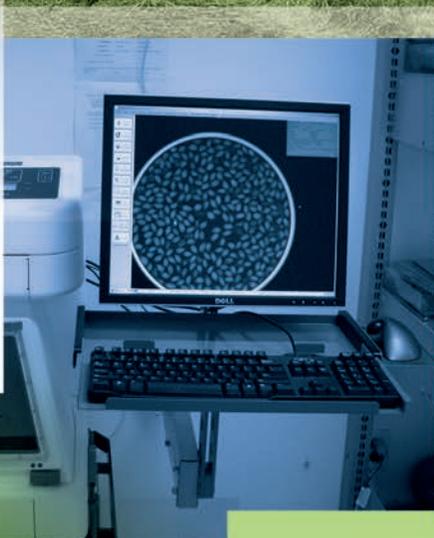


LES SEMENCES FORESTIÈRES

UN MAILLON CLÉ DES PLANTATIONS DE GRANDE VALEUR

3 et 4 décembre 2013, Berthierville



CAHIER DU PARTICIPANT



UN
QUÉBEC
POUR TOUS

Québec 

Une réalisation de :

- Direction de la recherche forestière (DRF)
- Centre de semences forestières de Berthier (CSFB)
- Direction générale de la production de semences et de plants forestiers (DGPSPF)

Comité organisateur :

Fabienne Colas, DRF
Michèle Bettez, CSFB
Anne Savary, DGPSPF
Luciana Perecin, DRF

Révision linguistique :

Denise Tousignant, DRF

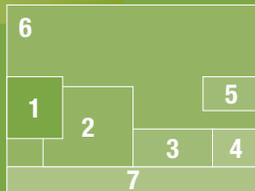
Révision typographique :

Nathalie Langlois, DRF

Conception graphique :

Maripierre Jalbert, DRF

Photos page de couverture :



1. MRN-CSFB
- 2-4-6-7. MRN-DRF
3. MRN-DGPSPF
5. MRN

Les résumés des conférences sont aussi disponibles sur la page Internet de l'événement : www.mrn.gouv.qc.ca/forets/atelier-semences

Le contenu et les opinions exprimées dans ces textes n'engagent que la responsabilité des auteurs et ne reflètent pas nécessairement la position du ministère des Ressources naturelles du Québec.

© Gouvernement du Québec

Ministère des Ressources naturelles

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2013

ISBN : 978-2-550-69324-6

ISBN PDF : 978-2-550-69325-3

Contexte

En moyenne, plus de 350 millions de graines forestières sont nécessaires annuellement pour produire les plants forestiers destinés au reboisement au Québec. Les graines de toutes les essences sont extraites, testées et entreposées au Centre de semences forestières de Berthier (CSFB), unique centre de semences forestières du Québec.

Depuis une dizaine d'années, des améliorations constantes ont été apportées dans la chaîne de production des graines : implantation de nouveaux vergers, optimisation du rendement d'extraction et amélioration de la qualité de l'entreposage au CSFB. Cela permet de fournir des lots de semences de qualité génétique et germinative accrue pour la production de plants. Les pépiniéristes ont également été mis à contribution pour améliorer la précision lors de l'ensemencement et permettre une utilisation judicieuse de ces graines. Ainsi, des semences aux attributs optimisés sont à l'origine des plants forestiers qui sont distribués en fonction des différents gradients d'intensification de la sylviculture du nouveau régime forestier.



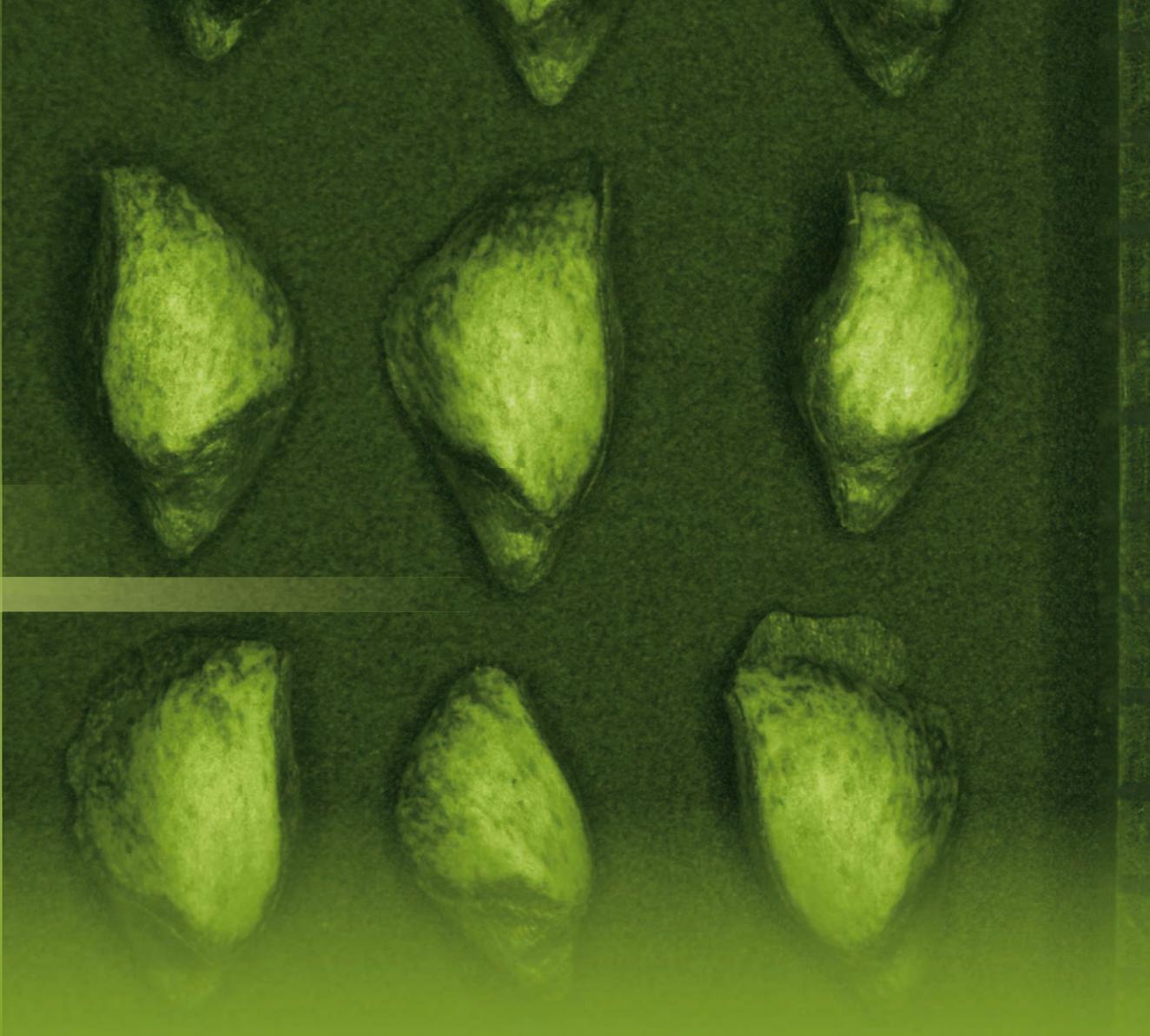
Objectifs

Organisé conjointement par la Direction de la recherche forestière, la Direction générale de la production de semences et de plants forestiers (DGPSPF) et le Centre de semences forestières de Berthier (CSFB), cet atelier-conférence s'adresse aux producteurs et aux utilisateurs de plants forestiers ainsi qu'aux spécialistes et aux chercheurs du domaine de la production de semences et du reboisement.

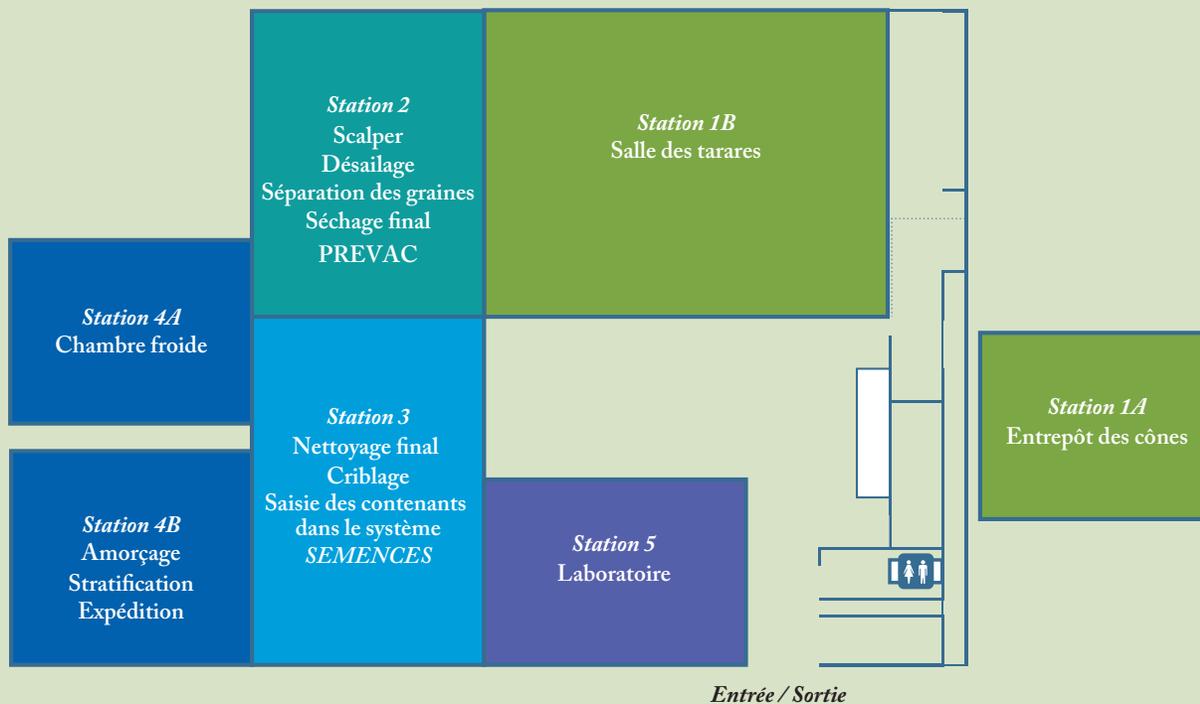
Cette rencontre a comme objectif premier de présenter les nombreuses améliorations apportées à la chaîne de production des semences au Québec et de favoriser la diffusion de connaissances entre les différents acteurs de la filière de production de semences et de plants au Québec. Plus spécifiquement, elle vise à :

- permettre aux participants de suivre les étapes de l'extraction des graines et de prendre connaissance du système de gestion SEMENCES ainsi que des différents contrôles de qualité réalisés au CSFB;
- présenter le processus d'amélioration continue de la qualité du CSFB et ses principaux développements au cours des dernières années;
- mettre à jour les connaissances des participants sur des sujets essentiels pour le développement du secteur de la production de semences, comme l'amélioration de la qualité génétique des semences et ses retombées sur la production des plants et la régénération des forêts, la gestion de la production des semences forestières ainsi que les mesures prises pour faire face aux changements climatiques;
- faire connaître les recherches les plus récentes sur la mesure de l'activité de l'eau, les clones somatiques, la germination des semences, la croissance des plants en pépinière forestière et le réseau provincial des vergers à graines;
- décrire la production et l'utilisation des semences en Colombie-Britannique, ce qui permettra de comparer les systèmes en vigueur dans les deux provinces.



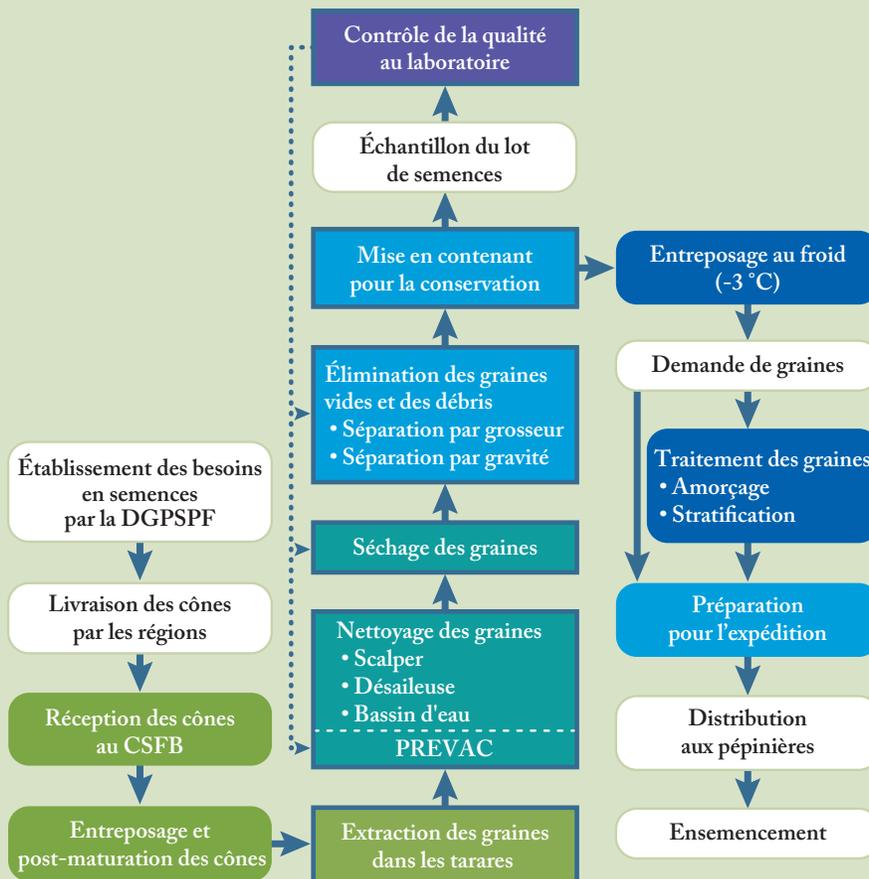


Plan du Centre de semences forestières de Berthier



Station 1	Michèle Bettez (CSFB) et René Chouinard (DGSPSF)
Station 2	Richard Drolet (CSFB)
Station 3	Richard Richard et Sylvain Richard (CSFB)
Station 4	Alain Beauregard (CSFB)
Station 5	Fabienne Colas (DRF) et Anne Savary (DGSPSF) Avec : Christiane Corriveau et Jean-Pierre Faust (CSFB)

Processus d'extraction et traitement des semences au CSFB





Programme de la journée

8 h 30	Mot de bienvenue	
8 h 45	Amélioration continue de la qualité : la préoccupation quotidienne du Centre de semences forestières de Berthier <i>Michèle Bettez</i>	12
9 h 15	Approches novatrices pour une gestion optimisée de la ressource semence <i>Anne Savary et Nancy Tanguay</i>	16
9 h 45	Qu'ont en commun les pizzas surgelées et les graines forestières ? La mesure de l'activité de l'eau! <i>Fabienne Colas</i>	18
10 h 15	Pause	
10 h 45	Principaux facteurs et techniques culturales affectant la germination des semences et la croissance des plants en pépinière forestière <i>Mohammed S. Lamhamedi</i>	22
11 h 15	L'utilisation des semences forestières en Colombie-Britannique – pratiques actuelles et perspectives futures <i>Dave Kolotelo (présentation en anglais avec diaporama en français)</i>	26
12 h 00	Dîner	

13 h 30	<i>Un Arbre – Une Vie</i> : Activité pédagogique prometteuse <i>Yvon Camirand</i>	32
14 h 00	Les vergers à graines, tout naturellement! <i>André Deshaies</i>	36
14 h 30	Comment maximiser le rendement futur des plantations en mariant amélioration génétique et biotechnologies <i>André Rainville</i>	40
15 h 00	Pause	
15 h 15	Les clones somatiques : producteurs d'une nouvelle génération de semences de haute qualité génétique <i>Fabienne Colas</i>	46
15 h 45	Les semences forestières : un outil d'adaptation aux changements climatiques <i>Catherine Périé</i>	52
16 h 15	Conclusion de la journée	
16 h 30	Fin	

Amélioration continue de la qualité : la préoccupation quotidienne du Centre de semences forestières de Berthier

Michèle Bettez, responsable technique au CSFB et des vergers à graines de Berthier

Centre de semences forestières de Berthier, Direction générale de la production de semences et de plants forestiers, ministère des Ressources naturelles, 1690, chemin Grande Côte, Berthier (Québec) J0K 1A0

michele.bettez@mrn.gouv.qc.ca



Michèle Bettez a obtenu un baccalauréat en agriculture spécialisé en horticulture de l'Université McGill en 1983.

