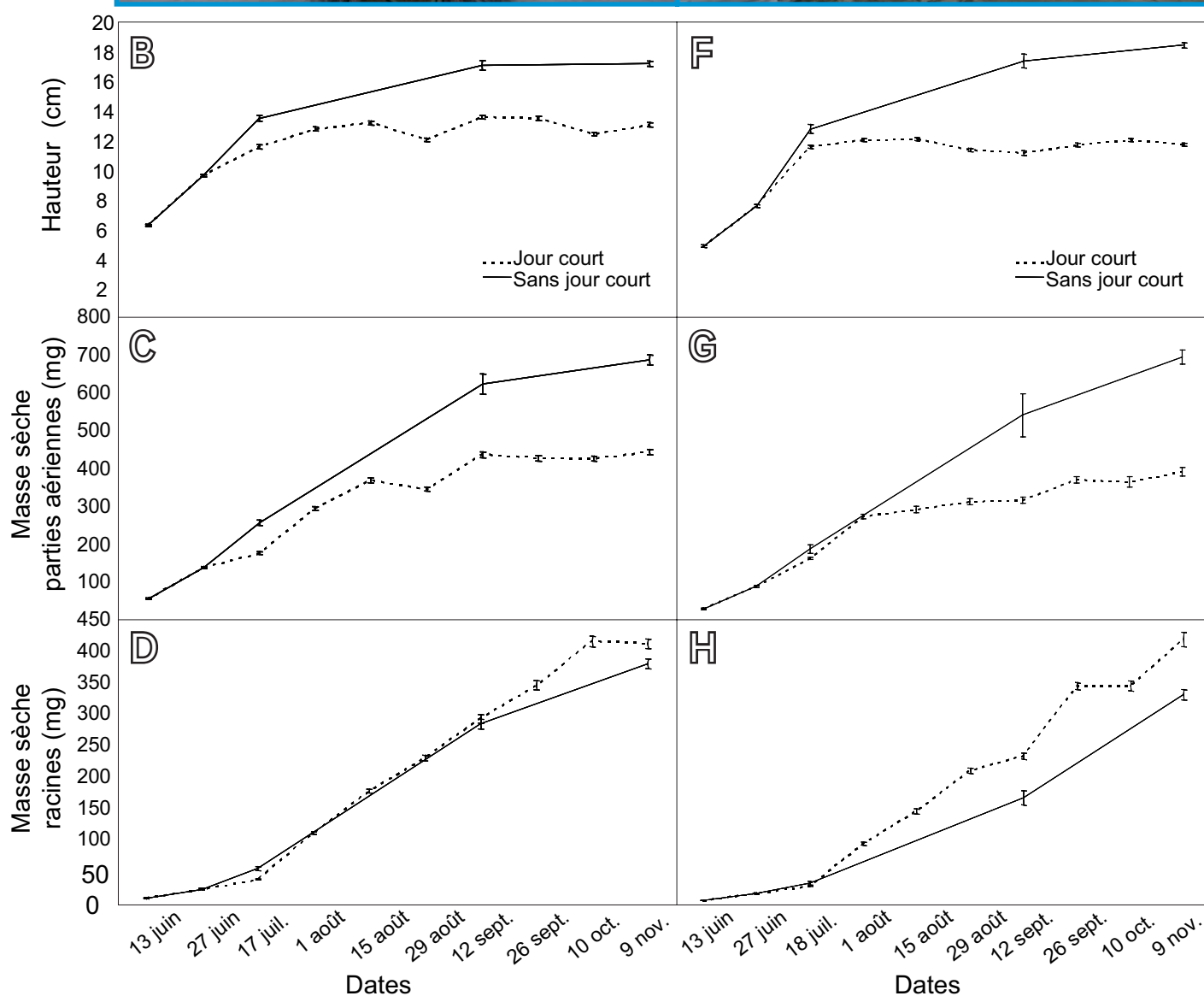


Figure 1. Application du traitement de jours courts dans chacun des deux dispositifs expérimentaux installés en serre (A) et sous tunnel (E) à la pépinière privée de Girardville et évolution des variables de croissance (hauteur, masse des parties aériennes et masse des racines) en serre (B-D) et sous tunnel (F-H) selon le traitement (jours courts et sans jours courts).

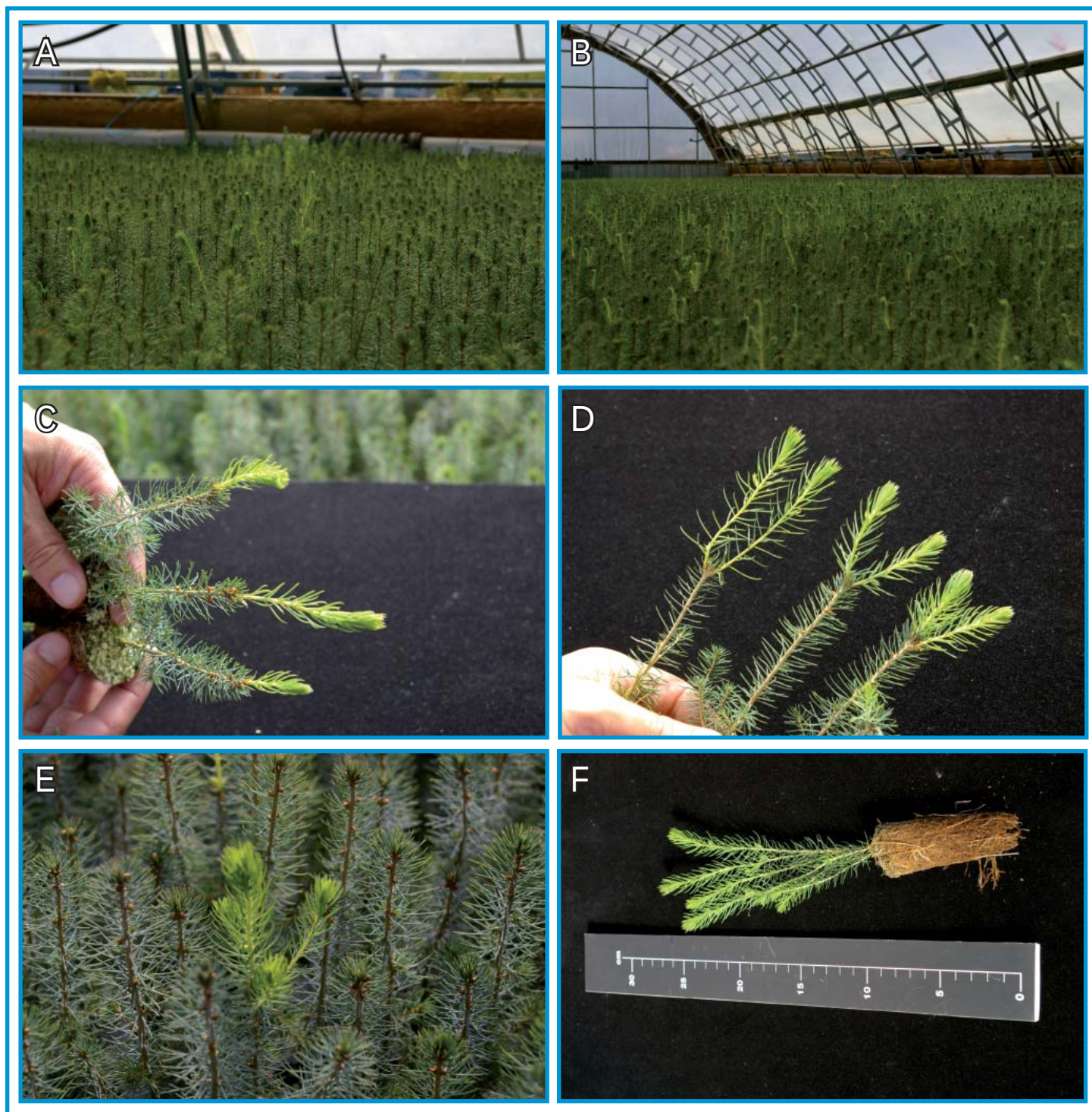


Figure 2. Variations du taux de débourrement des plants d'épinette noire (1+0, 67-50), soumis à un traitement de jours courts en période de croissance active (début juillet), selon deux lots différents de semences (A et B) produits dans la même serre et sous les mêmes régies de culture. Débourrement des bourgeons apicaux (C). Perte de dominance apicale et débourrement des bourgeons latéraux proches du bourgeon apical (D). Débourrement des bourgeons apicaux et latéraux combiné à une perte de dominance apicale (E et F).