Elle commence sa carrière à la Pépinière forestière de Berthier en 1984, avec le dossier malherbologie. Par la suite, différents dossiers lui sont confiés soit : le développement de la culture des plants feuillus en pépinière et le développement des traitements des semences de feuillus et de résineux au Centre de semences forestières de Berthier (CSFB).

Ses responsabilités actuelles incluent la gestion des vergers à graines situés à la pépinière de Berthier. Depuis 2012, elle est coordonnatrice de la qualité du système ISO 9001:2008 et responsable technique au CSFB.

Depuis 2011, le Centre de semences forestières de Berthier (CSFB) est certifié ISO 9001:2008. À notre connaissance, il s'agit du premier centre de semences forestières canadien à obtenir une telle certification.

La norme ISO 9001:2008 spécifie les exigences d'un système de management de la qualité (SMQ) à utiliser lorsqu'une entreprise veut acquérir la capacité de fournir de façon constante des produits, des matériaux et des services qui répondent aux attentes des clients.

Pourquoi être certifié ISO 9001:2008 ?

La Direction du CSFB croit que le SMQ est un outil efficace pour organiser, structurer et documenter les procédés de production afin d'assurer la pérennité de l'organisation face aux nombreux départs d'employés prévus au cours des prochaines années.

De plus, la certification ISO 9001:2008 est une démonstration visible de la qualité de notre produit et une

reconnaissance envers nos employés pour le souci qu'ils montrent d'améliorer sans cesse cette qualité dans leur travail.

La certification ISO obtenue par le CSFB est le fruit d'un long travail d'équipe. Une entreprise spécialisée dans ce domaine a été engagée pour l'évaluation et la validation de la conformité à cette norme.

Que comporte un SMQ conforme aux exigences de la norme ISO 9001:2008 ?

Politique qualité

La Direction du CSFB a établi une Politique qualité et défini des objectifs de qualité cohérents avec celle-ci. La politique s'énonce ainsi : « *Par l'amélioration continue de ses processus¹, le CSFB entend contribuer activement à la stratégie d'aménagement durable des forêts du ministère des Ressources naturelles en assurant la production de semences de première qualité, selon les besoins des utilisateurs et au meilleur coût.* »

La mission du CSFB est donc de fournir des semences de la meilleure qualité possible aux pépinières forestières du Québec, pour la production de plants destinés au reboisement. Pour le CSFB, le domaine d'application de ce système ISO est la production de semences forestières, soit l'extraction des graines d'arbres résineux et feuillus, le traitement, l'analyse, la stratification, l'entreposage et l'expédition des semences.



Figure 1. Schéma du cycle ISO d'un système de management de la qualité.

¹ Un processus est l'ensemble des ressources et des activités qui transforment des éléments entrants en éléments sortants. La norme ISO 9001:2008 certifie l'efficacité des processus.

Le système s'appuie sur un *Manuel de gestion de l'entreprise* structuré en trois types d'activités : soutien, réalisation et amélioration. Le *Manuel de gestion* crée une interface entre la réalité de l'entreprise et les exigences de la norme. Il décrit les processus du système d'organisation.

Planification

Les cibles et actions définies dans le plan d'action du CSFB permettent de bâtir la planification du système. Elles sont cohérentes avec le plan stratégique de la DGSPF. Les employés sont sensibilisés à l'importance d'atteindre les cibles fixées quand ils réalisent les actions nécessaires pour satisfaire la clientèle.

Mise en œuvre et fonctionnement

L'ensemble des activités du CSFB sont décrites dans les procédures du *Manuel de gestion* (de la réception des cônes à l'expédition des semences aux pépinières). Ces procédures ont pour but d'assurer un suivi et une exécution des différentes étapes de la production : l'entreposage, l'expédition des semences de résineux et de feuillus, ainsi que les enregistrements, les contrôles et les analyses de qualité qui en assurent la traçabilité. Toute l'information concernant le traitement de chaque lot de semences extrait et entreposé au CSFB, ainsi que la qualité de celui-ci, est compilée dans le «Système Semences».

Le cœur de la norme ISO repose sur la maîtrise des documents requis pour le SMQ. Pour faciliter ce travail, nous utilisons l'application informatique IsoVision, développée au Québec, depuis l'été 2013.

Dans IsoVision, le module «*Gestion documentaire*» regroupe tous les documents contrôlés et essentiels au fonctionnement du CSFB, accessibles en tout temps dans leur version la plus à jour. De plus, IsoVision permet de maîtriser les éléments de gestion nécessaires au SMQ (objectifs, cibles, audits, non-conformités, actions correctives, revue de performance et indicateurs de performance).

Chaque membre du personnel est responsable de la conformité de ses activités et est invité à faire des suggestions d'amélioration en tout temps.

Tous les équipements associés aux processus (tarare, désailleuse, balances, germeoirs, ...) ainsi que leurs procédures d'entretien doivent être décrits. L'entretien et la fréquence des interventions sont définis dans IsoVision, et les documents associés sont déposés dans le module «*Gestion documentaire*».

Pour assurer la conformité et l'amélioration des processus, la direction détermine les besoins en formation et compétences avec le comité de soutien, et fournit les équipements (matériels, informatiques) pour y répondre.

Contrôle et actions correctives

Le personnel du CSFB définit, planifie et met en œuvre des activités de mesure et de surveillance pour assurer la conformité des produits et des processus. Le SMQ favorise l'implantation des mécanismes d'amélioration continue.

Ainsi, les employés du CSFB relèvent tout élément de non-conformité ou toute amélioration à apporter aux processus de production. Les non-conformités sont alors enregistrées et suivies dans le logiciel IsoVision. Cela prouve que l'entreprise identifie les problèmes, prend les mesures pour les éliminer et vérifie l'efficacité des actions.

Par exemple, les produits (cônes et semences de feuillus) sont vérifiés et qualifiés. Si un produit est jugé non conforme (présence significative de débris, de roches...), une *non-conformité de produit* est émise et transmise au fournisseur pour qu'il mette en place des actions correctives. De telles non-conformités peuvent avoir un impact important sur le rendement et la qualité des semences.

Également, un sondage est envoyé annuellement aux clients (pépiniéristes) afin d'évaluer leur degré de satisfaction et connaître les points à améliorer.

Revue de direction

Une revue de direction annuelle est réalisée à la fin des audits internes. Elle permet de vérifier le fonctionnement du SMQ, du processus d'amélioration et des informations venant de diverses parties prenantes (DGSPF, pépinières et fournisseurs, etc.). C'est l'occasion de mettre à jour les objectifs, les cibles d'amélioration et les plans d'actions qui en découlent.

Quels sont les bénéfices d'être certifié ISO ?

Pour le CSFB

- La participation et la responsabilisation de chacun des membres de l'équipe permettent d'améliorer

la qualité du produit semences. L'implantation de meilleures pratiques réduit les risques de non-conformités et assure un meilleur contrôle du processus, et donc de la qualité du produit.

- Disposer de processus validés, enregistrés et accessibles qui assurent la traçabilité des informations pour la mémoire collective de l'organisation.

Pour les clients (pépinière)

- L'assurance d'obtenir un produit de qualité qui fait partie d'un processus d'amélioration continue.
- Grâce aux commentaires qu'ils transmettent lors du sondage annuel, les pépiniéristes deviennent des acteurs du processus d'amélioration continue.

Bilan après deux ans de certification

Il est certain que l'implantation d'un tel système demande beaucoup d'efforts de la part de toute l'équipe et change les habitudes des travailleurs. D'ailleurs, un système de gestion de la qualité ne fonctionne que si tout le personnel est impliqué. Après deux années de certification et l'implantation d'IsoVision, le personnel du CSFB comprend mieux les avantages d'une telle démarche. Ainsi, le système qualité facilite le travail des employés et contribue à l'amélioration des processus. Par exemple, la mise à jour des procédures de production facilite grandement le remplacement d'un membre du personnel à court ou à long terme, tout en favorisant la polyvalence des employés. Enfin, nous recommandons à toute entreprise qui prône une qualité de production et qui veut satisfaire sa clientèle de s'engager dans une démarche de certification.

Approches novatrices pour une gestion optimisée de la ressource semence

Anne Savary^{1*} et Nancy Tanguay²

¹ Direction générale de la production de semences et de plants forestiers, ministère des Ressources naturelles, 1300, rue du Blizzard, Québec (Québec) G2K 0G9

² Directrice générale, Coopérative Serres et pépinière Girardville, 3105, route Industrielle, Girardville (Québec) G0W 1R0

* anne.savary@mrn.gouv.qc.ca



Anne Savary a gradué en 1984 de l'Université Laval, après avoir complété le programme de génie forestier dans la concentration aménagement des ressources forestières.

Elle a d'abord travaillé une dizaine d'années à titre de contractuelle en forêt privée et publique. Depuis 1994, elle s'investit dans le domaine des semences et de plants, à la Direction générale de la production de semences et de plants forestiers du ministère des Ressources naturelles du Québec. Ses responsabilités actuelles portent notamment sur la gestion de l'inventaire provincial de semences forestières, la gestion et la production de semences hautement améliorées et la valorisation du reboisement dans le cadre du nouveau régime forestier de 2013.



Détenant un diplôme de garde forestier-mesureur, Mme Tanguay a commencé sa carrière en forêt pour la Coopérative forestière Girardville en 1984. Elle travaille au sein de l'équipe de Serres et pépinière Girardville depuis ses tout premiers débuts et a notamment participé au démarrage de l'entreprise en 1986.

Pendant toute sa carrière, elle a participé à de nombreuses formations sur la production de plants forestiers et a développé une expertise reconnue dans le réseau des pépinières forestières. La production de plants est devenu une véritable passion pour cette femme, qui a gravi les échelons de l'organisation jusqu'à en devenir la directrice générale. Avec les années, la Coopérative Serres et pépinière Girardville s'est taillée une place de choix dans la production de plants forestiers.

Depuis plusieurs années, la Direction générale de la production de semences et de plants forestiers (DGPSPF) œuvre à moderniser ses façons de faire pour paver la voie à une meilleure productivité forestière, selon des critères d'efficacité et d'efficience.

La traçabilité des semences forestières demeure une condition essentielle à la réussite d'un programme d'amélioration génétique et du déploiement des plants forestiers qui en sont issus. Nous présentons le fonctionnement du système de traçabilité en vigueur au Québec, qui tient lieu de police d'assurance de l'intégrité du matériel génétique, de même que le NAP (Figure 1), un indicateur du niveau d'amélioration génétique qui catégorise la qualité génétique des plants forestiers destinés aux plantations (Figure 2). Cette information permet aux aménagistes forestiers d'attribuer les meilleurs plants aux meilleurs sites. Éventuellement, le NAP pourrait inclure aussi la notion d'adaptabilité face aux changements climatiques, en tenant compte de la gestion des provenances faite par la DGPSPF.

Comme dernier sujet, nous présenterons les résultats des nouvelles modalités d'utilisation des semences forestières, cinq ans après la mise en place de pratiques plus efficaces. De plus, dans ce contexte, un pépiniériste forestier nous partagera son expérience en tant que producteur de plants et d'entrepreneur.

Le NAP : Niveau d'Amélioration des Plants

NAP	Gain (% volume)	Exemple de sources
Aucun	0	Régénération naturelle Source non améliorée
Faible	≤ 3	Verger à graines non éclairci
Intermédiaire	3 à 15	Verger à graines éclairci, 1 ^{ère} génération
Élevé	≥ 15	≥ 15
		≥ 25
		≥ 35

Adapté de: Savary A., 2008. *Connaissez-vous votre NAP ? Des gens de culture* Vol. 1(1):14-15.

Figure 1. Description du niveau d'amélioration des plants (NAP). Adapté de Savary, 2008.



Figure 2. Plants d'épinette noire 1+0 cultivés selon la même régie de culture dans le récipient 67-50. À gauche, les graines sont issues d'une source non améliorée (NAP = 0). À droite, les graines sont issues d'un verger de 2^e génération dont le NAP est supérieur à 15. Les plants au NAP le plus élevé ont une hauteur moyenne supérieure de 30 % à celle de la source dont le NAP vaut 0.

Qu'ont en commun les pizzas surgelées et les graines forestières? La mesure de l'activité de l'eau!

Fabienne Colas¹, Patrick Baldet², Michèle Bettez³ et André Rainville¹

¹ Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles, 2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

² Irstea, Unité de recherche Écosystèmes forestiers, 45 290 Nogent-sur-Vernisson (France)

³ Centre de semences forestières de Berthier, Direction générale de la production de semences et de plants forestiers, ministère des Ressources naturelles, 1690, chemin Grande Côte, Berthier (Québec) J0K 1A0

* fabienne.colas@mrn.gouv.qc.ca



Fabienne Colas a obtenu en 1984 un diplôme de technicienne en biotechnologie à l'École Nationale de Chimie de Paris. Elle a obtenu une maîtrise en biologie génétique appliquée à l'Université Paris 7 Jussieu en 1988. En 1990, le même établissement lui décernait un diplôme d'études supérieures spécialisées en génétique et physiologie végétale.

Au Québec, en 1998, après cinq saisons comme assistante de recherche, elle entre à l'emploi de la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles comme chercheuse.

Ses travaux de recherche portent sur la conservation des semences destinées au programme de reboisement et également à la conservation de la diversité génétique forestière, l'intégration de l'embryogenèse somatique dans la gestion des vergers à graines afin de produire une nouvelle génération de semences, ainsi que l'optimisation des conditions culturales des semenciers dans les vergers à graines hors sol de mélèze pour en favoriser la fructification.

Une mesure de l'état hydrique développée par l'industrie agroalimentaire

La mesure de l'activité de l'eau (AE) a été développée par l'industrie agroalimentaire pour qualifier les interactions entre l'eau et les constituants d'un produit (lipides, glucides et protéines). Ces interactions sont fonction des forces de liaison de l'eau avec ces constituants et varient d'un composé à l'autre.

La teneur en eau massique (TE) et l'AE sont deux mesures différentes et complémentaires d'un échantillon : la TE, quantitative, représente la quantité totale d'eau ; l'AE, qualitative, caractérise l'état de cette eau.

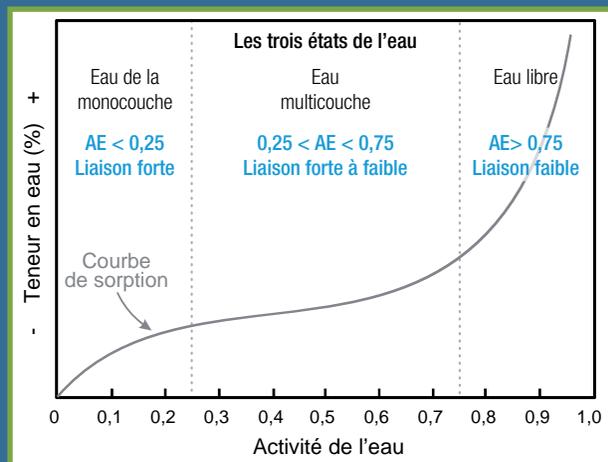


Figure 1. Les trois principaux états de l'eau dans un produit. Avec l'augmentation de l'AE, la liaison de l'eau est moins forte et l'eau devient plus disponible pour les réactions de dégradation et d'oxydation.

Schématiquement, dans un produit, l'eau est présente sous trois états différents (Figure 1). L'AE se mesure sur une échelle de 0 à 1. Plus elle est élevée et plus les liaisons sont faibles; l'eau est alors disponible pour des processus de dégradation des produits (Figure 2). *A contrario*, plus l'AE est faible et plus les liaisons sont fortes; l'eau fait alors partie de la structure même du produit et est de moins en moins mobilisable.

L'AE est déterminée à l'aide d'un hygromètre. La mesure est rapide et reproductible; de plus, son caractère non destructif constitue un avantage opérationnel majeur.