Le taux de conformité des plants produits sous tunnel et soumis au traitement JC était significativement supérieur (90,83 %) à celui du traitement SJC (70,50 %). Par contre, dans le cas de la serre, les taux de conformité étaient similaires entre les deux traitements (JC = 85,50 %; SJC = 84,25 %). À l'échelle de la pépinière, le taux de conformité dépassait 95% pour les plants d'épinette noire produits dans le récipient 67-50. Cette similitude entre les deux traitements en serre pourraient être dues aux températures élevées dans la serre et dans le substrat, ainsi qu'à la surélévation importante des récipients du sol (80 cm). En effet, les températures élevées contribuent à l'augmentation de la respiration chez les plants et donc une perte d'énergie qui ne sera pas allouée à la croissance. La surélévation importante combinée aux températures élevées favorisent : le dessèchement rapide du substrat, la perte de contact entre le substrat et les apex des racines, la perte de turgescence ou la mortalité épisodique des apex des racines. Au printemps 2007, les plants soumis au traitement de JC ont montré un débourrement hâtif par comparaison aux plants témoins (SJC) (Figure 3).

Conclusion

À l'inverse de la serre, le recours au traitement de jours courts

sous tunnel contribue à l'augmentation de la masse des racines et à l'amélioration de la cohésion de la carotte. En effet, le recours au traitement de JC dans le tunnel a permis d'augmenter le taux de conformité (90,83 %) par rapport aux plants témoins (SJC; 70,50 %). Une amélioration nette de 20 % du taux de conformité démontre l'impact positif et significatif du traitement de JC sur la qualité des plants d'épinette noire (67-50). L'élaboration de modèles allométriques a montré que le traitement de JC favorise de façon significative l'allocation de la matière sèche au profit de la croissance des racines.

Cependant, une optimisation des variables environnementales, des autres techniques et des différentes régies de culture s'avère nécessaire pour atteindre les résultats escomptés de ce traitement. L'application du traitement de JC de façon hâtive (début juillet), soit en phase de croissance active des plants, ne garantit pas un arrêt de croissance définitif tout au long de la saison de croissance y compris au début de l'automne. À cet égard, le pépiniériste doit porter une attention particulière à la date du début du traitement de JC et à la source de semences, car le taux de débourrement, après un traitement de JC, peut varier de façon importante selon le lot de semences (vergers, provenance).

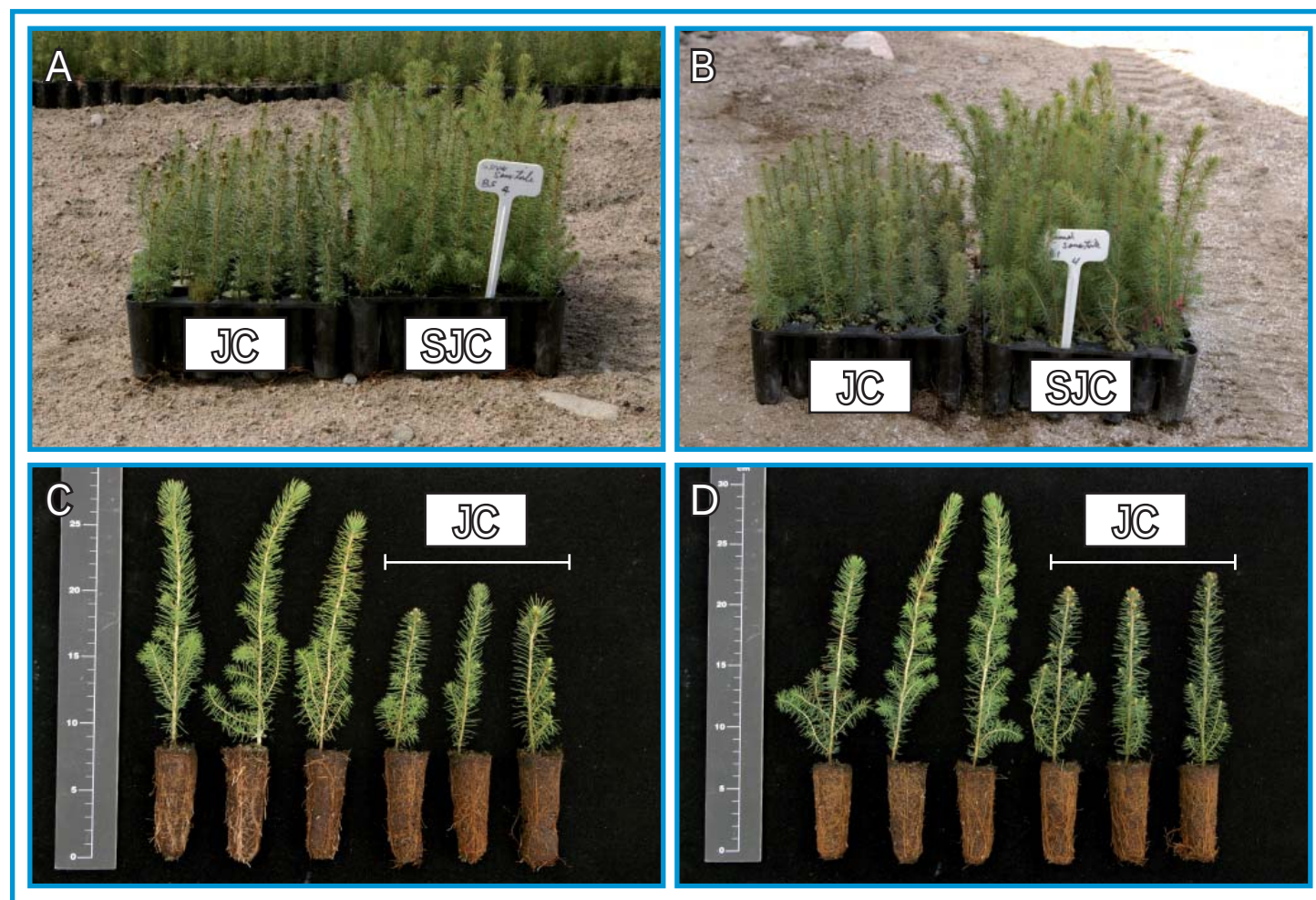


Figure 3. Comparaison des plants d'épinette noire (1+0, 67-50) soumis aux deux traitements (jours courts : JC, sans jours courts : SJC) aussi bien en serre (A) qu'en tunnel (B). Les photos (C) et (D) comparent également les mêmes traitements avec les trois plants témoins (SJC) sont à gauche. Les plants soumis au traitement JC aussi bien en serre qu'en tunnel montrent un débourrement hâtif par comparaison aux plants témoins (SJC).

D'autres scénarios de traitement de JC seront étudiés afin de diminuer le taux de débourrement des plants, d'évaluer les effets directs du traitement de JC sur la tolérance au gel, ainsi que l'impact de ce traitement sur l'initiation et la croissance de nouvelles racines après plantation.

Remerciements

Nous tenons à remercier Nancy Tanguay, directrice générale, et Johanne Minier de la Pépinière de Girardville, pour leur aide technique tout au long de la durée de ce projet. Nous remer-

cions tout le personnel du laboratoire de chimie organique et inorganique de la Direction de la recherche forestière (DRF) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) pour les analyses minérales des échantillons. Nous remercions également Louis Blais (DRF, MRNF), ainsi que Nathalie Vandal et Hélène Crépeau du Service de consultation statistique de l'Université Laval pour leur aide précieuse, lors des analyses statistiques. La qualification des plants selon les normes du MRNF a été effectuée avec la collaboration de Pierre Veilleux et Michèle Tourigny de la Direction générale des pépinières et des stations piscicoles du MRNF. Nous remercions également madame Sylvie Bourassa (DRF) pour la révision linguistique de ce manuscrit. L'appui financier de ce projet de recherche a été assuré par le MRNF.

Références

- ¹ DPSP, 2006. *Inventaire de qualification des plants résineux cultivés en récipients*. MRNF. 126 p.
- ² TOURIGNY, M., 2006. *Résumé*. 4^e Atelier de production de plants. 1 p.
- ³ LAMHAMEDI, M. S., P.Y. BERNIER et C. HÉBERT, 1997. *New Forests* 13(1-3) : 209-223.
- ⁴ LAMHAMEDI, M. S., P.Y. BERNIER, C. HÉBERT et R. JOBIDON, 1998. *For. Ecol. Manage.* 110 : 13-23.
- ⁵ LAMHAMEDI, M. S., G. LAMBANY, H. MARGOLIS, M. RENAUD et P.Y. BERNIER, 2001. *Can. J. For. Res.* 31 : 1968-1980.
- ⁶ LAMHAMEDI, M.S., H.A. MARGOLIS, M. RENAUD, L. VEILLEUX et I. AUGER, 2003. *Can. J. For. Res.* 33 : 279-291.
- ⁷ STOWE, D.C., M.S. LAMHAMEDI et H.A. MARGOLIS, 2001. *Can. J. For. Res.* 31 : 1922-1929.
- ⁸ BERGERON, O., M.S. LAMHAMEDI, H.A. MARGOLIS, P.Y. BERNIER et D.C. STOWE, 2004. *Hort. Sci.* 39 : 599-605.
- ⁹ LAMHAMEDI, M.S., H. CHAMBERLAND, P.Y. BERNIER et F. TREMBLAY, 2000. *Tree Physiol.* 20 : 869-880.
- ¹⁰ LAMHAMEDI, M.S., L. LABBÉ, H.A. MARGOLIS, D.C. STOWE, L. BLAIS et M. RENAUD, 2006. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 70 : 108-120.
- ¹¹ COLOMBO *et al.* 2001. In : *Conifer Cold Hardiness*. Kluwer Academic Press, Boston. p : 223-252.
- ¹² LAMHAMEDI, M.S., L. VEILLEUX et M. RENAUD, 2005. *Élaboration des seuils de tolérance au gel des plants d'épinette blanche (1+0) en pépinière forestière selon les régions écologiques du Québec*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 147. 52 p. ISBN 2-550-44100-1.

[illegible]



Mesure de l'activité de l'eau : intégration d'une nouvelle technologie pour le contrôle de la qualité des semences et des pollens

Patrick Baldet^{1,4}, Fabienne Colas² et Michèle Bettez³

Biographie de Patrick Baldet

Patrick Baldet, ingénieur d'études au Cemagref depuis 1996, a reçu une formation initiale de technicien forestier et de technicien supérieur en technologie des équipements. Il exerce dans le domaine des ressources génétiques forestières et en particulier pour l'ingénierie de la production des semences forestières améliorées, domaine dans lequel il associe les approches biologiques et technologiques pour élaborer des méthodes et outils innovants relatifs à la gestion du pollen et des semences. A la suite de recherches, il s'est engagé depuis 2002 dans le développement et le transfert du concept de la mesure de l'activité de l'eau afin de l'appliquer à la gestion de l'état hydrique des semences et pollens auprès des principaux acteurs français de la filière. En 2005 et 2006, il conduit un projet de recherche partenariale avec un industriel français privé sur la thématique du pollen. Il est actuellement impliqué dans l'évaluation agronomique et sanitaire des clones de peuplier français et responsable, pour la France, du projet de recherche et transfert bilatéral « Activité de l'eau » avec le Québec.

¹ Cemagref, Unité de Recherche Écosystèmes forestiers, Domaine des Barres, 45290 Nogent sur Vernisson, France

² Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Direction de la recherche forestière (DRF), 2700, rue Einstein, Québec, QC, Canada G1P 3W8

³ Centre de semences forestières de Berthier, Direction générale des pépinières et des stations piscicoles, MRNF, 1690 Grande Côte, Berthier (Québec) J0K 1A0

⁴ Courriel : patrick.baldet@cemagref.fr

BALDET, P., F. COLAS, et M. BETTEZ, 2007. Mesure de l'activité de l'eau : intégration d'une nouvelle technologie pour le contrôle de la qualité des semences et des pollens. Dans : Des plants aux plantations : Techniques, technologies et performances. Carrefour de la recherche forestière, 19-20 septembre 2007, Québec, Canada. pp : 33-35.

Une mesure de l'état hydrique issue de l'industrie agroalimentaire

La mesure de l'activité de l'eau (AE) est un concept élaboré, et essentiellement utilisé, par le secteur de l'industrie agroalimentaire. Le principe consiste, non pas à évaluer la quantité massique d'eau contenue dans un produit, mais à mesurer le potentiel chimique de cette eau pour en tirer des enseignements sur la stabilité ou, *a contrario*, les risques d'évolution physico-chimique du produit. Cette méthode de suivi de l'état hydrique tient une place majeure dans les phases de fabrication et de contrôle des produits alimentaires manufacturés. La texture de ces produits, leur goût ou couleur et, plus particulièrement, leur aptitude à la conservation, sont conditionnés en ce qui concerne leur état hydrique par l'activité de l'eau des différents constituants et du produit fini. En effet, le développement des micro-organismes, l'occurrence et l'accélération de réactions chimiques telles que les hydrolyses ou réactions de type enzymatiques, sont dépendants de la dispo-

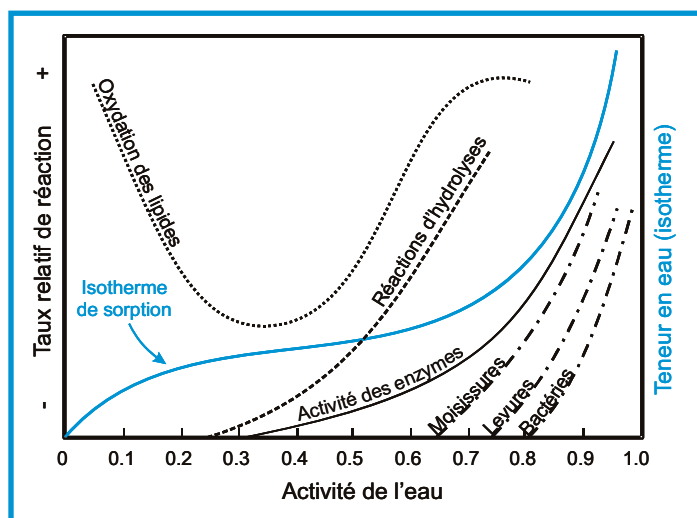


Figure 1. Activité relative des agents de détérioration de fonction de la valeur de l'activité de l'eau. Tiré de : LABUZA T.P., L. MC NALLY, D. GALLAGHER, J. HAWKES et F. HURTADO, 1972. Stability of intermediate moisture foods. 1 : lipid oxidation. Journal of Food Science 37 : 154-159.

nibilité chimique de l'eau. Ainsi, la durée de conservation des produits organiques est fonction de leur valeur d'activité de l'eau et non pas, *a priori*, de la quantité d'eau présente. Dans l'industrie agroalimentaire, l'utilisation d'adjuvants nommés « bloqueurs d'eau » illustre parfaitement la démarche consistant à maintenir un niveau d'hydratation élevé tout en réduisant le potentiel chimique de l'eau et, ainsi, les risques de détérioration.

Le graphe synthétique présenté à la figure 1, illustre la relation entre la dynamique des principales causes de détérioration et l'activité de l'eau. Il convient de souligner le cas de l'oxydation des lipides qui agit à toutes les valeurs d'AE et qui s'intensifie aux AE les plus fortes (supérieures à 0,65) et les plus basses (inférieures à 0,1). L'activité enzymatique, un des responsables du vieillissement des semences, est par contre totalement annulée à des AE inférieures à 0,3.

Démonstration de l'intérêt de la mesure de l'AE dans le domaine de la gestion des matériels forestiers de reproduction (graines et pollens)

Grâce à des travaux de recherche et de développement d'envergure, le Cemagref (France) a établi que l'état hydrique des pollens et des semences peut être géré via des mesures d'activité de l'eau. Cependant, pour les semences, cette mesure ne s'applique qu'aux essences produisant des graines de type orthodoxe (graines tolérant une forte déshydratation) comme les graines de conifères et de certains feuillus.

La dynamique de l'eau dans les matières organiques peut être décrite par la construction expérimentale d'isothermes de sorption. Il s'agit d'exposer un échantillon de graines, ou de pollen, à différentes valeurs d'humidité relative d'équilibre, et d'en mesurer ensuite la teneur en eau résultante. Cette analyse permet de représenter graphiquement la dynamique hydrique du matériau étudié et de calculer plusieurs paramètres dont la valeur d'AE de meilleure stabilité représentée par le point d'inflexion du modèle mathématique représentant généralement une courbe de type sigmoïde (voir figure 2).

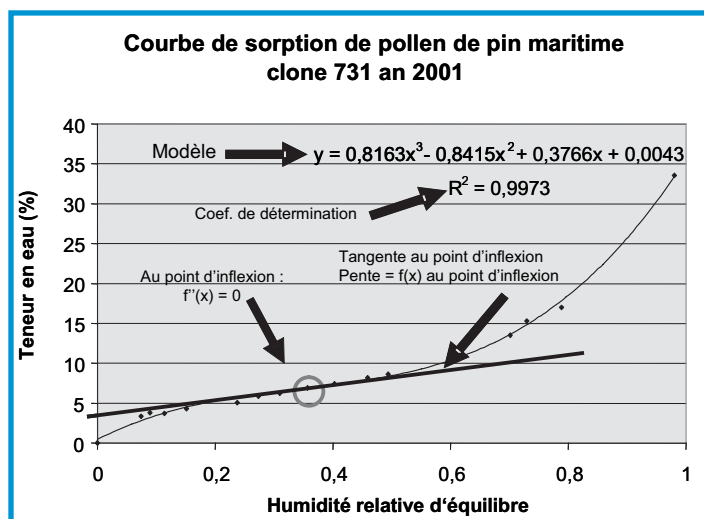


Figure 2. Isotherme de sorption d'un clone de pollen de pin maritime et exemple d'interprétation mathématique. Au point d'inflexion, la valeur d'activité de l'eau de meilleure stabilité est de 0,36.

L'analyse d'un nombre important d'échantillons d'une même espèce permet d'apprécier la variabilité de la relation entre humidité relative d'équilibre et teneur en eau résultante. Les travaux réalisés au Cemagref ont mis en évidence, pour une même espèce, que ce soit graine ou pollen, une variabilité partielle des isothermes qui se rapprochent d'une forme générale commune tout en se positionnant parallèlement les uns aux autres. Il en résulte une faible variabilité des AE optimales de conservation alors que les teneurs en eau résultantes accusent une plus grande variabilité. Cette propriété confirme l'intérêt de mesurer l'AE en lieu et place de la teneur en eau qui n'est qu'un facteur secondaire induit.