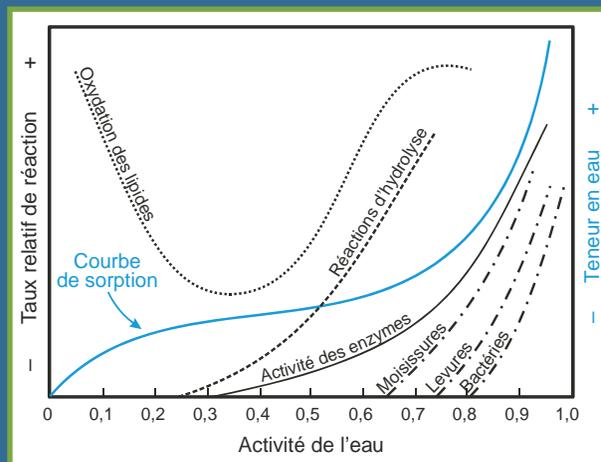


Figure 2. Relation entre l'intensité des processus de dégradation et l'activité de l'eau. Adapté de Labuza *et al.*, 1972. J. Food Sci. 37: 154-159.

Dans le « modèle » de la pizza, les différents composants ont des AE différentes. Ainsi, même dans un produit surgelé, l'eau aura tendance à se déplacer des composants aux AE les plus fortes vers ceux aux AE les plus faibles, jusqu'à l'atteinte d'un équilibre contraire au contraste croustillant/moelleux si populaire de cette préparation. Pour éviter cela, des bloqueurs d'eau sont ajoutés dans les composants les plus hydratés afin de stabiliser l'AE à une valeur commune, ce qui immobilise l'eau et garantit ainsi un produit fini stable.

L'activité de l'eau et les semences forestières

Comme pour tout produit agroalimentaire, la stabilité des semences forestières peut être caractérisée à l'aide de la mesure de l'AE. Pour cela, il est nécessaire de bâtir des courbes de sorption qui permettront de déterminer l'AE sécuritaire pour la conservation des semences.

La caractérisation hydrique des semences des principales essences de reboisement au Québec et en France a révélé une variabilité inter- et intraspécifique relativement faible de la valeur optimale de l'AE; celle-ci se situe autour de 0,35. Ce résultat nous permet d'émettre l'hypothèse d'une valeur universelle cible d'AE (0,35) pour la mise en conservation des semences orthodoxes¹.

Depuis 2008, le Centre de semences forestières de Berthier a adopté la mesure de l'AE pour piloter le séchage des lots de graines lors de l'extraction. Ceci a permis d'améliorer l'efficacité et de réduire très significativement la consommation énergétique du séchage qui précède l'entreposage.

¹ Les graines orthodoxes sont des graines tolérant le séchage.

Conservation de la diversité génétique

L'universalité d'une valeur cible d'AE et le caractère non destructif de cette mesure sont des avantages majeurs pour les programmes de conservation des ressources génétiques (banques de conservation *ex situ*). Ceux-ci doivent gérer un très grand nombre d'espèces, de variétés et d'origines, en faibles quantités, et ne peuvent pas recourir à des traitements spécifiques à chaque accession.

La Direction de la recherche forestière gère une banque de ressources génétiques attachée aux programmes d'amélioration des espèces forestières en cours au Québec. Des mesures d'AE de lots conservés jusqu'à 40 ans ont mis en évidence une modification importante du statut hydrique des lots, associée à des baisses plus ou moins importantes de la capacité germinative selon les essences. La perméabilité des contenants à l'humidité ambiante de la chambre froide (dont l'air contient de 70 à 80 % d'humidité) a été identifiée comme la cause de ce changement de statut hydrique.

Le Centre de technologie minérale et de plasturgie (CTMP, Thetford Mines) et la DRF collaborent actuellement à la mise au point d'un contenant plus imperméable garantissant une meilleure conservation à long terme des semences. Le suivi continu de la qualité de la conservation des lots sera assuré par des mesures régulières d'AE sans destruction de semences. Toute modification significative de l'état hydrique des lots pourra être corrigée en rétablissant la valeur optimale d'AE de conservation à long terme, grâce à un sécheur géré par l'AE et conçu par l'Irstea (Baldet et Colas 2013 ; Figure 3).

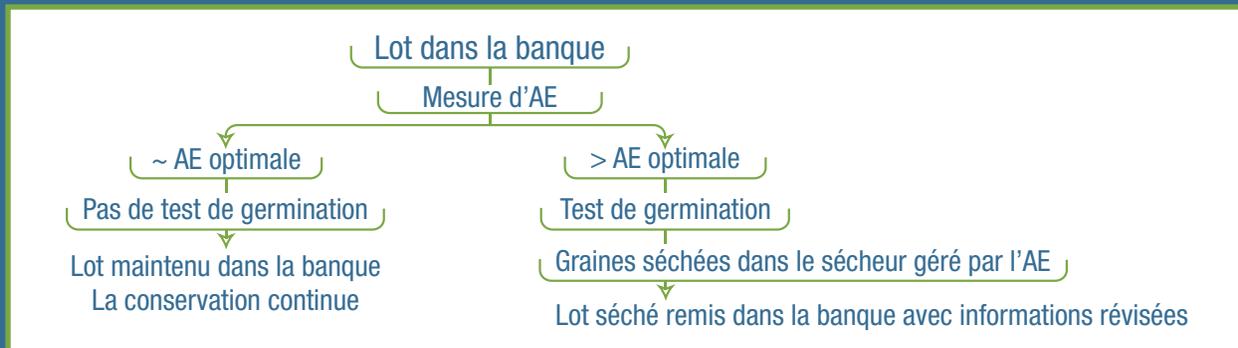


Figure 3. Schéma de gestion d'une banque de conservation intégrant la mesure de l'AE.

Conclusion

La mesure de l'AE est devenue un outil incontournable pour la gestion des lots de semences forestières au Québec. La coopération entre l'Irstea (France) et le MRN a permis de mettre en commun les résultats obtenus dans les deux institutions. Ce travail conjoint devrait aboutir à la définition d'une nouvelle norme internationale de qualité pour les semences, par le biais de l'Association internationale des essais de semences (ISTA).

Bibliographie

- Baldet, P. et F. Colas, 2013. *A water activity-regulated dryer: How to dry seeds or pollen with water and no heat*. Tree Planters' Notes 56(2): 43-49.
- Baldet, P., et F. Colas, 2012. *Utiliser la mesure de l'activité de l'eau pour mieux conserver les semences forestières : une coopération fructueuse entre Irstea et la Direction de la recherche forestière au Québec*. Revue Sciences Eaux et Territoires, cahier spécial 2012. p. 20-25.
<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Colas-Fabienne/Sciences-Eaux-et-Territoires-2012.pdf>
- Colas, F., I. Auger, P. Baldet, M. Bettez et A. Savary, 2012. *Gestion opérationnelle de l'évolution de la qualité des lots de semences forestières à l'aide de la mesure de l'activité de l'eau*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 136. 18 p.
<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Colas-Fabienne/Note136.pdf>

Principaux facteurs et techniques culturelles affectant la germination des semences et la croissance des plants en pépinière forestière

Mohammed S. Lamhamedi, ing.f., M. Sc., Ph. D.

Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles, 2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8
mohammed.lamhamedi@mrn.gouv.qc.ca



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 d'État spécialisé en sciences forestières (M. Sc.). En 1991, l'Université Laval (Québec, Canada) lui décerne son doctorat en sciences forestières (Ph. D.). Après avoir été enseignant-chercheur en écophysiologie et en plantations forestières à l'IAV Hassan II de 1986 à 1991, il effectue un stage postdoctoral à l'Institut de recherche en biologie végétale de l'Université de Montréal. Il devient ensuite chercheur visiteur au Centre de foresterie des Laurentides du Service canadien des forêts en 1993-1995, puis en 1996-1997, directeur scientifique dans le cadre du projet d'installation de pépinières modernes financé par la Banque mondiale en Tunisie [Pampev Internationale - Direction générale des forêts, Tunisie]. De plus, M. Lamhamedi a été attaché de recherche au Centre de recherche en biologie forestière (Université Laval) en 1998-1999. En 1999, M. Lamhamedi est devenu membre de l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (OIFQ). Chercheur émérite à la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles du Québec depuis juin 1999, il est aussi chercheur associé au Centre d'étude de la forêt (CEF) et professeur associé à la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique, de même qu'à la Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation de

l'Université Laval. Il a agi à titre de rédacteur adjoint à la Revue canadienne de Recherche forestière de janvier 2006 à janvier 2012, et est membre permanent du comité de lecture de la revue Nature et Technologie depuis novembre 2010. Il est l'auteur de nombreuses publications scientifiques et techniques, et dirige ou codirige des étudiants gradués à la maîtrise et au doctorat. Son expertise porte sur l'optimisation des régies de culture, la conception des standards de tolérance au gel des plants dans les pépinières forestières, la variabilité clonale des feuillus et des résineux, l'embryogenèse somatique des conifères, le bouturage des feuillus et des résineux et la production de plants dans les pépinières forestières. M. Lamhamedi s'occupe également de transfert d'expertise, de connaissances et de savoir-faire auprès des 19 pépinières forestières (6 gouvernementales et 13 privées) du Québec. De plus, sa participation à différents projets de modernisation des pépinières forestières et de lutte contre l'ensablement dans des pays en développement (Tunisie, Ghana, Nicaragua, Maroc, etc.) lui a valu une renommée mondiale pour l'adaptation de l'expertise québécoise et canadienne en production de plants.

Au Québec, les producteurs de plants forestiers doivent relever plusieurs défis de taille, notamment la courte saison de croissance, l'augmentation de la fréquence des variations environnementales extrêmes (température, étés secs ou pluvieux, etc.), l'occurrence des gels hâtifs et tardifs et la sensibilité des essences aux interactions entre les propriétés physico-chimiques, les variations des teneurs en eau et celles de la fertilité du substrat.

Avec la réalité des changements climatiques, l'augmentation de la concentration de CO₂ atmosphérique s'accompagnerait d'une augmentation de la température moyenne d'été de 3 à 3,5 °C d'ici 2100 pour le Québec. Ces changements pourraient causer de longs et sévères épisodes de sécheresse pendant l'été, ainsi qu'une couverture nivale tardive à l'automne et une fonte hâtive de la neige au printemps. Ces extrêmes obligent les pépiniéristes à réajuster et à optimiser leurs techniques culturales à chaque phase de production et à chaque stade de croissance des plants.

Lors de cette conférence, l'auteur fera une revue des principaux facteurs et des techniques culturales qui influencent la germination et la croissance des plants en pépinière forestière. Une attention particulière sera accordée aux plus récents problèmes apparus à l'échelle opérationnelle, notamment les effets négatifs de la variabilité de la qualité de la silice et ceux de la carence en bore sur la croissance des racines et des parties aériennes des plants. Les innovations techniques et les recommandations suggérées aux pépiniéristes sont le résultat de projets de recherche-développement, d'essais techniques et d'observations réalisés à une échelle opérationnelle.

En matière de semences, le Centre de semences forestières de Berthier livre, à toutes les pépinières forestières privées (13) et publiques (6) du Québec, des semences de haute qualité morphologique et génétique pour différentes essences forestières. Au fil des ans, il s'est doté d'infrastructures, d'équipements et de logiciels informatiques à la fine pointe de la technologie, qui permettent le traitement, l'évaluation de la qualité, la certification et la traçabilité des semences.

La germination des semences et les premières phases de croissance sont contrôlées par plusieurs facteurs, notamment les caractéristiques de la semence (génétique : provenance, famille ou clone ; calibre : masse ou dimension, stratification ou amorçage selon l'essence), la température de l'air et du substrat, la quantité et la qualité de lumière, et les propriétés physico-chimiques du substrat (pH, conductivité électrique, potentiel osmotique, teneur en eau du substrat, etc.). Par exemple, la germination des semences d'épinette blanche se distingue par une variabilité entre les lots, de sorte que les températures optimales oscillent de 17,5 à 25 °C. Des températures inférieures à 10 °C et supérieures à 30 °C peuvent inhiber la germination. Pour diminuer la température, il serait approprié de recourir à un système de ventilation ou de brumisation automatique (fines gouttelettes d'eau) ou encore, d'aérer le tunnel à l'aide d'un système automatisé gérant l'ouverture et la fermeture des côtés des tunnels.

En plus des conditions de germination, des techniques culturales simples et à la portée du pépiniériste peuvent contribuer à améliorer la croissance et le taux de conformité des plants aux normes et critères de qualité.

D'abord, l'ensemencement hâtif de plants d'épinette blanche a augmenté significativement leur hauteur à la fin de la deuxième saison de croissance (60 % par rapport à l'ensemencement tardif), ainsi que leur diamètre (45 %), la masse sèche des parties aériennes et du plant entier, la masse sèche des racines (108 à 110 %) ainsi que la cohésion de celles-ci. Ensuite, pour l'épinette noire, la surélévation des récipients 67-50 a augmenté significativement la croissance des racines de 12 %, et amélioré de 4 % le taux de conformité des plants par comparaison aux plants non surélevés (Figure 1).



Figure 1. Effets positifs de la surélévation des plants d'épinette noire (1+0, récipient 67-50) sur la croissance des racines (à droite) par comparaison à celle de plants témoins non surélevés (à gauche).

Récemment, certains pépiniéristes ont été confrontés à un grave problème de variabilité de la qualité de la silice (Figures 2 et 3) qui réduit la croissance des parties aériennes et des racines. De plus, lors des années pluvieuses ou en présence d'un excès d'azote sous forme de nitrates, les plants de fortes dimensions d'épinette blanche et d'épinette noire ont montré des symptômes caractéristiques de carence en bore : absence de dominance apicale, débourement retardé, aiguilles frisées, déformations, sinuosité très marquée des tiges ou de certaines branches, rosettes et inhibition de la croissance des apex des racines. Lorsque ces symptômes



Figure 2. Vue générale du dispositif expérimental servant à évaluer les effets de la silice et de la calcite. Remarquez l'effet de la silice sur la croissance des plants dans les différents blocs.



Figure 3. Plants d'épinette blanche à la fin de leur première saison de croissance dans un substrat tourbeux recouvert de calcite (à gauche) ou de silice (à droite). Date : 21 octobre 2013.

se manifestent, il est déjà trop tard pour intervenir, car presque aucun plant ne pourra rencontrer les normes et critères de qualité. Par contre, le pépiniériste peut intervenir à titre préventif, en appliquant des fertilisations riches en bore (Solubor 20,9 % ou Agro-B 10,9 %) selon les stades de croissance (exemple : avant le débourrement 2+0 ou après la germination 1+0, pendant la saison active de croissance, à l'apparition des premiers bourgeons et après la formation des bourgeons).

L'utilisation d'une toile claire au lieu d'une toile blanche, dès le début du mois d'août, a permis d'augmenter significativement la sommation ou l'intégrale d'intensité lumineuse ainsi que l'allocation de matière sèche (carbone) vers les racines. À la fin de la saison de croissance, la toile claire a permis, en moyenne, une augmentation significative de la masse des racines de 14 % par rapport à la toile blanche. Pour certaines dates d'échantillonnage, par exemple à la fin d'octobre, cette augmentation a atteint 27 %. La formation des bourgeons prend 12,5 % moins de temps sous toile claire que sous toile blanche.

Les traitements de jours courts (JC) permettent aussi d'augmenter la masse des racines et la cohésion des mottes. En fonction des critères et normes en vigueur, le taux de conformité des plants d'épinette noire (1+0) soumis au traitement de JC était significativement supérieur (91 %) à celui des plants témoins (71 %), ce qui permet d'accroître la rentabilité des pépinières forestières.

Cependant, l'effet d'une technique culturale donnée ne peut être obtenu qu'en optimisant les différentes techniques et étapes de production de plants utilisées par les pépiniéristes.