Les recherches réalisées ont permis de décrire la dynamique de l'eau et, ainsi, de définir puis de recommander des valeurs d'AE optimales de conservation des pollens et des semences d'essences forestières modèles tant feuillues que résineuses utilisées en France. Par exemple, l'AE optimale de conservation du pollen de *Larix leptolepis* est de 0,32, elle est de 0,33 pour le pollen de *Pseudotsuga douglasii*, et de 0,35 pour le pollen de *Pinus pinaster*. Du côté des semences, les valeurs optimales d'AE sont, à titre d'exemple, de 0,39 pour *Fagus sylvatica*, 0,30 pour *Fraxinus excelsior* et 0,34 pour *Pseudotsuga douglasii*.

Les avantages opérationnels de la mesure de l'AE

La mesure de l'activité de l'eau présente deux avantages opérationnels majeurs : la rapidité d'acquisition de la mesure et son caractère non destructif.

En effet, plusieurs heures sont nécessaires pour mesurer une teneur en eau précise en étuve. Ce délai ne permet pas, par exemple, le pilotage en temps réel d'un processus de séchage. La mesure de l'activité de l'eau d'un échantillon de semences ou de pollen ne nécessite que quelques minutes, cela permet de suivre en temps réel les processus de traitement et de décider rapidement des procédures à appliquer à des produits dont l'état hydrique n'est pas connu.

De plus, la mesure de la teneur en eau par séchage en étuve détruit l'échantillon et induit un coût de matière qui est d'autant plus grand si le matériel est rare. La mesure de l'activité de l'eau est par contre sans effet sur l'échantillon testé qui est simplement déposé temporairement dans une cellule de mesure (voir figure 3) ou testé directement dans son contenant de stockage avec une sonde à piquer. Ainsi, une source de semences ou de pollen, parfois très précieuse, peut être évaluée un grand nombre de fois sans consommation de produit ; il en résulte la possibilité de gérer l'état hydrique des échantillons les plus petits (par exemple lots pour la conservation de la diversité génétique d'une espèce), une réduction sensible du coût global des essais ainsi qu'une simplification de la gestion des stocks. De grands progrès technologiques ont été accomplis dans le domaine de la mesure de l'activité de l'eau, il en résulte des équipements précis, abordables, faciles à mettre en œuvre et qui sont portables pour les travaux sur le terrain.

Le Cemagref a transféré avec succès ce concept de gestion de l'état hydrique aux deux principaux acteurs de la filière semences forestières française, l'Office national des forêts et les établissements Vilmorin.

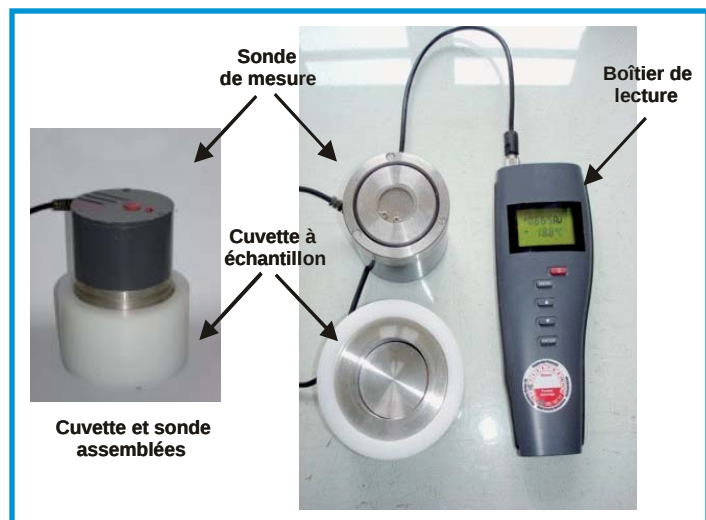


Figure 3. Appareil portatif de mesure de l'activité de l'eau.

Une action de transfert et de recherche partenariale entre le Cemagref (France) et la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

Dès 2005, des premiers contacts ont été pris avec le Cemagref par M^{me} Fabienne Colas, chercheuse de l'équipe production de semences et de plants de la Direction de la recherche forestière (DRF) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF). A l'issue d'une mission de M^{me} Colas en France en 2006, le Cemagref et la DRF ont décidé de collaborer pour procéder à l'intégration opérationnelle de la mesure de l'Activité de l'Eau pour le traitement, la gestion et la mise en conservation des semences et pollens des principales essences forestières commerciales au Québec. Un projet de recherche partenariale relatif au vieillissement des semences a été associé à l'action de transfert « Mesure de l'Activité de l'Eau ». Ce projet global a été formalisé début 2007 dans le cadre de la 61^e Commission permanente de coopération franco-québécoise (CPCFQ). La Direction France du ministère des Relations internationales du Québec et le Consulat général de France à Québec constituent cette commission qui apporte son soutien à cette action de recherche et transfert bilatérale.

Le projet de transfert associera plusieurs phases telles que la description du comportement hydrique des essences québécoises, le calcul des valeurs optimales de conservation assorti de l'examen comparé avec les valeurs de mise en conservation de l'état de l'art en cours. Enfin, seront engagées des recherches relatives à la caractérisation et à la maîtrise du vieillissement des semences en regard de la mesure de l'Activité de l'Eau.

Les bénéfices mutuels attendus de cette action de transfert et recherche partenariale sont la valorisation et la diffusion de travaux de recherche finalisés. Le transfert de cette méthode au Québec permettra, par la connaissance du comportement hydrique de matériels forestiers de reproduction plus nordiques, l'élargissement du domaine d'application de la mesure de l'activité de l'eau.

Les chercheurs des deux pays vont donc enrichir leur expérience mutuelle en acquérant de nouvelles connaissances et en se confrontant à de nouvelles contraintes spécifiques au contexte québécois. Cet enrichissement mutuel scientifique et opérationnel confortera la méthode et contribuera à jeter les bases d'une diffusion encore plus large à l'échelle internationale.

Les responsables français et québécois du projet expriment leur gratitude auprès du ministère des Relations internationales du Québec et du Consulat général de France qui soutiennent ce projet de coopération dans le cadre de la 61^e session de la Commission permanente de coopération franco-québécoise.

[illegible]



Recherche et intégration de stratégies de lutte biologique contre les principaux ravageurs dans les pépinières forestières

Claude Guertin¹

Biographie de Claude Guertin

Claude Guertin a obtenu son B.Sc. en 1985 et sa maîtrise en 1987 en biologie de l'Université du Québec à Montréal, et son doctorat en 1992 en biologie (S.I.P.) de l'Université Concordia. Il s'est joint en 1991 à l'INRS Institut Armand-Frappier comme stagiaire postdoctoral. Entre 1993 et 1998, il a agi à titre de professeur boursier au Centre de recherche en virologie. Il est depuis cette période professeur à l'INRS Institut Armand-Frappier.

¹ INRS–Institut Armand-Frappier, 531, boulevard des Prairies, Laval (Québec) H7V 1B7, Canada
Courriel : claudio.guertin@iaf.inrs.ca

Les insectes peuvent affecter considérablement la production de semis destinés aux programmes de reboisement. Des efforts ont été déployés afin de développer et d'intégrer des stratégies de lutte environnementalement acceptable, qui permettent de réduire les dommages causés par les principaux ravageurs des pépinières. L'utilisation de certains agents entomopathogènes a été envisagée pour lutter contre les populations d'insectes, notamment la punaise terne, le charançon de la racine du fraisier et dans une moindre mesure le scarabée japonais. Dans un premier volet, différents isolats de *Beauveria bassiana*, un agent entomopathogène, ont été testés contre ces ravageurs, afin d'identifier ceux pouvant être les plus efficaces contre ces insectes. Ainsi, à l'aide d'épreuves biologiques, deux isolats, INRS-211. INRS-242, se sont avérés très efficaces contre les populations adultes de la punaise terne et du charançon de la racine du fraisier avec des pourcentages de mortalité de 100 %, 7 jours suivant l'inoculation. Par contre, ce sont les souches INRS-225 et INRS-252 qui sont les plus efficaces contre les populations adultes de scarabée japonais. L'isolat INRS-211 provoque une mortalité d'un peu plus de 50 % chez les scarabées adultes. Sur les bases de ces observations, différentes stratégies sont envisagées afin d'intégrer ces agents dans les régies de lutte contre les ravageurs des pépinières.

[illegible]



Le reboisement : un outil d'aménagement durable des forêts

Paule Têtu, sous-ministre associée à Forêt Québec

Biographie de Paule Têtu

Titulaire d'un baccalauréat en génie forestier de l'université Laval (1979) et d'une maîtrise en ressources forestières de l'Université de Georgie aux États-Unis (1982), M^{me} Paule Têtu a passé les sept premières années de sa carrière dans le monde des médias comme journaliste pour la Société Radio-Canada.

Au cours des années suivantes, M^{me} Têtu a occupé différents postes de gestion. Ainsi, de 1989 à 1997, elle a été directrice des communications à l'Association des industries forestières du Québec. En 1997, elle devient vice-présidente – Développement durable pour Produits forestiers Kruger et, en 2000, elle est nommée directrice – Communications et Membership pour Forintek Canada Corp., l'institut national de recherche sur les produits du bois. Outre les fonctions qu'elle occupe au Canada, elle a la responsabilité de la coordination des activités de Forintek en Amérique latine. Soulignons que de 1994 à 2004, M^{me} Têtu a été membre du Comité technique sur l'aménagement forestier durable de la CSA (Association canadienne de normalisation) et qu'elle a assumé la présidence de ce comité en 2003.

De février à décembre 2004, M^{me} Têtu a été déchargée de ses responsabilités à Forintek pour agir à titre de directrice de l'information et des communications pour la Commission d'étude sur la forêt publique québécoise (commission Coulombe).

En janvier 2005, M^{me} Têtu est nommée sous-ministre associée à la Mise en œuvre du rapport de la commission Coulombe. À la suite d'une réorganisation des activités du Ministère et à la fusion des secteurs Forêts et Forêt Québec, en novembre 2005, M^{me} Têtu est alors nommée sous-ministre associée à Forêt Québec.

Le texte n'était pas encore disponible au moment de l'édition de ce recueil.

This image shows a full page of blank, lined paper. It features approximately 20 evenly spaced horizontal blue lines across its entire width. The lines are thin and consistent in color, set against a plain white background. There are no margins, text, or other markings present on the page.



Types de plants et compétition : éléments critiques à l'établissement de plantations

Vincent Roy^{1,2} et Nelson Thiffault^{1,3}

Biographie de Vincent Roy

Vincent Roy est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1993. Après un stage à l'Université des sciences agricoles de Suède à Umeå, il obtient en octobre 1998 un diplôme de Philosophie Doctor de l'Université Laval. Il est chercheur à la Direction de la recherche forestière depuis 1999, de même que chargé de cours et professeur associé à la Faculté de foresterie et géomatique de l'Université Laval. Ses travaux portent sur l'établissement de plantations, le microclimat des trouées, la remise en production des forêts dégradées et sur la régénération des milieux humides boisés après la coupe.

¹ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Direction de la recherche forestière (DRF), 2700, rue Einstein, Québec, QC, Canada G1P 3W8

² Courriel : vincent.roy@mrnf.gouv.qc.ca

³ Courriel : nelson.thiffault@mrnf.gouv.qc.ca

Le succès d'établissement de la régénération forestière après coupe constitue l'assise d'un aménagement forestier durable. En plantation, la période d'établissement s'étend de la mise en terre des plants jusqu'à ce qu'ils aient atteint le stade de croissance libre. Le réseau des pépinières privées et publiques du Québec offre un large éventail d'essences forestières disponibles pour la plantation. Le forestier doit fixer son choix selon la station à reboiser, mais également selon l'objectif visé en regard de la quantité et de la qualité de la matière ligneuse, de même que des autres usages du territoire. Toutefois, au-delà du choix de l'espèce, le choix du type de plants mis en terre est primordial. La connaissance des interactions entre ces facteurs représente un élément pivot d'un scénario sylvicole qui permettra de rentabiliser les investissements consentis et atteindre l'objectif de production visé (Thiffault *et al.* 2003b).

Au Québec, l'utilisation des phytocides chimiques pour la gestion de la végétation forestière a été graduellement réduite depuis 1994 sur les terres du domaine public, avant d'être complètement éliminée en 2001. La recherche effectuée à la Direction de la recherche forestière du MRNF a permis de raffiner les paramètres du modèle de maîtrise intégrée de la végétation forestière énoncé par la Stratégie de protection des forêts. Cette approche, axée sur le reboisement hâtif (le printemps suivant la coupe) de plants de fortes dimensions (PFD) pour les stations à hauts risques de compétition confère un avantage compétitif aux plants mis en terre par rapport à la végétation compétitive (voir Roy *et al.* 2003). Aujourd'hui, de 25 à 30 millions de PFD sont plantés annuellement, sur un volume total de reboisement annuel variant de 130 à 150 millions de plants. Lors de cette conférence, notre objectif est de présenter les plus récents résultats de la recherche concernant les PFD, en regard de leurs interactions avec la sylviculture et les pratiques en pépinières.

Des gabarits de plants ont été développés afin de faciliter l'adaptation des semis mis en terre aux diverses contraintes environnementales. Ainsi, sur les stations à forte compétition, nos travaux de recherche démontrent que la taille initiale des plants de fortes dimensions (PFD) leur confère un potentiel

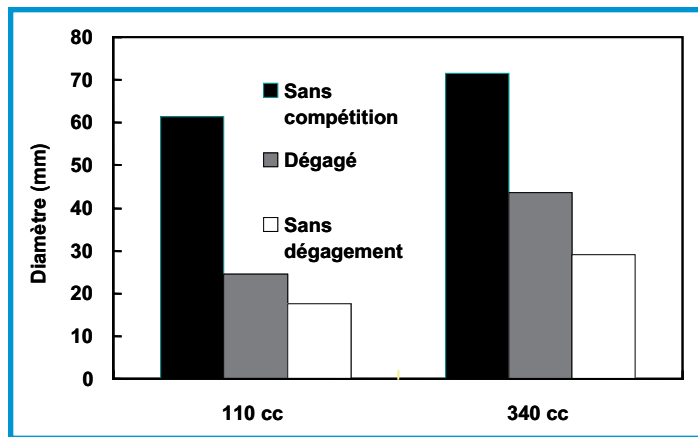


Figure 1. Diamètre après huit saisons de croissance de plants standards (110 cc) et de plants de fortes dimensions (PFD – 340 cc) d'épinettes noire et blanche, dans des parcelles sans compétition, dégagées après trois ans, ou sans dégagement (adapté de Jobidon et al. 2003). La croissance en diamètre représente la variable qui explique le mieux l'effet d'une compétition pour la lumière.

de croissance supérieur à celui des plants conventionnels (Figure 1). Ces résultats démontrent que le reboisement hâtif avec des PFD permet de limiter le besoin de dégagements mécaniques et d'obtenir de meilleures réactions de croissance à la suite de celui-ci (Jobidon *et al.* 1998, 2003).

Sur les stations à compétition modérée, les plants de moyennes dimensions (PMD) ont démontré leur utilité (Thiffault et Jobidon 2005). Ces plants, typiquement produits dans des récipients dont les cavités ont un volume de 200 cm³, sont d'un gabarit intermédiaire entre celui des plants standards et des PFD. Au terme de cinq saisons de croissance, les ratios hauteur/diamètre des PMD sont égaux ou inférieurs au seuil de 55 jugé raisonnable en milieu compétitif (Jobidon 2000). Nos résultats indiquent que les PMD se comportent davantage comme des PFD que comme des plants standards.

Nous nous sommes également intéressés aux performances comparatives des PFD produits en récipients et des PFD produits à racines nues. Nous avons étudié les interactions entre le mode de production des PFD (récipients et racines nues), la végétation compétitive et le scarifiage, dans le contexte du reboisement hâtif. Nos résultats indiquent que les dimensions atteintes par les PFD en récipients et à racines nues après sept (7) saisons de croissance sont similaires. De même, les deux types de PFD ont des potentiels de survie intrinsèques équivalents. Finalement, nous constatons que les PFD en récipients et à racines nues ont des potentiels compétitifs équivalents et qu'ils répondent de la même manière au scarifiage (Thiffault *et al.* 2003a). D'un strict point de vue sylvicole, les contraintes techniques liées à la production, au transport, à la distribution, à l'entretien et à la mise en terre des plants devraient donc constituer les principaux facteurs guidant le choix d'un PFD en récipient ou à racines nues.

Par ailleurs, au-delà de la taille et du type de plants, l'état nutritif initial de ceux-ci est important. Nos travaux récents illustrent l'importance de hauts standards nutritionnels pour les plants mis en terre, notamment sur les stations soumises à une contrainte de disponibilité des ressources nutritives.

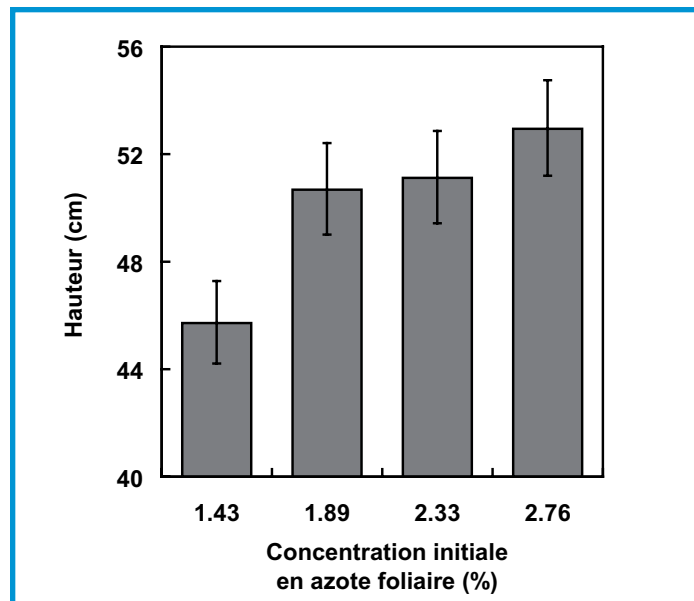


Figure 2. Hauteur à 5 ans d'épinettes noires plantées selon différentes concentrations initiales d'azote foliaire (Thiffault et Jobidon 2006). La concentration à 1,89% d'azote foliaire représente le standard actuel de production pour ce type de plant.