Pour en savoir plus :

<http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche/repertoires/cv/LamhamediMohammedSghir.jsp>

L'utilisation des semences forestières en Colombie-Britannique – pratiques actuelles et perspectives futures

Dave Kolotelo

Cone and Seed Improvement Officer, BC Tree Seed Centre, Tree Improvement Branch, 18793, 32^e Avenue, Surrey (BC) V3S 0L5
dave.kolotelo@gov.bc.ca



David Kolotelo est né à Montréal et a passé son enfance et son adolescence à Dollard-des-Ormeaux. Il a fréquenté l'école secondaire Lindsay Place, à Pointe-Claire, avant de partir étudier à l'Université du Nouveau-Brunswick (UNB). Il a obtenu son baccalauréat en foresterie avec spécialisation en sciences forestières en 1987. Comme étudiant, il a eu des emplois d'été en biologie de la reproduction et en génétique forestière à l'UNB et au laboratoire du Service canadien des forêts à Fredericton. Par la suite, il a migré vers l'ouest pour étudier à l'Université de la Colombie-Britannique (UBC), d'où il a obtenu une maîtrise en foresterie (1991) avec spécialisation en génétique forestière quantitative, dirigé par Dr. Don Lester. Le titre de sa thèse se traduit comme *Les hybrides artificiels d'épinette en Colombie-Britannique : croissance, phénologie et résistance au froid*. Il a ensuite travaillé pendant un an pour le programme d'amélioration du sapin Douglas de la région côtière de Colombie-Britannique, en évaluant des dispositifs de tests au champ en vue de sélections précoces pour la croissance et la densité du bois.

En 1992, il a été nommé au poste de « *Cone and seed improvement officer* » au Centre de semences forestières provincial de South Surrey. Ses premiers mandats ont été l'amélioration de la qualité des graines et des protocoles de stratification, ainsi que l'intégration d'un système d'assurance qualité dans le programme opérationnel de préparation des graines. Il travaille toujours

au centre de l'univers du reboisement pour la Colombie-Britannique, dans une variété de rôles allant du pilotage du programme de conservation génétique à la gestion du Centre par intérim. Ses priorités actuelles sont de préparer un plan de gestion pour la banque de semences forestières, d'évaluer les conditions optimales de température et d'humidité relative pour l'ouverture des cônes et d'essayer de développer un programme de suivi dans les installations temporaires d'entreposage.

Ce domaine de travail excitant lui permet d'interagir avec toute une gamme d'intervenants provenant des vergers à graines aux pépinières, en passant par l'équipe de génétique, les universités et d'autres chercheurs. Un jour ou l'autre, tout le monde a besoin de graines. Il espère contribuer à la mission d'excellence pour les services en cônes et semences que s'est donnée le Centre de semences. Ses champs d'intérêt incluent la morphologie, l'anatomie et la physiologie des semences forestières, la conservation génétique, l'amélioration des arbres, le contrôle de la qualité et l'amélioration de l'efficacité des opérations par le « système de manutention des graines ». Dans ses temps libres, il s'adonne au jardinage, à la photographie, au volley-ball de plage et aux voyages à travers le monde.

Traduction du résumé et de la présentation par Denise Tousignant, DRF.

La Colombie-Britannique et le Québec ont toutes deux d'importantes industries forestières et besoin de grandes quantités de plants et semences pour le reboisement. Je vais présenter en détail le système de reboisement en Colombie-Britannique et le mettre en contraste avec celui du Québec. Bien que les deux provinces privilégient l'aménagement forestier durable, leurs pratiques et politiques diffèrent substantiellement. Les disparités résultent de l'évolution de la propriété foncière, de différences d'espèces et de zones écologiques, ou encore du contexte politique, des marchés et de l'histoire du développement industriel.

En Colombie-Britannique, tous les lots de graines destinées aux terres du domaine public – soit 93 % du territoire forestier – doivent être enregistrés. L'enregistrement d'un lot consigne l'information sur l'origine du matériel, son traitement et sa manutention, et atteste qu'il a une teneur en eau de 4,0 à 9,0 % ainsi qu'une pureté supérieure à 97 %. Il n'y a pas d'exigences minimales quant à la germination du lot. Le Centre de semences forestières maintient l'inventaire provincial de graines, un service administratif accordé « sans frais » à ses clients. Présentement, nous disposons de 6 600 lots de graines, avec suffisamment de graines pour produire plus de 8 milliards de plants. Tout ceci a une valeur estimée à plus de 100 millions de dollars! Nous avons aussi une banque de semences consacrée à la conservation des ressources génétiques, qui contient plus de 9 000 échantillons de 33 espèces d'arbres.

Notre système informatique SPAR (pour « *Seed Planning and Registry* ») rassemble les données d'enregistrement et de transfert de semences et sert de porte d'entrée aux clients pour les commandes de plants. Les

transferts de plants sont soumis aux *Normes d'utilisation des semences du Forestier en chef* (« *Chief Foresters Standards for Seed Use* »), qui comportent des directives particulières pour les lots de graines provenant de peuplements naturels ou de vergers à graines. Pour les lots de peuplements naturels, des règles définissent les grandes zones de planification semencières (Figure 1); les transferts sont permis à l'intérieur de limites acceptables de latitude, de longitude et d'altitude. Pour notre programme d'amélioration des arbres, des unités de planification de semences (« *Seed Planning Unit* », ou SPU) spécifient la latitude, la longitude et la bande d'altitude pour chaque programme d'amélioration et pour chaque verger d'une espèce donnée. Selon la demande de plants, le taux d'accroissement et la valeur de l'espèce, les 51 unités de planification de semences sont classées comme a) programme de génération avancée, b) programme de première génération seulement ou c) programme de recherche en génécologie seulement.

Pour les lots de graines récoltés dans les vergers à graines, des données d'enregistrement additionnelles sont requises pour estimer la contribution gamétique des parents ainsi que la taille effective de la population (N_e). Plusieurs méthodes d'estimation sont présentement acceptables et depuis plusieurs années, elles sont comparées avec les résultats obtenus par les marqueurs génétiques. N_e doit être supérieure à 10 pour qu'un lot de graines soit enregistrable, qu'il s'agisse d'un peuplement naturel ou d'un verger à graines. Si un verger ne rencontre pas ce critère lors d'une année donnée (s'il est trop jeune, par exemple), les graines pourront être regroupées avec des récoltes subséquentes et enregistrées lorsque N_e sera suffisante. Le gouvernement provincial

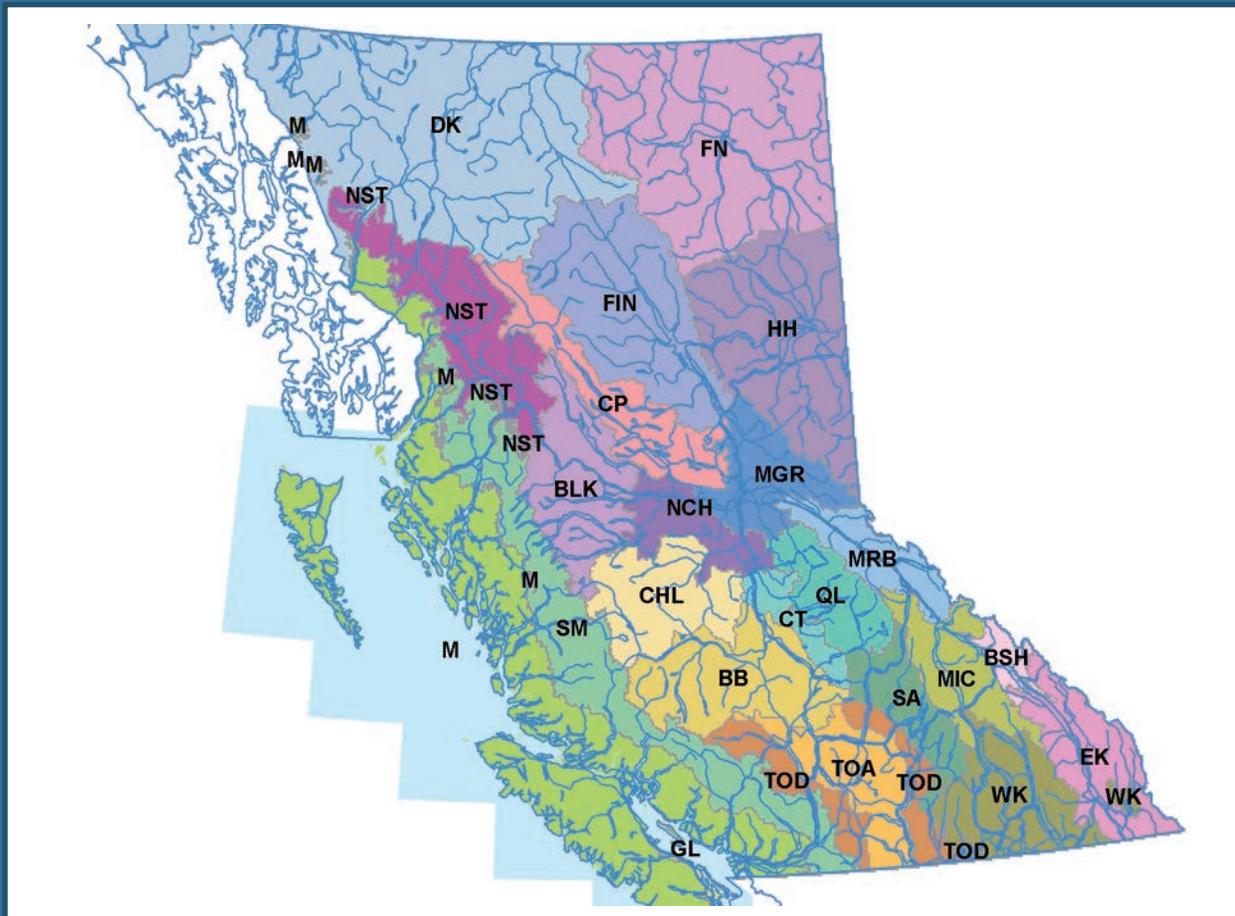


Figure 1. Zones de planification semencière pour les provenances naturelles en Colombie-Britannique.

a convenu que le moyen le plus efficace d'améliorer notre domaine forestier est de soutenir l'amélioration des arbres. Il exige l'utilisation de matériel amélioré sur les terres publiques lorsque la valeur génétique (« *Genetic Worth* », ou GW) d'un lot de graines est supérieure à 5 %. La valeur génétique correspond habituellement au gain espéré en volume à la fin de la révolution, par rapport à une source locale en peuplement naturel; pour certains programmes, on dispose aussi de valeurs pour la densité du bois ou la résistance aux maladies.

Le Conseil de génétique forestière de Colombie-Britannique (« *Forest Genetics Council of British Columbia* », ou FGC) planifie et administre le programme provincial d'amélioration des arbres et conseille le Forestier en chef. Il réunit des porteurs de dossier de l'industrie forestière, du ministère des Forêts, des Terres et des Ressources naturelles (« *Ministry of Forests, Lands and Natural Resource Operations* », ou MFLNRO), des universités et du Service canadien des forêts. Il est coprésidé par des représentants de l'industrie (Larry Gardner, West Fraser Mills) et du gouvernement (Brian Barber) et inclut un gestionnaire de programme (Jack Woods). Le Conseil chapeaute plusieurs comités techniques consultatifs sur la conservation génétique, la lutte antiparasitaire, le transfert de connaissances, la génécologie et le transfert de semences, de même que les programmes d'amélioration pour les régions du littoral et de l'intérieur de la province. Dans le cadre de son programme opérationnel d'amélioration des arbres (« *Operational Tree Improvement Program* », ou OTIP), le Conseil administre aussi le processus annuel d'appel de propositions pour financer des travaux visant à augmenter la quantité et la qualité des graines produites dans les vergers. Le

Ministère continue de participer activement à la gestion des vergers à graines. Le Conseil supervise aussi la compagnie SelectSeed, qui investit et confie en sous-traitance la gestion des vergers à graines de la province.

Les principaux objectifs chiffrables du Conseil de génétique forestière sont d'améliorer de 20 % les gains moyens espérés en volume pour les graines améliorées d'ici 2020, et d'augmenter la proportion de graines améliorées utilisées dans le programme provincial de reboisement, pour atteindre 75 % d'ici 2020. L'objectif de gain en volume est en voie d'être atteint, mais des problèmes associés à la production de graines de pin tordu (*Pinus contorta*) dans les vergers du nord de l'Okanagan compromettent celui de la proportion de matériel amélioré. Cette question était le sujet principal de la rencontre du groupe de travail sur les semences forestières tenue l'été dernier (voir les hyperliens ci-dessous vers les résumés et les présentations). Le Conseil est aussi responsable de la conservation de la diversité génétique, de la production d'une recherche de grande qualité en génécologie et du soutien à la mise en place prochaine d'un système de transfert de semences basé sur le climat. À cet égard, nous avons déjà effectué des changements pour certaines espèces (en augmentant les limites de transfert en altitude) et commencé la mise en œuvre opérationnelle de la migration assistée pour le mélèze de l'Ouest. Nous travaillons également à bâtir le système opérationnel de transfert de semences basé sur le climat, un projet énorme et complexe compte tenu de la diversité géographique en Colombie-Britannique. Le soutien et les attentes envers le développement de ce système sont considérables. J'exposerai l'avancement actuel du dossier.

Le Centre de semences forestières est le centre de l'univers pour le programme de reboisement de la Colombie-Britannique. Nous fournissons des services d'intendance qui ne sont pas facturés aux clients, comme l'entreposage des graines et les essais de semences. Notre programme standard d'essais utilise les règles de l'Association internationale d'essais de semences (ISTA) comme lignes directrices, bien que notre établissement ne soit pas certifié par l'ISTA. Notre laboratoire soutient aussi les opérations et la recherche par une gamme de tests d'assurance de la qualité et par des essais visant à améliorer les opérations : par exemple, la mesure de la teneur en eau des cônes et des graines, l'évaluation du contenu des boulettes d'enrobage et les tests de germination sur des lots de graines stratifiées (ou enrobées), à leur départ du Centre de semences. D'autres tests sont demandés pour des projets de recherche internes et externes. Nous sollicitons aussi la rétroaction des pépiniéristes au sujet des demandes d'ensemencement testées avant leur expédition, afin de cibler les étapes de prétraitement à améliorer. Une de mes principales recommandations a permis de prendre correctement en compte l'effet des changements dans les prétraitements sur les quantités de graines disponibles à grande échelle (comparativement aux échantillons des tests), en particulier pour nos espèces à dormance profonde.

Le Centre de semences forestières dispense aussi des services à prix coûtant, comme le traitement des cônes et des graines, la stratification des graines et l'enrobage. Nous faisons le traitement d'environ 75 % des cônes et des graines de la province, et la préparation de 94 % des semences avant leur expédition. Nous traitons aussi des cônes d'Alberta et leur fournissons quelques services

de préparation de semences. Nous traitons aussi beaucoup de récoltes des vergers à graines, qui sont souvent traitées en priorité pour permettre un ensemencement dès le printemps qui suit la récolte d'automne. Tout ceci représente une transition dans notre programme, maintenant que s'achèvent les récoltes à grande échelle dans les peuplements naturels décimés par le dendroctone du pin, qui ont longtemps compté pour le gros de notre programme. Nos services d'intendance et ceux à prix coûtant sont tous gérés à l'interne grâce à un système d'information conçu pour le traitement des cônes et des graines (« **Cone and Seed Processing information system** », ou CONSEP), qui rassemble les données détaillées des demandes de service et l'information sur les lots de graines. CONSEP effectue des échanges journaliers de lots de données avec le système informatique provincial SPAR, pour recevoir les demandes de service et transmettre les derniers résultats de traitements et de tests.

Je décrirai quelques tendances en reboisement en me concentrant sur des statistiques sommaires de notre dernière saison d'ensemencement. En 2013, le programme de reboisement de Colombie-Britannique a géré les semences nécessaires pour produire 238 millions de plants de 21 espèces; 5 espèces principales représentent cependant 96 % des plants : le pin tordu, l'épinette de l'intérieur (*Picea engelmannii* var. *engelmannii* × *Picea glauca*), le sapin Douglas (*Pseudotsuga menziesii*), le thuya géant (*Thuja plicata*) et le mélèze de l'Ouest (*Larix occidentalis*). Plus de 58 % des plants étaient issus de graines de vergers ; le reste provenait de peuplements naturels. Des provenances supérieures de peuplements naturels ont aussi été définies avec des distances de

transfert étendues. Cependant, comme la valeur génétique estimée de ces provenances n'est que d'environ 3 %, les propriétaires terriens ne sont pas tenus de les utiliser.