Cinq saisons après la plantation, les retards de croissance associés aux faibles teneurs initiales en azote sont toujours évidents (Thiffault et Jobidon 2006) (Figure 2).

Par ailleurs, une stratégie de gestion intégrée de la végétation vise aussi l'application de traitements de dégagements mécaniques aux seuls endroits et moments où ils sont requis (Roy *et al.* 2003). Les sites les plus fertiles sont souvent ceux qui sont les plus sujets à l'envahissement par la compétition. Il importe donc de prioriser nos actions sylvicoles sur les sites les plus productifs afin de rentabiliser nos investissements sylvicoles. Wagner *et al.* (1999) ont clairement démontré l'importance du moment d'application (temps écoulé depuis la mise en terre) du traitement de dégagement sur la compé-

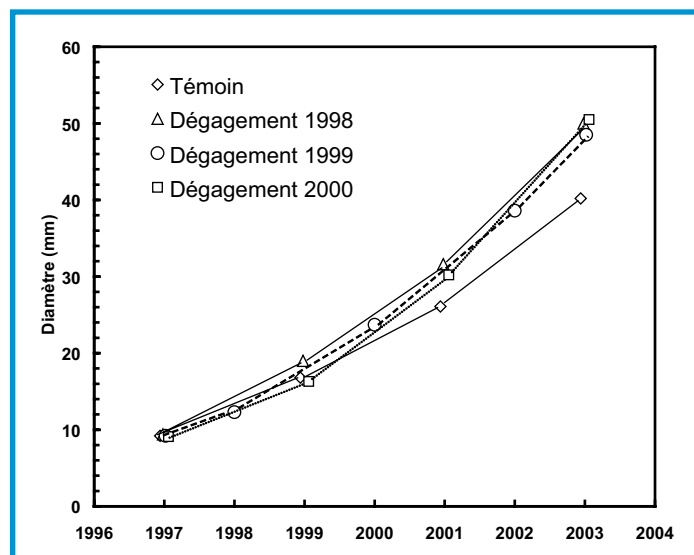


Figure 3. Évolution du diamètre de plants de fortes dimensions d'épinette blanche, mis en terre en 1996 sur une station à forte compétition du Témiscouata.

tition qu'exerce la végétation sur la croissance du pin gris, du pin rouge, du pin blanc et de l'épinette noire en Ontario. Afin de préciser le moment où le dégagement mécanique doit être effectué dans le contexte québécois du reboisement hâtif avec des PFD (une approche novatrice, propre au Québec) pour les différentes conditions écologiques de la province, un réseau de quatorze stations expérimentales a été établi sur des stations à hauts risques de compétition dans différentes régions écologiques du Québec. Les résultats préliminaires, colligés pour onze de ces stations, indiquent que l'application du traitement de dégagement pendant la 3^e, 4^e ou 5^e saison de croissance résulte en des dimensions similaires à la fin de la 8^e saison de croissance (Figure 3).

Les besoins grandissants de la société en matière ligneuse et pour la conservation des forêts naturelles confirment l'importance du reboisement pour les prochaines années. L'établissement des plantations s'insère dans une filière qui va de la production des plants aux traitements sylvicoles d'éducation des peuplements. L'ensemble de ces activités constituent les mailles d'une même chaîne. L'optimisation de tout programme de reboisement repose sur la manière dont on gère les interactions entre elles.

Références

- JOBIDON, R., L. CHARETTE et P.Y. BERNIER, 1998. *Initial size and competing vegetation effects on water stress and growth of Picea mariana (Mill.) BSP seedlings planted in three different environments*. For. Ecol. Manage. 103: 293-305.
- JOBIDON, R. 2000. *Density-dependent effects of northern hardwood competition on selected environmental resources and young white spruce (Picea glauca) plantation growth, mineral nutrition, and stand structural development -- a 5-year study*. For. Ecol. Manage. 130: 77-97.
- JOBIDON, R., V. ROY et G. CYR, 2003. *Net effect of competing vegetation on selected environmental conditions and performance of four spruce seedling stock sizes after eight years in Québec (Canada)*. Ann. For. Sci. 60: 691-699.
- ROY, V., N. THIFFAULT et R. JOBIDON, 2003. *Maîtrise intégrée de la végétation au Québec (Canada) : une alternative efficace aux phytocides chimiques*. Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Note de recherche forestière 123, 8 p.
- THIFFAULT, N. et R. JOBIDON, 2005. *Existe-t-il une interaction entre le type de plants et le scarifiage? Le cas des PMD et des PFD d'épinettes*. Direction de la recherche forestière, Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. Note de recherche forestière 129, 13 p.
- THIFFAULT, N. et R. JOBIDON, 2006. *How to shift unproductive Kalmia angustifolia – Rhododendron groenlandicum heath to productive conifer plantation*. Can. J. For. Res. 36: 2364-2376.
- THIFFAULT, N., R. JOBIDON et A.D. MUNSON, 2003a. *Performance and physiology of large containerized and bare-root spruce seedlings in relation to scarification and competition in Quebec (Canada)*. Ann. For. Sci. 60: 645-655.
- THIFFAULT, N., V. ROY, G. PRÉSENT, G. CYR, R. JOBIDON et J. MÉNÉTRIER, 2003b. *La sylviculture des plantations résineuses au Québec*. Nat. Can. 127: 63-80.
- WAGNER, R., G. MOHAMMED et T. NOLAND, 1999. *Critical period of interspecific competition for northern conifers associated with herbaceous vegetation*. Can. J. For. Res. 29: 890 - 897.

[illegible]



Planter des arbres pour capturer le CO₂

Sylvie Tremblay^{1,2}, Catherine Périé¹, Rock Ouimet¹, Lise Charette¹ et Guy Prigent¹

Biographie de Sylvie Tremblay

Sylvie Tremblay a terminé son baccalauréat ès sciences forestières à l'Université Laval en 1983 et sa maîtrise sur la translocation du carbone-14 entre des plants par les mycorrhizes en 1989. Elle travaille à la Direction de la recherche forestière, dans l'équipe des stress environnementaux, depuis 1998. Elle a travaillé, entre autre, à l'élaboration d'un modèle de prédiction de la quantité de carbone organique dans les sols à partir de leur couleur, et à l'accumulation du carbone dans les friches boisées et non boisées du Bas Saint-Laurent. Elle démarre présentement un projet sur les premières réactions de la pessière noire à mousses face au réchauffement climatique.

¹ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), Direction de la recherche forestière (DRF), 2700, rue Einstein, Québec, QC, Canada G1P 3W8.

² Courriel : sylvie.tremblay@mrnf.gouv.qc.ca

Problématique

D'ici la fin du siècle, les experts prévoient un réchauffement planétaire de 1 à 6 °C, dû à l'augmentation des gaz à effet de serre (CO₂ principalement) (IPCC 2007). Pour ralentir ce phénomène, de nombreux pays ont décidé de réduire leurs sources de CO₂, mais aussi d'augmenter leurs puits de CO₂. Est puits de CO₂ tout écosystème, comme un océan, une forêt ou un sol, qui retire du CO₂ de l'air et le stocke. Ainsi, les superficies non forestières boisées depuis 1990 sont des puits de CO₂ qui seront assurément comptabilisés pour la première période d'engagement du Protocole de Kyoto (2008-2012). Cette quantité de CO₂, qui sera soustraite des émissions anthropiques, correspond au carbone (C) accumulé entre 2008 et 2012 dans les plantations de 22 ans et moins établies sur des terres agricoles abandonnées (friches).

Étant donné que 67 % du reboisement des terres privées canadiennes effectué entre 1990 et 2002 a eu lieu au Québec (White et Kurz 2005) et que la majorité de ce reboisement au Québec s'est fait avec de l'épinette blanche (Parent 2003), il devenait impératif d'étudier les plantations d'épinette blanche établies sur friches comme puits de CO₂. Des plantations de pin rouge établies sur friches ont aussi été étudiées, parce qu'un grand nombre de données de sol étaient déjà disponibles (Brazeau 1983) et que le pin rouge est l'essence résineuse indigène la plus productive en plantation (Bolghari et Bertrand 1984).