Tous les plants sont cultivés dans divers récipients styroblocs, et 95 % d'entre eux sont livrés au stade 1+0. Le gouvernement de Colombie-Britannique et le Service canadien des forêts ont influencé la conception et l'adaptation du système styrobloc, un équipement très efficace à cause de la taille unique de récipient, malgré une grande variété du nombre et de la taille des cavités. Plus de 81 % des plants sont mis en terre au printemps après un entreposage au froid, et environ 17 % sont extraits en croissance et plantés au cours de l'été, le reste étant planté à l'automne, sur la côte. Les 28 pépinières forestières de Colombie-Britannique sont des entreprises privées, sans affiliation à des compagnies forestières, à l'exception de CanFor et de Tolko. La compagnie Pacific Regeneration Technologies (PRT), née de la privatisation des pépinières publiques, produit actuellement 37 % des plants de la province.

Liens d'intérêt (sites en anglais seulement)

Centre de semences forestières de Colombie-Britannique
(« *BC Tree Seed Centre* »)

<http://www.for.gov.bc.ca/hti/treeseedcentre/index.htm>

Normes d'utilisation des semences du Forestier en chef
(« *Chief Foresters Standards for Seed Use* »)

<http://www.for.gov.bc.ca/code/cfstandards/>

Conseil de génétique forestière de Colombie-Britannique
(« *British Columbia Forest Genetics Council* »)

<http://www.fgcouncil.bc.ca/>

Atelier 2013 du groupe de travail sur les semences forestières
– Biologie de la reproduction (« *Tree Seed Working Group Workshop 2013 – Reproductive Biology* »)

http://www.for.gov.bc.ca/hti/treeseedcentre/tsc/workshops&presentations/tswg_2013/index.htm

Association des pépinières forestières de Colombie-Britannique
(« *Forest Nursery Association of British Columbia* » [FNABC])

<http://www.fnabc.com/>

Un Arbre – Une Vie : Activité pédagogique prometteuse

Yvon Camirand, retraité Brundtland, Initiateur de l'activité pédagogique *Un Arbre – Une Vie*

yvoncami@videotron.ca



Yvon Camirand détient un Baccalauréat en enseignement de l'Université Laval. Après quatre ans d'enseignement des mathématiques et des sciences au secondaire, il occupe pendant quatre ans un poste de direction à l'éducation aux adultes pour la Commission scolaire des Bois-Francis.

Après une quinzaine d'années en entreprise privée, il reprend l'enseignement des sciences et des mathématiques pendant 15 ans dans la même commission scolaire. C'est là qu'*Un Arbre – Une Vie* prend naissance. Cette activité pédagogique veut faire que les jeunes aiment venir à l'école, qu'ils développent leur conscience sociale, qu'ils soient actifs et responsables dans leur cheminement scolaire. La production des arbres en classe suit l'approche OIHEC (observation, interrogation, hypothèse, expérimentation et conclusion).

Pendant cette période, il s'implique socialement comme responsable du comité EVB des Bois-Francis et membre de l'exécutif, puis président, du Conseil régional de l'environnement du Centre-du-Québec. Il participe à la naissance des comités de bassins versants (COPERNIC – GROBEC), est membre du comité environnement et développement durable de Victoriaville, participe à la Table d'échange et d'information organisée par Hydro-Québec sur l'avant-projet de modification des installations de stockage des déchets radioactifs et de réfection de la Centrale Nucléaire

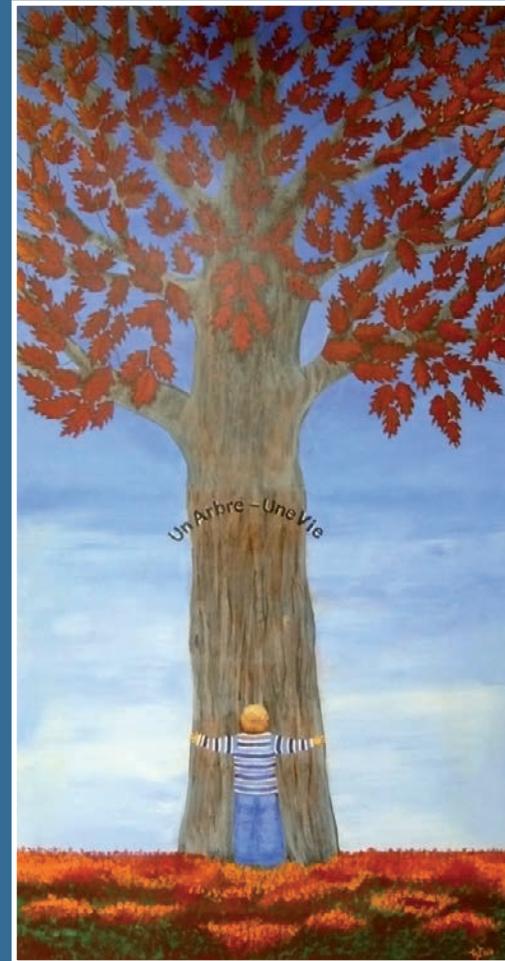
Gentilly-2 et est membre du comité multipartite Agriculture et environnement du Centre-du-Québec. La Centrale des syndicats du Québec le délègue aux rencontres mondiales de la francophonie sur l'environnement Planet'ERE 2 (Burkina Fasso, Afrique) et Planet'ERE 3 (France).

Retraité depuis 6 ans, il continue à soutenir *Un Arbre – Une Vie*. Il est membre du comité des Retraités Brundtland et du comité de mentors au CLD de l'Érable, responsable du comité sectoriel socio-politique et membre du comité environnement sectoriel de l'Association des retraitées et retraités de l'éducation et des services publics du Québec, gouverneur à la Fondation Hôtel-Dieu d'Arthabaska et membre du comité EVB Bois-Francis. Le milieu a reconnu son implication : il a été reçu au Cercle Monique-Fitzback (EVB) et au temple de la renommée de Princeville; il est détenteur du prix environnement de la Société Saint-Jean-Baptiste du Centre-du-Québec; il a été honoré comme bénévole de l'année par le comité Environnement et développement durable de la ville de Victoriaville. La Fondation Hôtel-Dieu d'Arthabaska le reconnaît aussi comme bénévole de l'année en lui remettant une attestation officielle du ministère de l'Emploi et de la Solidarité sociale.

Un bref historique sera établi sur les EVB (Établissements Verts Brundtland)



Et sur l'activité pédagogique *Un Arbre – Une Vie*



Autant l'un que l'autre misent sur une pédagogie de l'espoir.

Un des plus gros problèmes de notre siècle sont les changements climatiques. Selon nos plus illustres scientifiques chercheurs, **la main de l'homme en serait la cause.**

Ainsi, lors de cette activité pédagogique, consistant essentiellement à produire des arbres en classe à partir de la semence, les jeunes deviennent les acteurs de leur destinée et celle de leurs futurs enfants.

Un atout pour l'éducation :

- L'activité s'échelonne sur l'année scolaire : de la cueillette des graines à l'obtention d'un produit fini à la fin de l'année scolaire, en passant par la période de dormance, la stratification, la germination, les premières feuilles (avec l'entretien quotidien) et l'adaptation à la vraie vie. Chaque niveau d'enseignement peut l'appliquer et y trouver son compte à travers la plupart des matières scolaires (recherches sur chacune des étapes).
- Parce que l'on touche à la vraie vie, le degré d'appartenance s'y crée. Les jeunes se sentent responsables et découvrent que leur action commune peut faire la différence.
- Ainsi on peut voir se dessiner un esprit entrepreneurial ou encore se développer des goûts pour des emplois dans le milieu forestier.
- Selon le niveau, on peut facilement penser à un système de mentorat accompagné d'activités privilégiées qui font en sorte d'encourager le succès scolaire.

- Il faut voir le jeune présenter fièrement son produit fini. Quelle valorisation...!

Soutien au milieu éducatif :

- L'intérêt croissant à la réalisation de cette activité, un résumé technique et un diaporama sont rendus disponibles sur le site EVB-CSQ. L'activité connaît toute une expansion à travers le Québec.
- Le comité des retraités Brundtland se rend disponible dans plusieurs régions.

Partenaires et collaborateurs (possibles) :

- Milieu scolaire
- Municipalités
- Résidences privées
- Milieux agricoles

Lors d'un colloque EVB tenu à Victoriaville en 2011, où la majorité des responsables EVB régionaux étaient présents, j'ai dit ceci en rapport avec cette activité :

« Que moi, je produise et plante des arbres, en rapport avec les changements climatiques, ceci ne représente qu'un petit frisson sur l'eau, mais que je le fasse avec mes élèves, on pourra y voir de petites vagues; que l'ensemble des EVB le fasse, on pourra voir l'équivalent d'un tsunami... positif ».

Un Arbre – Une Vie aux Phénix de l'environnement en 2006
http://ecoles.csbq.ca/evbbf/phenix_poly_le_tandem_boise.htm

Collaborateurs :

Les Établissements verts Brundtland – CSQ

<http://www.evb.csq.qc.net/>

418 649-8888

Louise Pettigrew

pettigrew.louise@csq.qc.net

Comité des Retraités Brundtland

Hélène Riberdy, coresponsable

h_riberdy@hotmail.com

Christiane Gagnon, coresponsable

christianegagnon31@yahoo.ca

Syndicat de l'enseignement des Bois-Francs

<http://www.sebf.ca>

Nancy Lafond, présidente

819 357-9297

nlafond@tlb.sympatico.ca

Association forestière des Cantons de l'Est

info@afce.qc.ca

Daniel Archambault, ing.f., directeur général

daniel@afce.qc.ca

819 562-3388 P 23

Fédération de l'UPA du Centre-du-Québec

(Union des producteurs agricoles)

<http://www.centre-du-quebec.upa.qc.ca>

Sylvain Rheault, directeur général

sylvainrheault@upa.qc.ca



Les vergers à graines, tout naturellement!

André Deshaies, ing.f.

Direction générale de la production de semences et de plants forestiers, ministère des Ressources naturelles,
1300, rue du Blizzard, Québec (Québec) G2K 0G9

andre.deshaies@mrn.gouv.qc.ca



André Deshaies a connu le monde des plantations avant même de décider de devenir un ingénieur forestier. Après avoir obtenu son baccalauréat en génie forestier en 1980 de l'Université Laval, il a œuvré dans divers domaines reliés à l'aménagement forestier et dans plusieurs régions au Québec, en forêt privée et principalement en forêt publique. Il travaille comme ingénieur forestier au sein du ministère des Ressources naturelles depuis plus de 28 ans. Il s'est occupé de la forêt privée et de la production de semences en Côte-Nord, des traitements sylvicoles à Roberval et de la planification forestière à Saint-Félicien. Depuis 15 ans, il travaille à la Direction générale de la production de semences et de plants forestiers, comme responsable provincial de l'aménagement des vergers à graines, de la gestion des provenances et des territoires d'utilisation.

Nous pouvons dire sans trop nous tromper que nous possédons une base génétique, pour plusieurs essences résineuses, pour combler la majorité des besoins en semences pour la production de plants destinés au reboisement au Québec. Depuis l'établissement des premiers vergers, plus d'un milliard de plants forestiers améliorés ont été mis en terre (Tableau 1). Actuellement, plus des deux tiers des plants produits sont issus des semences récoltées dans des vergers à graines.

Tableau 1. Quelques chiffres d'intérêt sur les vergers à graines au Québec

Essences	14
Superficie (hectares)	1 234
Nombre d'arbres-élites	1 691
Nombre d'arbres plus	22 517
Nombre de semenciers	640 603
Hectolitres de cônes récoltés (2001-2013)	21 382
Nombre de plants améliorés livrés (2001-2013)	1 259 701 241
% plants améliorés livrés (2001-2013)	67

Au Québec, l'amélioration des arbres à grande échelle a commencé il y a plus de 35 ans, avec l'établissement des premiers vergers à graines de 1^{re} génération en 1978. Ces vergers ont maintenant atteint leur limite d'âge utile. En 1998, une nouvelle phase d'implantation de vergers, dits de 2^e génération, a débuté et s'achèvera bientôt. Le réseau actuel permet de couvrir l'ensemble du territoire

forestier québécois (Figure 1 et tableau 2). Les gains génétiques espérés¹ varient selon l'essence et le type de sources de semences (Tableau 3).

Tableau 2. Bilan, par essence, du nombre de vergers à graines et d'autres sources utilisées pour la production des graines au Québec.

Essence	Vergers à graines		Autres sources	Total
	1 ^{re} génération	2 ^e		
EPN Épinette noire	22	6	2	30
EPB Épinette blanche	21	3	2	26
PIG Pin gris	12	4	5	21
PIB Pin blanc	6	1	1	8
EPO Épinette de Norvège	4	1	22	27
EPR Épinette rouge	2			2
MEJ Mélèze du Japon	2		2	4
PIS Pin sylvestre	1		7	8
MEL Mélèze laricin	1		5	6
NON Noyer noir	1		3	4
PIR Pin rouge	1			1
FRA Frêne d'Amérique	1			1
MEE Mélèze d'Europe			4	
THO Thuya occidental			1	1
Total	74	15	54	143

¹ Le gain génétique en hauteur espéré est égal à la somme du gain moyen des familles sélectionnées dans les vergers à graines et du gain potentiel par rapport à un peuplement naturel. Ce gain sera confirmé lorsque les résultats issus des tests de gains réels seront disponibles.

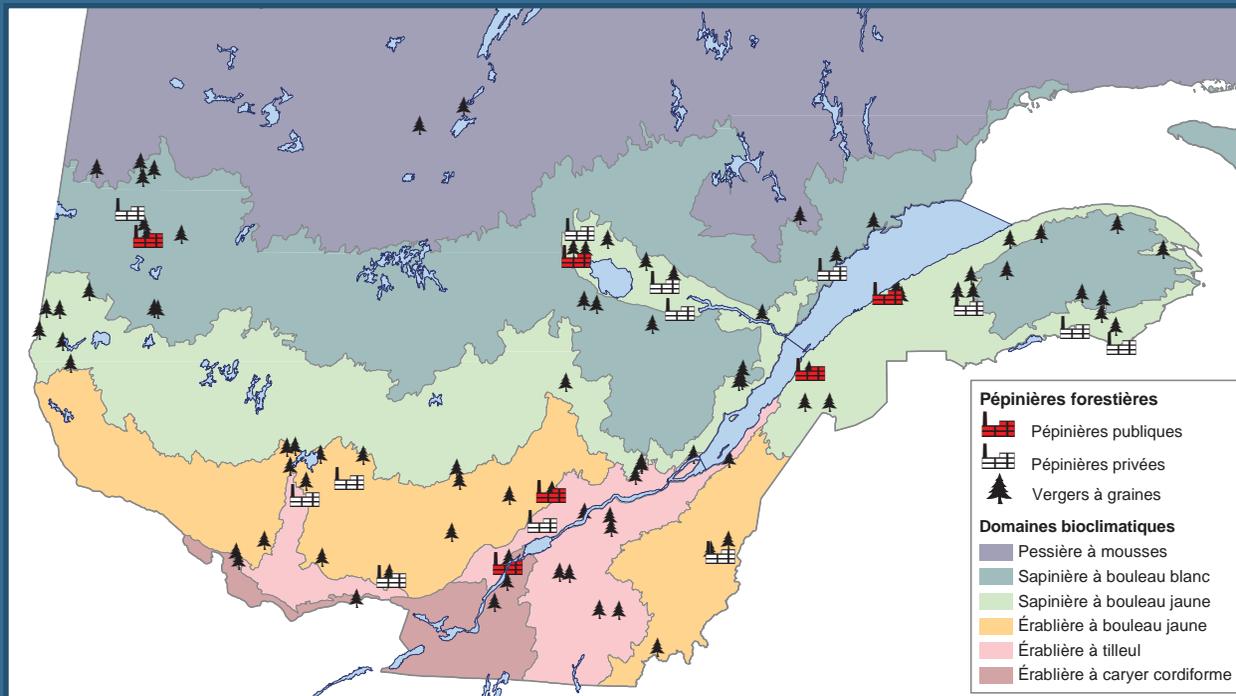


Figure 1. Emplacement des pépinières forestières et des vergers à graines au Québec

Tableau 3. Gains génétiques en hauteur espérés selon l'origine des semences.

Essence	Peuplement naturel	Origine des semences			
		Vergers à graines		Variétés	
		1 ^{re} génération	2 ^e génération	multifamiliales	multiclonaux
Épinette noire	0,0 %	7,9 %	21,0 %	28,0 %	–
Épinette blanche	0,0 %	5,0 %	15,0 %	25,0 %	≥ 35 %
Pin gris	0,0 %	5,9 %	11,2 %	–	–

Les prévisions de production de plants pour la prochaine décennie illustrent le matériel disponible selon leur qualité génétique. Dans les prochaines années, 40 % des plants livrés proviendront des vergers de 2^e génération.

Cependant, avec le nouveau régime forestier, la stratégie d'aménagement forestier durable, les inquiétudes face aux changements climatiques et la venue de nouvelles techniques comme l'embryogenèse somatique ou la génomique, le programme d'amélioration des arbres fait face à de nouveaux défis. Plusieurs questions se posent et entraînent une réflexion : comment déployer les provenances afin que les plants soient bien adaptés au site reboisé et puissent faire face aux changements rapides du climat, tout en assurant une biodiversité adéquate? Dans quelle zone d'amélioration sera-t-il rentable d'établir des vergers de 3^e génération pour

répondre aux objectifs de l'aménagement forestier? Et quelle essence faut-il retenir? Comment les différentes intensités de sylviculture se répartiront-elles, et quel effet cela aura-t-il sur la dimension des futurs vergers? Comment la génomique sera-t-elle utilisée dans le choix des meilleurs arbres semenciers? Comment les planificateurs forestiers choisiront-ils parmi les différents produits disponibles (semis, variétés multifamiliales, variétés multiclonaux)? Quel type de produit du bois l'aménagiste forestier désire-t-il?

Il apparaît évident que des choix stratégiques devront être faits pour le futur, d'autant plus que l'amélioration des arbres au Québec n'a pas livré son plein potentiel, si l'on se compare à l'agriculture ou à l'horticulture. Cette présentation permettra de fournir des éléments de réponse ou de réflexion.

Comment maximiser le rendement futur des plantations en mariant amélioration génétique et biotechnologies

André Rainville^{1*} et Jean Beaulieu^{2,3}

¹ Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles, 2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

² Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre canadien sur la fibre de bois, 1055, rue du P.E.P.S., Québec (Québec) G1V 4C7

³ Chaire de recherche du Canada en génomique forestière et environnementale, Centre de recherche en biologie forestière, Université Laval, Québec (Québec) G1K 7P4

* andre.rainville@mrrn.gouv.qc.ca



André Rainville est ingénieur forestier, détenteur d'une maîtrise en écologie et pédologie forestières avec spécialisation en amélioration génétique, de la Faculté de foresterie et de géomatique de l'Université Laval. Il est à l'emploi du ministère des Ressources naturelles depuis 28 ans, comme chercheur responsable des programmes d'amélioration génétique de l'épinette blanche et des feuillus nobles au Québec, et coresponsable d'un projet sur l'évaluation des gains réels de productivité associés au reboisement avec des plants génétiquement améliorés. Depuis 2008, il participe à plusieurs projets sur le thème des changements climatiques et visant à développer des mesures d'adaptation pour le Québec; parmi ceux-ci, mentionnons le développement de modèles de transfert de sources de semences, dont il nous parlera dans sa présentation, et la conception d'une stratégie québécoise de conservation des ressources génétiques forestières.

Monsieur Rainville agit aussi comme conseiller expert et fait partie de divers comités provinciaux et canadiens en génétique forestière. Depuis 2004, il est directement impliqué, avec la DGPSPF et l'équipe de chercheurs sur les semences et plants de la DRF, dans le développement de la foresterie clonale au Québec. Il est responsable de l'évaluation des clones d'épinette blanche produits par embryogenèse somatique. Il participe également, avec des collègues de l'Université Laval et du Service canadien des forêts, à des projets appliqués en génomique forestière. Sa présentation a d'ailleurs été réalisée avec M. Jean Beaulieu à titre de coauteur.

Les programmes de recherche en amélioration génétique des arbres forestiers sont en cours depuis plus de 40 ans au Québec ; ils sont basés sur un long processus de sélection et de reproduction d'arbres possédant les caractéristiques désirées. Leur objectif est d'augmenter la productivité forestière, avec une constante préoccupation pour le maintien d'une grande diversité génétique afin d'assurer le développement durable des forêts. Chez l'épinette blanche par exemple, les gains attendus en volume marchand sont de 8 à 16 % pour les vergers de première génération et de 15 à 20 % pour ceux de seconde génération, par rapport à l'utilisation de semences récoltées en peuplements naturels (Rainville *et al.* 2003). Pour atteindre des rendements encore plus intéressants, le MRN consent également des efforts de recherche depuis plus de 30 ans au raffinement d'une méthode de reproduction végétative, l'embryogenèse somatique (ES). Certains travaux ont en effet démontré que l'utilisation des meilleurs clones produits par ES dans les programmes de reboisement permet d'augmenter le rendement en volume de 40 à 60 % par rapport à ce qui existe à l'état naturel (Sutton 2002). La mise à l'échelle opérationnelle de l'ES a débuté en 2004 à la pépinière de Saint-Modeste. Depuis 2007, la production a atteint un rythme de croisière de plus de 200 clones par année qui sont évalués en tests clonaux. L'ES, un produit de la biotechnologie, a contribué à réorienter le travail des améliorateurs et a déjà commencé à changer le quotidien de certains pépiniéristes, habitués à cultiver des plants issus de graines.

Un nouveau critère de sélection : la qualité du bois

Les arbres composant les tests génétiques ont atteint un âge suffisant pour permettre le prélèvement de carottes de bois (15 à 20 ans). Il est donc maintenant possible pour les améliorateurs d'évaluer la qualité du bois de ces arbres qui avaient été sélectionnés pour leur forte croissance. De nouvelles méthodes d'évaluation rapides et non destructives sont également mises à l'épreuve. Par exemple, avec l'épinette blanche (EPB), un appareil nommé Hitman ST 300 mesure la vitesse de circulation d'une onde acoustique. Celle-ci étant fortement corrélée avec les mesures d'angle des microfibrilles et de rigidité (module d'élasticité), nous pourrions établir rapidement un classement relatif des arbres pour ces deux caractères (Lenz *et al.* 2013).

La sélection génomique : une méthode prédictive qui permettra de gagner du temps

L'amélioration génétique fait appel à un long processus de «sélection-croisement-testage». Pour les principales espèces de la forêt boréale, il peut s'écouler de 20 à 30 ans avant que du matériel amélioré ne devienne disponible pour le reboisement. D'après de récentes recherches sur l'EPB menées par une équipe québécoise, la sélection génomique (basée sur le profil génétique des individus) serait très efficace pour des caractères de croissance et de qualité du bois ; elle permettrait de prédire la valeur génétique d'un individu avec une précision de presque 90 % comparée aux méthodes d'amélioration traditionnelles (Beaulieu *et al.* 2013). Comme elle permet d'identifier les arbres supérieurs en seulement 1 ou 2 ans, cette approche, combinée avec des méthodes

de reproduction végétative comme l'ES, permettrait de produire des semis possédant une forte densité du bois en aussi peu que 4 ans, au lieu de 30 ans et plus avec le programme traditionnel d'amélioration et l'établissement de vergers à graines (Figure 1).

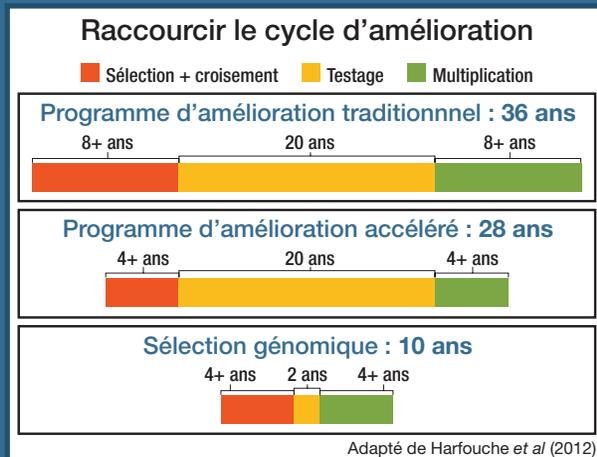


Figure 1. Gains de temps escomptés avec la sélection génomique pour la qualité du bois, par rapport aux programmes d'amélioration traditionnel et accéléré.

Sur la base de ces résultats, un nouveau projet s'amorce actuellement. Il réunit des universitaires québécois, trois utilisateurs potentiels de l'est du Canada et FPInnovations ; son objectif est d'accélérer les cycles d'amélioration pour rendre disponibles des plants de reboisement ayant une meilleure qualité du bois et une plus grande résistance aux maladies. Ces plants, produits par bouturage de pieds-mères issus d'ES, amélioreraient la compétitivité de notre industrie forestière sur les marchés.

En plus de servir à l'évaluation de la qualité du bois, la sélection génomique pourrait être orientée vers d'autres critères, et permettre ainsi de donner une nouvelle vocation spécialisée aux vergers à graines de première génération, qui sont de moins en moins utilisés. Par exemple, un verger pourrait être éclairci pour ne garder que les semenciers possédant les gènes associés au débourrement tardif des arbres, un caractère important dans le contexte des changements climatiques. Ces arbres seraient aussi moins susceptibles d'être attaqués par la tordeuse des bourgeons de l'épinette en période épidémique.

Maximiser le rendement des plantations dans un contexte de changements climatiques : les nouveaux modèles de transfert comme outils d'aide à la décision

Sous le nouveau régime forestier, les aires d'intensification de la production ligneuse (AIPL) sont destinées à la production prioritaire de matière ligneuse. L'étude de l'influence des facteurs climatiques, topographiques et édaphiques sur la croissance des arbres a permis de subdiviser le territoire québécois en fonction du potentiel de production des terres (Périé *et al.* 2012). Jusqu'à présent, tous considéraient le climat comme étant relativement constant dans le temps, mais maintenant, les changements climatiques laissent entrevoir une augmentation de température de 4 °C d'ici la fin du siècle. C'est un changement comparable à celui auquel se sont adaptées nos espèces forestières lorsqu'elles ont migré vers le nord il y a environ 18000 ans. Cette fois, elles devront s'adapter rapidement et réaliser en 100 ans ce qui leur a pris jadis des millénaires! Pour maximiser le rendement des plantations dans les AIPL, il faut donc s'assurer que

les sources de semences utilisées aujourd'hui soient non seulement bien adaptées au climat actuel, mais également au climat qui prévaudra d'ici le milieu du siècle. Les tests génétiques mis en place depuis plus de 50 ans au Québec ont permis de développer des modèles pour prédire la croissance relative des provenances, par rapport à la source de semences locale, lorsqu'on les déplace sur un site de plantation donné; la croissance est prédite en fonction des différences de climat entre le lieu d'origine des provenances et leur site de plantation (Rainville *et al.* soumis).

Bien qu'ils fassent abstraction de la fertilité du sol, les résultats démontrent qu'à court terme (période 2046-2065), l'EPN bénéficierait de l'amélioration des conditions climatiques dans les trois domaines bioclimatiques, mais principalement dans la pessière (+22 %) et dans la sapinière (+13 %). À plus long terme (2081-2099), c'est dans la pessière que l'espèce y serait la plus productive (+27 % par rapport au présent). Le gain de rendement anticipé pour le futur dans la sapinière et dans la pessière pourrait même être augmenté par un choix avisé de la source utilisée (Figure 2). L'épinette noire (EPN), au contraire, connaîtrait une faible augmentation de rendement à court terme dans la sapinière (2 %) et dans la pessière (7 %). Durant la période 2081-2099 toutefois, le climat serait défavorable aux plantations d'EPN dans tous les domaines de la province. Les fortes pertes de rendement anticipées ne pourraient pas être compensées par le choix des sources de semences les mieux adaptées au climat futur.

Ces modèles de transfert sont actuellement utilisés pour réviser les territoires d'utilisation des vergers. Ils pourraient également guider le déplacement des espèces pour faciliter leur adaptation future (migration assistée).

Les semences avec lesquelles vous produirez vos plants demain ne seront peut-être plus des mêmes espèces...!

L'EPN, traditionnellement si importante pour l'industrie forestière du Québec, pourrait être graduellement remplacée dans les pépinières forestières par d'autres espèces qui deviendraient plus productives avec les changements climatiques! Les généticiens, les spécialistes de la reproduction des arbres et les écologistes s'affairent déjà à mettre en place les éléments qui permettront d'opérer en douceur les changements qui faciliteront l'adaptation des forêts au climat de demain. Pour certaines espèces, ce pourrait être la création de banques de semences représentatives de plusieurs provenances. Pour d'autres, il s'agirait d'établir des plantations de conservation dans une plus grande variété de conditions climatiques, quitte à oser sortir des « zones de confort » habituelles. La production d'essences feuillues pourrait devenir plus importante dans les pépinières forestières... Les pépiniéristes représentent un maillon important de la sylviculture intensive au Québec; comme les améliorateurs, ils devront s'adapter à une nouvelle réalité : les changements climatiques.

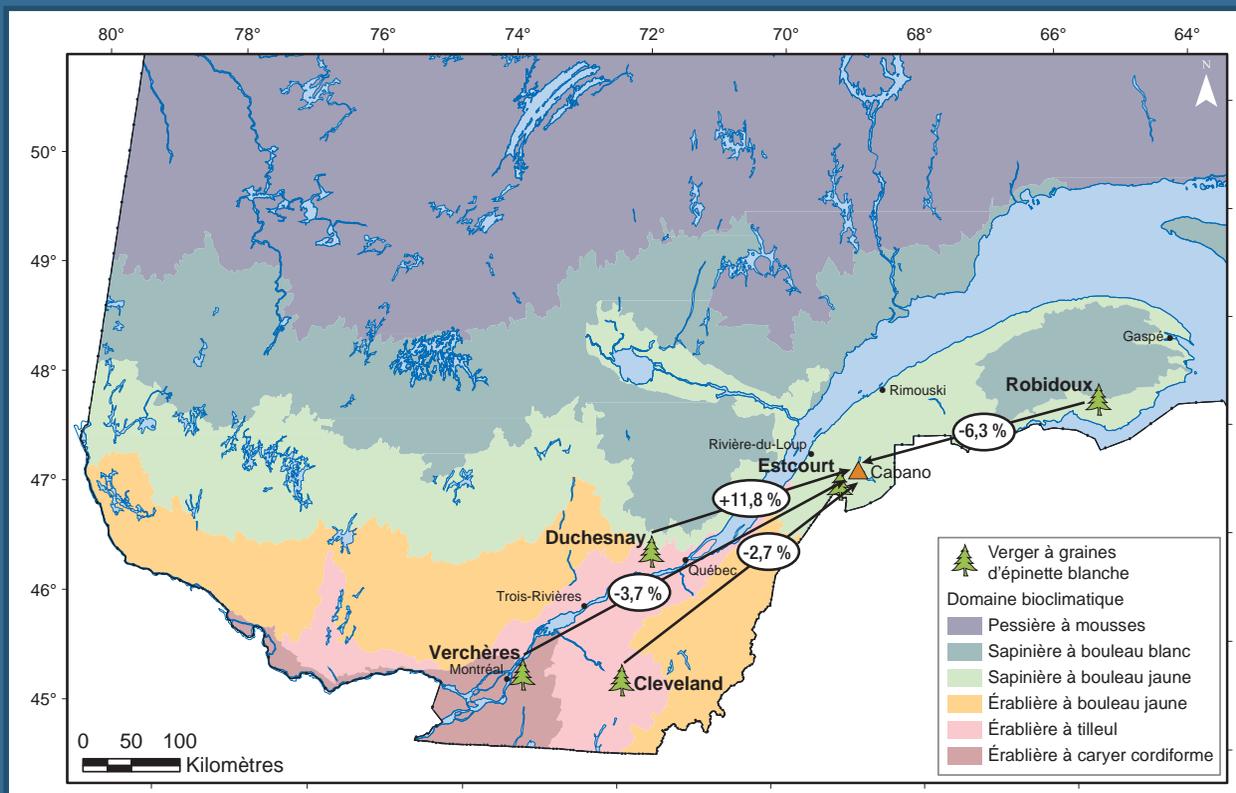


Figure 2 : Rendement anticipé pour la période 2081-2099 (exprimé en % par rapport à la source locale, soit le verger d'Estcourt) des plantations d'épinette blanche à Cabano, pour quatre sources de semences (verger à graines). Adapté de Rainville *et al.* (soumis).