Objectif

L'objectif de l'étude est de déterminer, à l'aide de chronoséquences, l'accumulation de C dans des plantations d'épinette blanche et de pin rouge établies sur friches dans le sud du Québec (Canada) (Tremblay et al. 2006; Ouimet *et al.* 2006). Une attention particulière est portée à la quantité de C accumulée dans le sol, car ce réservoir de C est non seulement peu connu, mais aussi plus grand et plus stable que celui de la végétation.

TREMBLAY, S., C. PÉRIÉ, R. OUIMET, L. CHARRETTE et G. PRÉSENT, 2007. Planter des arbres pour capturer le CO₂. Dans : *Des plants aux plantations : Techniques, technologies et performances*. Carrefour de la recherche forestière, 19-20 septembre 2007, Québec, Canada. pp : 45-47.

Méthode

Les plantations d'épinette blanche étudiées sont dans le sous domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est, tandis que celles de pin rouge sont dans les sous domaines de l'érablière à caryer cordiforme, l'érablière à tilleul de l'est et l'érablière à bouleau jaune de l'est (réf. classification de Saucier *et al.* 1998). La chronoséquence de l'épinette blanche est de 50 ans et celle du pin rouge, de 40 ans, afin d'évaluer aussi l'accumulation de C au-delà de 22 ans. Les compartiments étudiés sont les arbres, la litière et le sol. Toutefois, la définition de chaque compartiment et la méthode pour en évaluer le contenu en C sont différentes pour les deux essences (Tremblay *et al.* 2006; Ouimet *et al.* 2006).

Résultats

Chronoséquence de l'épinette blanche

Les plantations d'épinette blanche sont des puits de CO₂, car elles accumulent 12 tonnes de C ha⁻¹ durant les 22 premières années (Figure 1a). Cela correspond à un taux d'accumulation annuel de CO₂ de 2 tonnes de CO₂ ha⁻¹ an⁻¹ sur 22 ans. La biomasse des arbres (partie aérienne ou épigée) est le principal puits de CO₂ des plantations d'épinette blanche. En 22 ans, 40 tonnes de C ha⁻¹ s'y accumulent (Figure 1a). Cette quantité est supérieure à l'accumulation totale de la plantation (+12 tonnes de C ha⁻¹), car le sol (les 30 premiers centimètres) est une source de CO₂ durant cette période (-28 tonnes de C ha⁻¹). La perte de C du sol durant les 22 premières années de la plantation est probablement due au fait que l'apport de C au sol par la litière est plus faible que la perte de C du sol par la décomposition de la matière organique durant cette période. L'absence d'accumulation de C dans la litière durant les 22 premières années corrobore cette hypothèse.

Sur un horizon de 50 ans, les plantations d'épinette blanche accumulent 75 tonnes de C ha⁻¹ ou 5,5 tonnes de CO₂ ha⁻¹ an⁻¹. L'accumulation de C additionnelle de 22 à 50 ans est due au doublement de la biomasse aérienne des arbres et à l'arrêt de la perte nette de CO₂ du sol.

Chronoséquence du pin rouge

Les plantations de pin rouge sont aussi des puits de CO₂. Elles accumulent en moyenne 51 tonnes de C ha⁻¹ durant les 22 premières années : 59 tonnes de C ha⁻¹ sur sol loameux (Figure 1b) et 49 tonnes de C ha⁻¹ sur sol sableux. La différence de C accumulé se trouve non pas dans la biomasse des arbres, mais dans le sol (le premier mètre). Ainsi, le sol loameux accumule plus de C probablement à cause de la présence de particules fines qui favorisent l'accumulation de matière organique (C) dans les agrégats du sol minéral. La biomasse des arbres (parties aérienne et souterraine, ou épigée et hypogée) reste le principal puits de CO₂ des plantations de pin rouge. En 22 ans, 37 tonnes de C ha⁻¹ s'y accumulent. Contrairement aux plantations d'épinette blanche, le sol des plantations de pin rouge est un puits de CO₂ durant les 22 premières années lorsque c'est un loam (+22 tonnes de C ha⁻¹, Figure 1b). Par contre, lorsque c'est un sable, le sol n'accumule ni ne perd de CO₂. La litière est le plus faible puits de CO₂ durant les 22 premières années : il s'y accumule 10 et 7 tonnes de C ha⁻¹ sur sable et sur loam respectivement.

En 40 ans, les plantations de pin rouge accumulent 100 tonnes de C ha⁻¹ sur sol loameux et 84 tonnes de C ha⁻¹ sur sol sableux. Le taux d'accumulation annuel de CO₂ au cours des 40 premières années varie entre 8 et 10 tonnes de CO₂ ha⁻¹ an⁻¹ selon la texture du sol de la plantation.

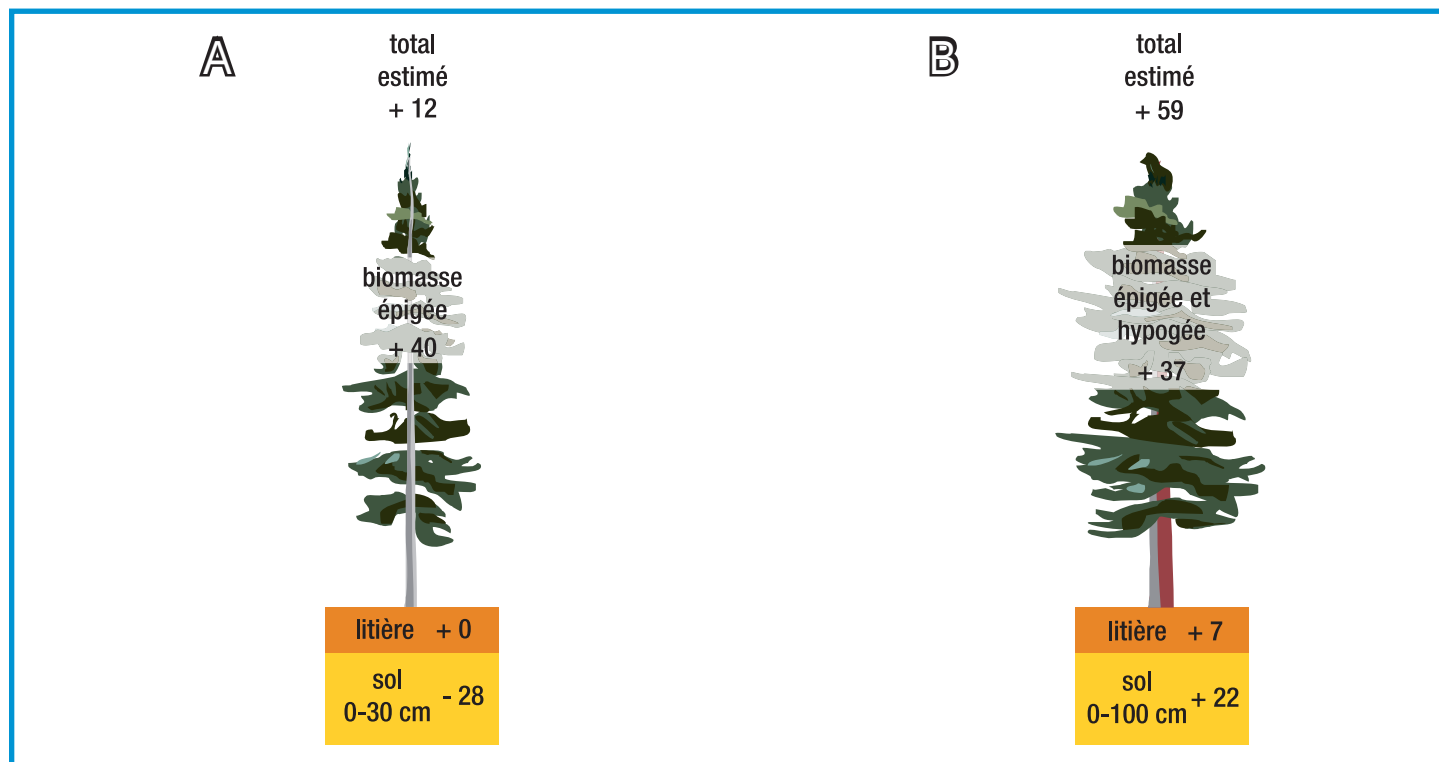


Figure 1. Accumulation du carbone organique (tonnes ha⁻¹) estimée au total, dans la biomasse des arbres, la litière et le sol des plantations **A)** d'épinette blanche et **B)** de pin rouge sur sol loameux, au cours des 22 premières années.

Conclusion

Le boisement des friches avec de l'épinette blanche dans le sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est et avec du pin rouge dans les sous-domaines de l'érablière à caryer cordiforme, l'érablière à tilleul de l'est et l'érablière à bouleau jaune de l'est crée des puits de CO₂, puisque ces plantations accumulent en 22 ans 12 Tonnes C ha⁻¹ et 59 Tonnes C ha⁻¹ (sur loam). Cela correspond à un puits de 2 et 8 tonnes de CO₂ ha⁻¹ an⁻¹ respectivement, annulant les émissions annuelles de une et trois voitures compactes roulant 20 000 kilomètres par année!