Références

- Beaulieu, J., T. Doerksen, S. Clément, J. MacKay et J. Bousquet, 2013. *Genomics-assisted selection for growth and wood traits in white spruce could be a reality in the near future*. Forest Genetics 2013 CFGA-WFGA-IUFRO Joint Meeting. Whistler, Colombie-Britannique, 22 au 25 juillet 2013 (conférencier invité).
- Harfouche, A., R. Meilan, M. Kirst, M. Morgante, W. Boerjan, M. Sabatti et G. Scarascia Mugnozza, 2012. *Accelerating the domestication of forest trees in a changing world*. Trends in Plant Science 17: 64-72.
- Lenz, P., D. Auty, A. Achim, J. Beaulieu et J. MacKay, 2013. *Genetic improvement of white spruce mechanical traits – early screening by means of acoustic velocity*. Forests 4: 573-594.
- Périé, C., L. Duchesne et M.-C. Lambert, 2012. *Prédire la croissance potentielle des arbres au Québec à l'aide des caractéristiques cartographiables des peuplements et des stations*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 164. 44 p. <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Perie-Catherine/Memoire164.pdf>
- Rainville, A. M. Despouts, R. Beaudoin, P. Périnet, M.-J. Mottet et M. Perron. 2003. *L'amélioration des arbres au Québec : un outil de performance industrielle et environnementale*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 127. 7 p. <http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Rainville-Andre/Note127.pdf>
- Rainville, A. J. Beaulieu, L. Langevin, T. Logan et M.-C. Lambert (soumis). *Développement de modèles de transfert de sources de semences afin de prédire le rendement futur des plantations d'épinette blanche, d'épinette noire et de pin gris, sous l'effet des changements climatiques*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles. Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière.
- Sutton, B., 2002. *Commercial delivery of genetic improvement to conifer plantations using somatic embryogenesis*. Ann. For. Sci. 59(5-6): 657-661.

Les clones somatiques : producteurs d'une nouvelle génération de semences de haute qualité génétique

Fabienne Colas* et Mohammed S. Lamhamedi

Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles, 2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

* fabienne.colas@mrn.gouv.qc.ca



Fabienne Colas a obtenu en 1984 un diplôme de technicienne en biotechnologie à l'École Nationale de Chimie de Paris. Elle a obtenu une maîtrise en biologie génétique appliquée à l'Université Paris 7 Jussieu en 1988. En 1990, le même établissement lui décernait un diplôme d'études supérieures spécialisées en génétique et physiologie végétale.

Au Québec, en 1998, après cinq saisons comme assistante de recherche, elle entre à l'emploi de la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles comme chercheuse.

Ses travaux de recherche portent sur la conservation des semences destinées au programme de reboisement et également à la conservation de la diversité génétique forestière, l'intégration de l'embryogenèse somatique dans la gestion des vergers à graines afin de produire une nouvelle génération de semences, ainsi que l'optimisation des conditions culturales des semenciers dans les vergers à graines hors sol de mélèze pour en favoriser la fructification.

L'embryogenèse somatique au MRN : des acquis extrêmement prometteurs

L'embryogenèse somatique (ES) est une technique de culture *in vitro* qui permet de produire des copies identiques d'un individu sans recourir à la fécondation. Les premiers travaux au Québec ont été réalisés avec l'épinette noire (EPN, *Picea mariana* [Mill.] B.S.P) au début des années 1990. Depuis 2004, le MRN a mis en place une unité opérationnelle de production de plants somatiques d'épinette blanche (EPB, *Picea glauca* [Moench] Voss) à

la pépinière de Saint-Modeste, dont l'objectif principal consiste à produire des clones (=variétés) somatiques. Ces derniers seront évalués dans des tests clonaux. À ce jour, plus de 1 200 clones somatiques (CS) sont en cours d'évaluation en plantation.

L'utilisation des clones performants produits par ES et leur intégration dans un programme de reboisement permettra d'augmenter le rendement de 30 à 60 % par rapport à ce qui existe à l'état naturel (Lamhamedi *et al.* 2011).

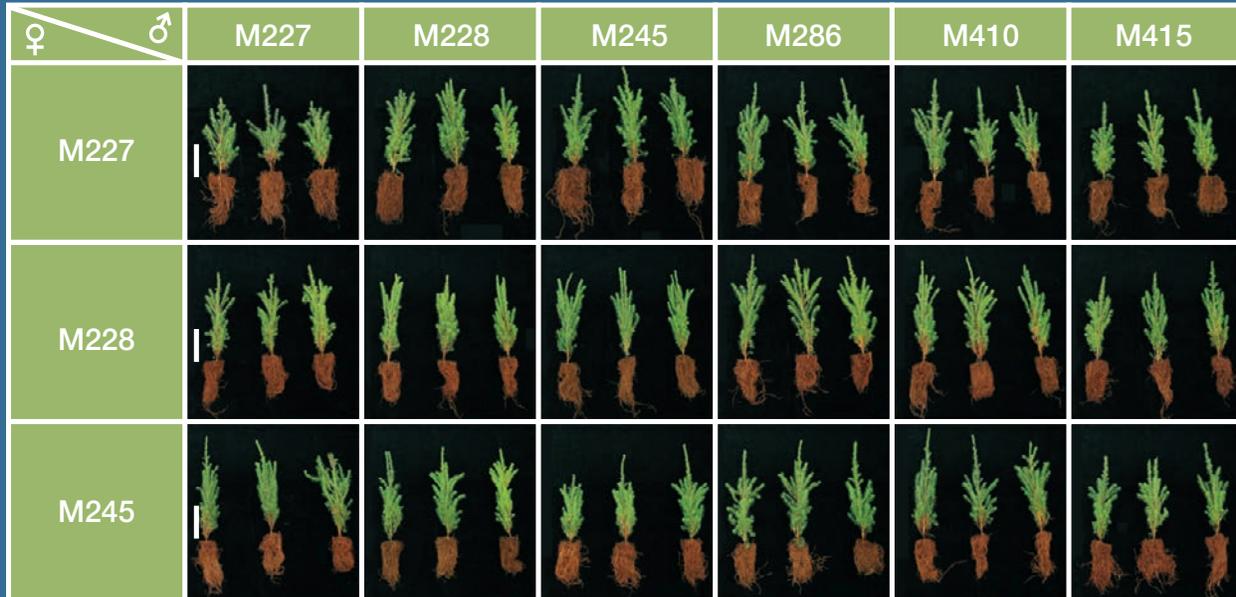


Figure 1. Plants d'épinette noire 2+0 produits à partir des graines issues de croisements dirigés biparentaux : 3 CS ont été pollinisés avec du pollen produit par 6 CS différents.

Cas de l'épinette noire

Les travaux de recherche sur la floraison ont débuté avec l'EPN, dont les premiers tests clonaux de démonstration ont été établis en 1997. La production de strobiles femelles a débuté sur des arbres après seulement 4 ans en plantation, et celle des strobiles mâles, après 6 ans; en forêt naturelle, les strobiles n'apparaissent qu'après environ 10 ans. Grâce à cette essence modèle, nous avons montré que les CS peuvent produire du pollen qui, appliqué sur des strobiles femelles, permet la production de cônes et de graines de haute qualité morpho-physiologique (Colas et Lamhamedi 2010, 2013). Ces mêmes graines ont été utilisées pour produire, à une échelle opérationnelle, des plants qui atteignent les standards et normes de qualité en vigueur au Québec (Figure 1). Une plantation expérimentale a été établie sur les terrains du Centre d'expérimentation et de greffage de Duchesnay.

Cas de l'épinette blanche

Les travaux de recherche sur la floraison et la production de semences se poursuivent maintenant avec l'EPB. Des tests d'évaluation de CS ont été implantés depuis 2007, cependant les premiers tests clonaux expérimentaux ont été établis dès 1999. Tout comme pour l'EPN, une floraison précoce, tant mâle que femelle, a été observée dès 6 ans en plantation pour certains CS (Figure 2), alors qu'en forêt naturelle, l'EPB n'atteint habituellement la maturité sexuelle qu'entre 10 et 15 ans.

Comme pour tout conifère, il y a un décalage entre le début de la production de strobiles femelles et celle de strobiles mâles. Des graines issues de CS d'EPB ont été produites grâce à des croisements uniparentaux effectués dans les tout premiers tests clonaux. La germination de ces graines se compare très bien à celle de graines



Figure 2. Cônes produits par le CS 306 après 6 années en plantation. Photo F. Colas (MRN)

produites dans des vergers à graines (Figure 3). De plus, certains CS mis en terre en 2008 ont déjà commencé à produire des deux types de strobiles. L'objectif est maintenant de caractériser la production de strobiles pour les différents CS, en vue d'ajouter le critère de la floraison à ceux déjà retenus (hauteur, diamètre, branchaison, etc.) pour la future sélection des CS. Cette caractéristique de floraison précoce a été également observée chez les clones de somatiques de mélèze hybride (Colas et Lamhamedi 2009).

Si les mêmes avancées réalisées avec l'EPN se concrétisent comme prévu pour l'EPB, on pourra envisager, dans un premier temps, d'intégrer rapidement des CS élités dans les plans de croisements biparentaux somatiques, pour produire des graines destinées à la production de pieds-mères pour le bouturage de plants forestiers, ou encore, pour initier un nouveau cycle d'ES. Ensuite, lorsque les résultats des tests clonaux à court et à moyen

terme auront permis d'identifier les meilleurs individus et d'éliminer les moins performants, il sera approprié de convertir les tests de clones en vergers à graines. Les graines issues de croisements entre CS élites contribueront à augmenter rapidement les gains génétiques, ce qui valorisera l'utilisation des tests de CS et permettra d'intégrer rapidement les avancées réalisées en matière de sélection du matériel clonal élite.

Au delà de la phase du laboratoire, de nombreux travaux sont en cours au MRN. Une caractérisation morpho-physiologique des plants, ainsi que la production d'un catalogue de plus de 1200 CS d'EPB ont été effectuées (Lamhamedi et Gravel-Grenier 2012, Figure 4). Tous ces CS sont actuellement en évaluation dans des tests clonaux établis dans deux régions écologiques. Cette caractérisation permet d'établir des corrélations pépinière-plantation à un stade précoce afin de sélectionner les meilleurs CS (Wahid et al. 2012a, 2012b, 2013). Tout ceci a pour objectif d'éliminer rapidement les clones non performants et d'optimiser l'intégration des meilleures variétés somatiques dans la filière de bouturage.

Conclusion

Depuis 25 ans, le MRN a réalisé d'importants investissements pour le développement des techniques d'ES pour différentes essences (EPN, EPO, MEH et EPB) et, depuis 2004, pour la mise en place d'une unité opérationnelle de production de plants somatiques d'EPB destinés à l'établissement des tests de clones et à la production de pieds-mères pour le bouturage. L'objectif initial était de produire des plants de très haute qualité génétique. La démonstration de la capacité des CS à produire un

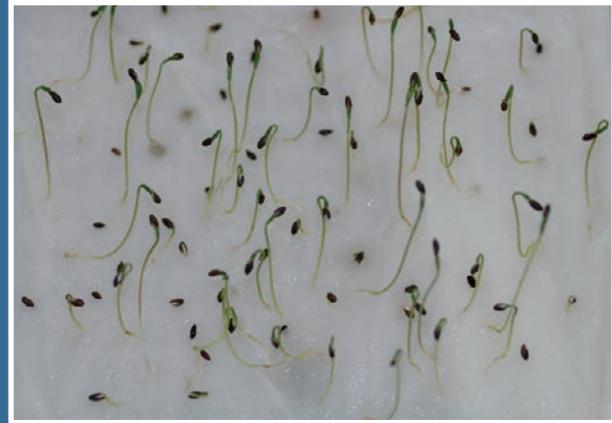


Figure 3. Test de germination en conditions artificielles des graines du clone d'EPB G367 produites par croisement uniparental.

pollen et des graines est une plus-value à la multiplication végétative par ES. En effet, les plants issus d'ES et sélectionnés pour leurs performances exceptionnelles ne seraient plus uniquement utilisés pour le reboisement dans le cadre de plantations multivariétales, mais aussi comme semenciers et producteurs de pollen de haute qualité génétique. L'intégration opérationnelle de l'ES dans la gestion des vergers à graines pour la production de semences dotées d'un gain génétique exceptionnel permettra de jeter les bases scientifiques solides d'une foresterie multivariétale hautement productive, tout en respectant le maintien de la diversité génétique des essences forestières ciblées.

	TC (%)	H (cm)	D (mm)	H/D	DA	LA (mm)	SS (g/cm²)
	82	39.9l	6.23b	6.48d	1.73b	12.9a	6.11a
	80	34.4h	6.23b	5.58c	1.43a	11.9a	7.40b
	82	34.8h	6.42c	5.47c	1.83b	11.5a	5.78a
	92	36.5j	6.58c	5.58c	1.55a	13.3a	6.21a
	92	48.9n	6.76c	7.27e	1.62a	12.8a	6.27b

Figure 4. Exemple de quelques variables morpho-physiologiques de 5 variétés somatiques tirées du catalogue de plus de 1200 variétés somatiques d'EPB 2+0 au stade pépinière. TC : taux de conformité selon les normes du MRN, H : hauteur, D : diamètre, DA : densité des aiguilles, LA et SA : longueur et surface spécifique des aiguilles. Remarquez les différences dans la longueur des branches et le degré de branchaison (Lamhamedi et Gravel-Grenier 2012).

Bibliographie

- Colas, F. et M.S. Lamhamed, 2009. *Integration of somatic clones in seed orchard management and the production of a new generation of seeds with a high genetic value*. Tree Seed Working Group News Bulletin 50: 27-31.
- Colas, F. et M.S. Lamhamed, 2010. *Floraison précoce et production de graines par des clones somatiques d'épinette noire (Picea mariana) : intégration potentielle dans le programme d'amélioration génétique et l'aménagement des vergers à graines*. Can. J. For. Res. 40(7): 1421-1433.
<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Colas-Fabienne/Rev-can-rech-for-40-1421-1433.pdf>
- Colas, F. et M.S. Lamhamed, 2013. *Production of a new generation of seeds through the use of somatic clones in controlled crosses of black spruce (Picea mariana)*. New For. DOI: 10.1007/s11056-013-9388-2.
- Lamhamed, M.S. et J. Gravel-Grenier, 2012. *La sélection précoce des variétés somatiques hautement productives : élément clef de l'amélioration de la chaîne de valeur du bois au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 41. 2 p.
<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamed-Mohammed/Avis41.pdf>
- Lamhamed, M.S., A. Rainville, F. Colas, N. Wahid, G. Prigent et J. Gravel-Grenier, 2011. *Les variétés somatiques à haut rendement : un outil précieux d'intensification de la production*. Résumé d'un stand présenté lors du Carrefour Forêt Innovations organisé par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 4-6 octobre 2011. Québec, Canada. 1 p.
<http://www.mrn.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Lamhamed-Mohammed/Resume-stand-varietes-carrefour2011.pdf>
- Wahid, N., M.S. Lamhamed, J. Beaulieu, H.A. Margolis et J. Deblois, 2012a. *Genetic parameters and clonal variation in growth and nutritional traits of containerized white spruce somatic seedlings*. Acta Bot. Gallica 159: 373-384.
- Wahid, N., A. Rainville, M.S. Lamhamed, H.A. Margolis, J. Beaulieu et J. Deblois, 2012b. *Genetic parameters and performance stability of white spruce somatic seedlings in clonal tests*. For. Ecol. Manage. 270: 45-53.
- Wahid, N., M.S. Lamhamed, A. Rainville, J. Beaulieu et H.A. Margolis, 2013. *Genetic Control and Nursery-Plantation Genotypic Correlations for Growth Characteristics of White Spruce Somatic Clones*. J. Sustain. For. 32(6): 576-593.

Les semences forestières : un outil d'adaptation aux changements climatiques

Catherine Périé

Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles, 2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8
catherine.perie@mrn.gouv.qc.ca



Catherine Périé a obtenu une maîtrise de physiologie végétale à l'Université Paul Sabatier (Toulouse, France) en 1993. Elle a poursuivi ses études à l'École nationale supérieure agronomique de Toulouse (France) où, en 1994, elle a obtenu un diplôme d'études supérieures approfondies. En 2003, l'Université Laval lui décernait un doctorat en sciences forestières. Depuis 2001, elle est à l'emploi de la Direction de la recherche forestière à titre de chercheuse. Ses travaux de recherche portent sur l'étude de l'impact des perturbations d'origine anthropique ou naturelle sur les écosystèmes forestiers du Québec. Ces dernières années, elle s'intéresse plus particulièrement à l'étude de l'impact des changements climatiques sur la composition des forêts du Québec afin d'évaluer leur vulnérabilité au réchauffement du climat.

Avec l'influence des changements climatiques, le passé n'est plus garant de l'avenir. Les forêts de demain pourraient présenter un aspect bien différent de celui d'aujourd'hui. L'adaptation du secteur forêts aux changements climatiques est un défi de taille, tant ces derniers ont le potentiel de modifier considérablement l'écosystème forestier.

Les changements climatiques anticipés au Québec pour la fin du 21^e siècle (2071-2100)

En combinant plusieurs scénarios d'émissions de gaz à effet de serre et en utilisant plusieurs modèles de simulation du climat, Logan *et al.* (2011) ont produit un *Atlas de scénarios climatiques pour la forêt québécoise*. Par rapport aux étés de la fin du 20^e siècle, ceux de la fin du 21^e siècle seront considérablement plus chauds (valeur médiane = +3,2 °C; Tableau 1); les précipitations, quant à elles, diminueront très faiblement (valeur médiane = -1,5 %; Tableau 1), ce qui laisse entrevoir une augmentation des risques de sécheresse, surtout dans la partie la plus méridionale de la province.

Les impacts potentiels, à la fin du 21^e siècle (2071-2100), des changements climatiques sur l'habitat des espèces ligneuses actuellement présentes au Québec

À la fin du 20^e siècle, 49 espèces ligneuses étaient présentes au Québec. D'ici la fin du 21^e siècle, 14 d'entre elles pourraient être mésadaptées aux nouvelles conditions climatiques sur plus de la moitié du territoire qu'elles occupent actuellement au Québec (Figure 1a). Certaines, comme le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb.), l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss), le mélèze laricin (*Larix laricina* [Du Roi] K. Koch) et le sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), présenteront même des risques de dépérissement sévères sur plus de 20 % de leur territoire actuel. De façon générale, ce sont les secteurs les plus méridionaux des aires de répartition qui, avec le réchauffement du climat, deviendront les plus défavorables au maintien de ces espèces. Cependant, à l'exception du pin gris et de l'épinette noire, toutes pourraient avoir, à la fin du 21^e siècle, de nouveaux territoires favorables à leur présence (Figure 1b). En outre, pour la plupart, les secteurs les plus septentrionaux de leur aire de répartition leur demeureront favorables (Figure 1c).

Tableau 1. Estimation des valeurs futures (2071-2100) de températures moyennes et de précipitations totales par rapport à la période de référence (1971-2000), pour les forêts sous aménagement au Québec. Les valeurs indiquées sont celles de la valeur médiane, accompagnées de celles du 10^e et du 90^e centiles entre parenthèses (N = 139 scénarios climatiques).

Anomalies climatiques ¹	Annuel	Périodes	
		Hiver (DJF)	Été (JJA)
Température moyenne (°C)	+3,71 (+2,28 à +5,14)	+4,94 (+3,01 à +6,88)	+3,24 (+1,79 à +4,68)
Précipitations totales (%)	+14,04 (+7,02 à +21,06)	+23,02 (+8,98 à +37,06)	-1,51 (-2,71 à + 0,31)

Adapté de Logan *et al.* (2011)

¹ Une anomalie climatique se définit comme l'écart entre la valeur projetée et la valeur de référence.

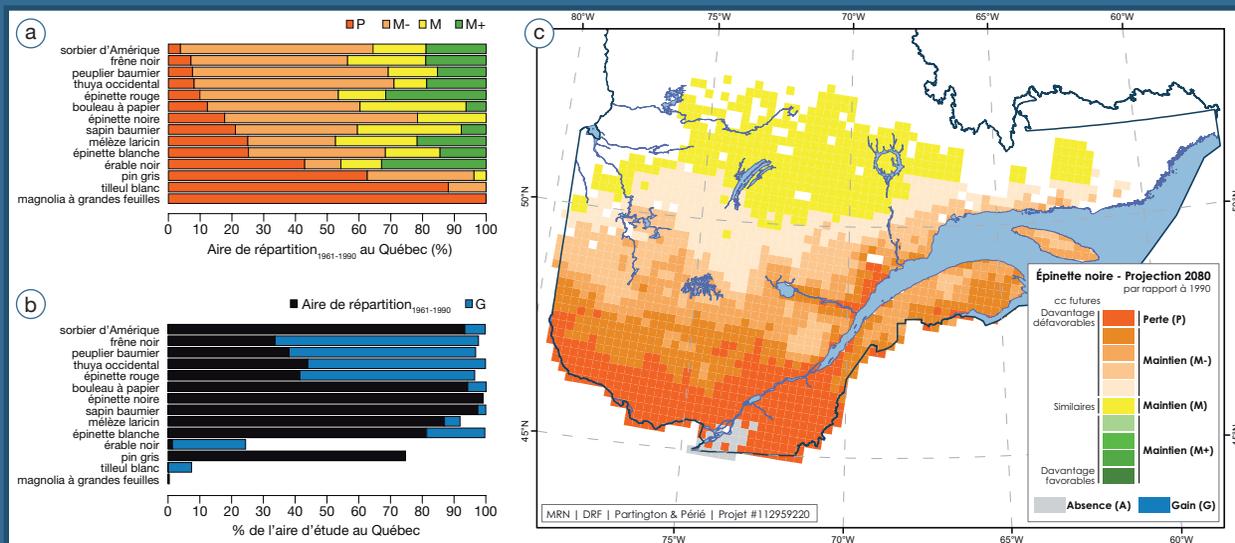


Figure 1. Effets anticipés, à la fin du 21^e siècle, des changements climatiques sur l'aire de répartition₁₉₆₁₋₁₉₉₀ (a) et sur l'habitat potentiel au Québec à la fin du 21^e siècle (b) des 14 espèces les plus vulnérables. L'épinette noire est ici utilisée à titre d'exemple pour illustrer la spatialisation de ces effets (c) (adapté de Périé *et al.* [soumis]). Les codes de devenir des espèces sont : **A (Absent)** : l'habitat n'était pas favorable à la présence de l'espèce durant la période de référence et continuera à ne pas l'être dans le futur; **P (Pertes)** : l'habitat était favorable à la présence de l'espèce durant la période de référence mais ne le sera plus dans le futur; **M- (Maintien)** : l'habitat était favorable à la présence de l'espèce durant la période de référence et continuera à l'être dans le futur, mais les conditions climatiques (cc) lui seront moins favorables que pendant la période de référence (écart de plus de 15 %); **M (Maintien)** : l'habitat était favorable à la présence de l'espèce durant la période de référence et continuera à l'être dans le futur, et les conditions climatiques ne lui seront ni plus ni moins favorables que pendant la période de référence (écart de moins de 15 %); **M+ (Maintien)** : l'habitat était favorable à la présence de l'espèce durant la période de référence et continuera à l'être dans le futur, et les conditions climatiques lui seront davantage favorables que pendant la période de référence (écart de plus de 15 %); **G (Gain)** : L'habitat n'était pas favorable à la présence de l'espèce durant la période de référence, mais le deviendrait dans le futur.

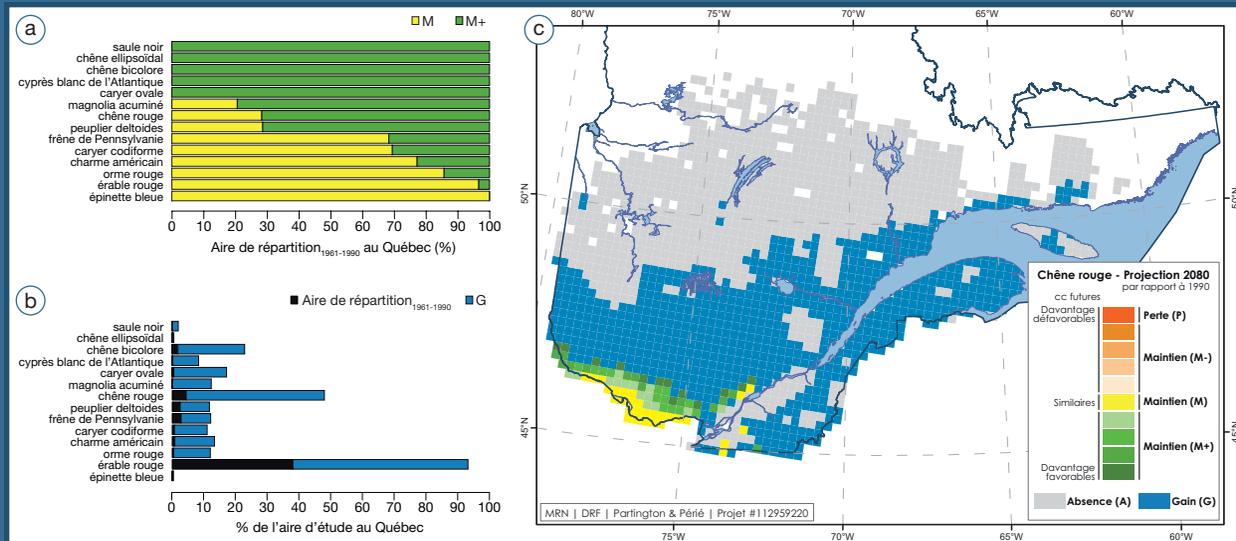


Figure 2. Effets anticipés, à la fin du 21^e siècle, des changements climatiques sur l'aire de répartition₁₉₆₁₋₁₉₉₀ (a) et sur l'habitat potentiel au Québec à la fin du 21^e siècle (b) des 14 espèces les moins vulnérables. Le chêne rouge est ici utilisé à titre d'exemple pour illustrer la spatialisation de ces effets (c) (adapté de Périé *et al.* [soumis]). Les codes de devenir des espèces sont les mêmes qu'à la figure 1.

D'autres, au contraire, pourraient être avantagées par les changements climatiques sur quasiment la totalité du territoire qu'elles couvrent actuellement au Québec; 13 de ces 14 espèces sont des espèces feuillues actuellement peu répandues au Québec (à l'exception de l'érable rouge [*Acer rubrum* L.]), et une est une espèce résineuse, l'épinette bleue (*Picea pungens* Engelm.), également marginale au Québec (Figure 2a). Les conditions

favorables à leur présence couvriront de nouveaux territoires, situés au nord de leur aire de répartition actuelle (Figure 2b). En outre, même dans la partie la plus méridionale de leur aire de répartition actuelle au Québec, les conditions climatiques de la fin du 21^e siècle leur demeureront au moins aussi favorables qu'elles l'étaient à la fin du 20^e siècle (Figure 2c).

Le Québec, terre d'asile ?

À la fin du 21^e siècle, 41 nouvelles espèces pourraient trouver au Québec des conditions géoclimatiques favorables à leur installation. Si toutes étaient capables de s'installer et de croître dans ces nouveaux territoires, le nombre d'espèces ligneuses présentes au Québec pourrait quasiment doubler en un siècle. Cependant, la grande majorité d'entre elles demeureront marginales (Figure 3) à l'exception du chêne à feuille de houx (*Quercus illifolia* Wangenh.), du pin rigide (*Pinus rigida* Mill.) et du bouleau flexible (*Betula lenta* L.) qui pourraient occuper plus du quart de la superficie de la forêt sous aménagement au Québec.

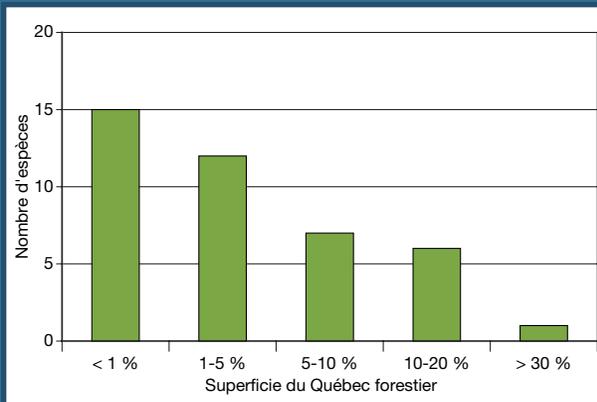


Figure 3. Nombre de nouvelles espèces qui auront un habitat favorable à leur présence au Québec, par classe de superficie. Ces espèces sont actuellement absentes du Québec.

La plantation : un outil d'adaptation aux changements climatiques

L'adaptation aux changements climatiques désigne l'ensemble des initiatives et mesures qui visent à réduire la vulnérabilité des systèmes naturels et humains contre les effets réels ou attendus des changements climatiques. La plantation est très vraisemblablement l'une des mesures les plus efficaces pour adapter les forêts au climat de demain, car le choix judicieux des espèces ou des provenances qui seront plantées permet de diminuer la sensibilité des peuplements aux changements climatiques. Cependant, reboiser en pensant à ce que pourrait être la forêt de demain soulève de nombreuses questions et nous oblige à faire des choix parmi l'ensemble des mesures d'adaptation possibles.

- Espèces traditionnelles du programme de reboisement :
 - Dispose-t-on des connaissances suffisantes pour l'ensemble des espèces résineuses (nouveaux territoires d'utilisation des sources de semences; projet d'André Rainville)?
 - Faudrait-il dès aujourd'hui récolter et conserver les semences qui seront utilisées au cours des prochaines décennies?
 - Très peu d'espèces feuillues sont actuellement plantées. Pourtant, en général, les conditions futures leur semblent davantage favorables qu'elles ne le sont pour les espèces résineuses indigènes...

- Nouvelles espèces : Migration assistée
 - Pour des espèces indigènes comme le chêne rouge, devrait-on réaliser des plantations dans les nouveaux secteurs qui leur deviendraient favorables dans le futur (au nord de la limite septentrionale de leur aire de répartition actuelle)?
 - Pourquoi ne pas commencer à introduire des espèces non indigènes (ou très marginales au Québec) comme le pin rigide?
- Conservation de la biodiversité du Québec :
 - Très peu d'espèces sont conservées dans les banques de semences. Veut-on remédier à cela? Que faire pour la conservation des espèces non orthodoxes?

Le défi posé par les changements climatiques réside dans le fait que les conditions environnementales (pollution atmosphérique, conditions climatiques, nouvelles perturbations naturelles) qui prévaudront à la fin du siècle seront très différentes de ce qu'elles sont aujourd'hui. Même si ce constat soulève de nombreuses questions, il ne faudra pas attendre de répondre à toutes avec certitude avant de commencer à agir, car c'est dès aujourd'hui que l'on façonne le visage de la forêt de demain.

Bibliographie

- Logan, T., I. Charron, D. Chaumont et D. Houle, 2011. *Atlas de scénarios climatiques pour la forêt québécoise*. Rapport produit par Ouranos pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. 124 p.
http://www.ouranos.ca/media/publication/162_AtlasForet2011.pdf
- Périé, C., S. de Blois, M.-C. Lambert et N. Casajus (soumis). *Effets anticipés des changements climatiques sur l'habitat des espèces ligneuses du Québec*. Gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière.





*Ressources
naturelles*

Québec 

UN
QUÉBEC
POUR TOUS