Les plantations d'épinette blanche seront de plus importants puits de CO₂ au-delà de 22 ans, car le sol cessera d'être une source de CO₂ et la croissance des arbres sera en plein essor. D'autre part, les plantations de pin rouge doivent être effectuées sur des friches à sol loameux afin de maximiser leur rôle de puits.



Figure 2. Plantation d'épinette blanche de 30 ans à Lac Saint-Ignace.
Photo A. Rainville (MRNF)

Références

- BOLGHARI, H.A. et R. BERTRAND, 1984. Gouv. du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche. Mémoire no 79.
- BRAZEAU, M., 1983. Gouv. du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources, Service de la recherche forestière, Rapport interne no 234.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007 : The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. 18 p.
- OUIMET, R., S. TREMBLAY, C. PÉRIÉ et G. PRÉSENT, 2006. Can. J. For. Res. 37 : 1118-1133.
- PARENT, B., 2003. Gouv. du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction du développement de l'industrie des produits forestiers, Québec. Portrait statistique.
- SAUCIER, J.-P., J.-F. BERGERON, P. GRONDIN et A. ROBITAILLE, 1998. Supplément de l'Aubelle numéro 124, Québec.
- TREMBLAY, S., C. PÉRIÉ et R. OUIMET, 2006. Can. J. For. Res. 36 : 2713-2723.
- WHITE, T.M. et W.A. KURZ, 2005. For. Chron. 81 : 491-497.

This image shows a full page of blank, white paper with horizontal blue ruling lines. The lines are evenly spaced and run across the width of the page, typical of notebook or legal stationery. There are no margins, text, or other markings present.

STANDS EN LIEN AVEC LE THÈME DU COLLOQUE

Stands thématiques du Carrefour 2007

Le nombre entre parenthèses correspond au numéro du stand thématique. Vous retrouverez le résumé du stand dans le programme du Carrefour 2007.

Domaine Reboisement et régénération naturelle

- Amélioration de la qualité des semences : des travaux de recherche qui portent fruit.
Fabienne Colas, Michèle Bettez, Patrick Baldet, Anne Savary, Martin Perron et Denise Tousignant. (86)
- Croissance racinaire des plants d'épinette blanche : irrigation, fertilisation et/ou génétique ?
Sylvie A. Carles, Mohammed S. Lamhamedi, Debra C. Stowe, Jean Beaulieu, Fabienne Colas, Bertrand Fecteau, Pierre Y. Bernier et Hank A. Margolis. (93)
- Des variétés améliorées génétiquement diversifiées. *André Rainville et Mireille Despots.* (85)
- Embryogenèse somatique chez l'épinette blanche : un atout pour produire plus et mieux.
Laurence Tremblay, Mohammed S. Lamhamedi, Fabienne Colas, Jean-Yves Guay, Julie Gingras et Linda Veilleux. (96)
- Éricacées et régénération forestière, de la plante au paysage.
Nelson Thiffault, Alison Munson, Robert Bradley, Richard Fournier, Pierre Grondin et Louis Duchesne. (91)
- Établissement de plantations : au-delà de la bonne espèce sur la bonne station. *Vincent Roy, Nelson Thiffault et Guillaume Cyr.* (98)
- Impacts de la récolte avec ébranchage à la souche sur les opérations de remise en production. *Denis Cormier et Jean Plamondon.* (95)
- La génétique au service du reboisement ? C'est le temps d'en profiter !
Mireille Despots, André Rainville, Guy Prigent, Marie-Josée Mottet, Pierre Périnet et Martin Perron. (94)
- Optimisation des coupes partielles pour l'amélioration et la régénération des peuplements. *Jean Martin Lussier et Philippe Meek.* (92)
- Percées technologiques opérationnelles en bouturage pour augmenter la productivité forestière.
Denise Tousignant, Mohammed S. Lamhamedi, Michel Rioux et Fabienne Colas. (97)
- Pour du bois de qualité en plantation : l'épinette de Norvège demeure un bon choix !
Marie-Josée Mottet, Gaëtan Daoust, Tony Zhang, Daniel Plourde et Jean-Sébastien Joannette. (90)
- Sylviculture intensive et rendement des plantations : premiers résultats à la forêt de Madawaska. *Jean Ménétrier et Guy Prigent.* (89)
- Valorisation du lisier de porc par la fertilisation de plantations de peupliers hybrides.
Martin Loisel, Michel Campagna, Sylvain Masse, Claude Camiré, Pierre Périnet et Gil Lambany. (87)

Domaine Aménagement durable et protection

- ECOBIOM - lutte biologique et intégrée : naturellement ! *Robert Lavallée, Claude Guertin, Gaston Laflamme, Richard trudel, Chantal Côté, Martine Blais, Jamal Ziani, Virginia Hock, Gilles Bélanger et Charles Coulombe.* (163)

Domaine Biodiversité

- Projet Arborea - La génomique pour la mise en valeur de la diversité génétique des conifères. *John MacKay, Jean Bousquet, Jean Beaulieu, Janice Cooke, Nancy Gélinas, Nathalie Isabel, Martin Perron, Philippe Rigault, Armand Séguin et Annick Bertrand.* (53)

Domaine Impact des changements climatiques

- Fluxnet-Canada : les flux de carbone des forêts et des tourbières canadiennes.
Carole Coursolle, Hank A. Margolis et la communauté scientifique de Fluxnet-Canada. (82)
- Planter des arbres pour capturer le CO₂. *Sylvie Tremblay, Rock Ouimet et Catherine Périé.* (83)

Domaine Sylviculture des forêts résineuses

- L'élagage des résineux : étape stratégique pour obtenir du bois de qualité. *Guillaume Cyr.* (70)

Stands corporatifs du Carrefour 2007

- Direction de la recherche forestière (MRNF) (29)
- Direction générale des pépinières et stations piscicoles (MRNF) (115)
- Laboratoire de chimie organique et inorganique (MRNF) (61)
- Office des producteurs de plants forestiers du Québec (113)
- Réseau Ligniculture Québec (34)

AFFICHES SCIENTIFIQUES EN LIEN AVEC LE THÈME DU COLLOQUE

Affiches scientifiques présentées au congrès Larix 2007

- Growth and adaptation of clonal larchs propagated by somatic embryogenesis: three series of clonal tests in four Québec ecoregions. (170, L5)
Perron M., F. M. Tremblay and L. Tremblay.
- Interspecific fundamental study in hybrid larch breeding program in Québec. (170, L6)
Perron M.
- Larch seed extraction improvement, a finalized project from preliminary studies to operational transfer in French forest seed industry. (170, L11)
Baldet P. and J. Conche.

Affiches scientifiques présentées à la réunion annuelle 2007 du Conseil du peuplier du Canada

- Early selection and clonal variation of hybrid poplar clones in a Quebec forest nursery. (171, P2)
Lamhamedi, M.S., M. Renaud and L. Veilleux.
- The Potential of Aspen Clones and Hybrids for Enhanced Forest Management in Alberta. (171, P3)
Gylander T., A. Hamann, J. Brouard and B. Thomas.
- Asymmetrical natural hybridization between *Populus deltoides* and *P. balsamifera* (Salicaceae). (171, P4)
Hamzeh, M., C. Sawchyn, P. Périnet and S. Dayanandan.
- Éradication de la maladie du chancre septorien dans une plantation de peupliers hybrides au Québec. (171, P5)
Mottet, M.-J., D. Lamontagne et P. Périnet.



Au ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), depuis près de 25 ans, les équipes de R-D en génétique, production de semences, de boutures et de plants de la Direction de la recherche forestière (DRF) et la Direction générale des pépinières et des stations piscicoles (DGPSP) assurent un soutien scientifique et technique pour l'ensemble des producteurs de plants forestiers et des centres de semences, de bouturage et d'embryogenèse somatique du Québec. Ce soutien se traduit par des recommandations précises sur les aspects reliés à la qualité des semences et à la culture de plants forestiers en pépinière, ceci pour leur permettre d'améliorer constamment la qualité des différents types de plants, ainsi que la croissance des plantations.

Poursuivant dans la tradition des événements de transfert de connaissances, de technologie et de savoir-faire auprès des 24 pépinières forestières du Québec, la DRF et la DGPSP se sont encore associées pour organiser un colloque de transfert de connaissances et de technologie intitulé : « *Des plants aux plantations : techniques, technologies et performances* ». Ce colloque a pour objectif de présenter des résultats de plusieurs projets de recherche et de développement réalisés au MRNF ou de concert avec d'autres universités et centres de recherche, ainsi qu'en collaboration avec des pépinières privées et publiques. Parmi les conférences, citons : le bilan des acquis de la dernière décennie de projets de recherche spécifiques à la filière de production de plants, les effets du traitement de jours courts sur le développement racinaire des plants d'épinette noire en pépinière, la mise en application de l'embryogenèse somatique en foresterie multi-clonale au Québec, la génétique des racines, les nouvelles approches de qualification des semences, la productivité et l'utilisation des plantations forestières comme puits de carbone, ainsi que les nouvelles stratégies d'investissement sylvicoles et de reboisement au Québec.