Le bouturage des résineux à la pépinière de Saint-Modeste (Québec, Canada) : 10 ans de recherche, de développement et d'innovations

Cutting propagation of conifer trees at the Saint-Modeste tree nursery (Quebec, Canada) : 10 years of research, development and innovations

D. TOUSIGNANT[1], M. RIOUX[2]

1 Direction de la Recherche Forestière, Forêt Québec, Ministère des Ressources Naturelles,
2700 rue Einstein, Sainte-Foy, Québec (Canada) G1P 3W8
Tél : (418) 643-7994 • Fax : (418) 643-2165 • Email : denise.tousignant@mrn.gouv.qc.ca

2 Pépinière forestière de Saint-Modeste, Forêt Québec, Ministère des Ressources Naturelles,
410 rue principale, Saint-Modeste, Québec (Canada) G0L 3W0
Tél : (418) 862-5511 • Fax : (418) 862-0564 • Email : michel.rioux@mrn.gouv.qc.ca

Résumé : Depuis son ouverture en 1989, le Centre de bouturage de la Pépinière de Saint-Modeste ne cesse d'augmenter et de diversifier sa production, qui se chiffre maintenant à environ quatre millions de plants issus de boutures livrés annuellement. Les recherches menées au Ministère des Ressources Naturelles du Québec ont permis de développer des techniques uniques de bouturage pour la multiplication en vrac, à grande échelle, de plusieurs espèces d'arbres forestiers concernées par des programmes d'amélioration génétique. Les espèces multipliées par bouturage sont l'épinette noire (*Picea mariana*), l'épinette blanche (*Picea glauca*), l'épinette de Norvège (*Picea abies*) et depuis peu, les mélèzes hybrides (*Larix × eurolepis* et autres). Chacune possède des particularités propres qui déterminent le choix du calendrier de production et du système de multiplication à mettre en place. Un souci constant d'amélioration et une collaboration étroite entre la Pépinière de Saint-Modeste et la Direction de la Recherche Forestière sont parmi les clés de ce succès. Nous résumons ici nos techniques, ainsi que la démarche de recherche qui nous a permis d'atteindre les niveaux actuels de production.

Mots clés : bouturage, boutures, multiplication végétative en vrac, pieds-mères, conifères, épinette noire, épinette blanche, épinette de Norvège, mélèze hybride, *Picea mariana*, *Picea glauca*, *Picea abies*, *Larix x eurolepis*, Québec

Abstract : *Since its opening in 1989, the cutting propagation centre of the Pépinière de Saint-Modeste has continually increased and diversified its annual production, which now reaches approximately 4 million stecklings. Research conducted at the Ministère des Ressources Naturelles du Québec has led to unique techniques for bulk cutting propagation, on a large scale, of several tree species included in genetic improvement programmes. The species currently propagated by cuttings are black spruce (Picea mariana), white spruce (Picea glauca), Norway spruce (Picea abies) and hybrid larch (Larix × eurolepis and others). Each species has its own peculiarities which determine the choice of a production calendar*

and of the type of propagation system to set up. A constant quest for improvement and a close collaboration between the nursery and the Direction de la Recherche Forestière are some keys to our success. In this article, we summarize our techniques and the research steps that enabled us to reach our current production levels.

Keywords : *cutting propagation, bulk vegetative propagation, stockplants, conifers, black spruce, white spruce, Norway spruce, hybrid larch, Picea mariana, Picea glauca, Picea abies, Larix × eurolepis, Quebec*

1 Introduction

Depuis plus d'une décennie, le Québec produit des plants de reboisement issus de boutures, fruits des programmes d'amélioration génétique. L'année 1989 marque l'ouverture du Centre de bouturage de la Pépinière forestière de Saint-Modeste (cf Photo n°1), utilisant un système de multiplication unique au monde nommé « *Bouturathèque* », conçu et développé au Ministère des Ressources Naturelles du Québec (Vallée et Noreau, 1990 ; Tousignant *et al.,* 1996). Bien que le bouturage des arbres forestiers soit déjà pratiqué à grande échelle ailleurs dans le monde à cette époque (Ritchie, 1991), et même si l'enracinement des espèces qui nous intéressaient avait déjà été étudié (Armson *et al.*, 1980 ; Girouard, 1974 ; Kleinschmidt, 1974 ; Monchaux, 1989 ; Phillion, 1983 ; Russell et Ferguson, 1990), les exemples de systèmes d'enracinement à l'étouffée, similaires au nôtre, étaient inexistants. L'absence de références nous a donc obligés à recourir à nos propres expérimentations pour adapter les connaissances disponibles dans la littérature au contexte qui nous était propre. A l'origine, l'objectif annuel de production était d'un million de plants issus de boutures d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.). En quelques années, ce système a atteint un niveau de production de près de 3 millions de plants livrables issus de boutures. Les plants multipliés par bouturage sont tous issus de croisements dirigés entre les meilleurs sujets, testés et recommandés par les généticiens forestiers pour leur potentiel génétique supérieur. Ces gains justifient largement les coûts de production plus élevés (1.5 à 1.7 fois) des plants issus du bouturage par rapport aux semis conventionnels.

Photo n°1 : Vue aérienne d'une partie des installations de la Pépinière forestière de Saint-Modeste

C'est en concentrant nos efforts d'abord sur une seule espèce, l'épinette noire, que nous sommes parvenus à passer rapidement d'un prototype expérimental à un système complètement opérationnel (Tousignant *et al.*, 1996). Récemment, nous avons développé une technique adaptée au bouturage du

mélèze hybride (*Larix x eurolepis* (Henry)). Pour cette espèce, nous avons opté pour un environnement plus traditionnel sous « mist », comparable aux modèles européens (Jacques et Nanson, 1989 ; Mason, 1989 ; Pellicer, 1997 ; Verger et Pâques, 1993). En mai 2000, ce nouveau système a permis de bouturer une quantité suffisante à la production de 500.000 plants livrables en 2003. L'objectif fixé est d'atteindre, à court terme, 1 million de plants de mélèze hybride issus de boutures chaque année. Des travaux parallèles ont aussi été menés sur le bouturage de l'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss.) et de l'épinette de Norvège (*Picea abies* (L.) Korst.). Un objectif de production de 1.6 millions de plants d'épinette blanche et de 0.5 million de plants d'épinette de Norvège est graduellement mis en place depuis mai 2000, selon un scénario de culture propre à ces espèces. Depuis le début, des recherches étroitement associées à la production permettent d'évaluer sans tarder les nouvelles questions à résoudre. Nous avons ainsi pu trouver des solutions originales et réalistes aux besoins pratiques en pépinière, pour passer harmonieusement de l'essai à la pratique.

Au total, la saison 2000-2001 devrait nous permettre de produire un nombre suffisant de boutures pour livrer, dès 2003, un total de plus de 4 millions de plants issus de boutures, et 6 millions en 2005. La figure n°1 résume les grandes lignes des scénarios de culture pour les espèces concernées. Ce niveau de production de plants forestiers génétiquement améliorés, multipliés par bouturage, démontre l'effort que Forêt Québec entend faire pour augmenter la productivité des forêts québécoises.

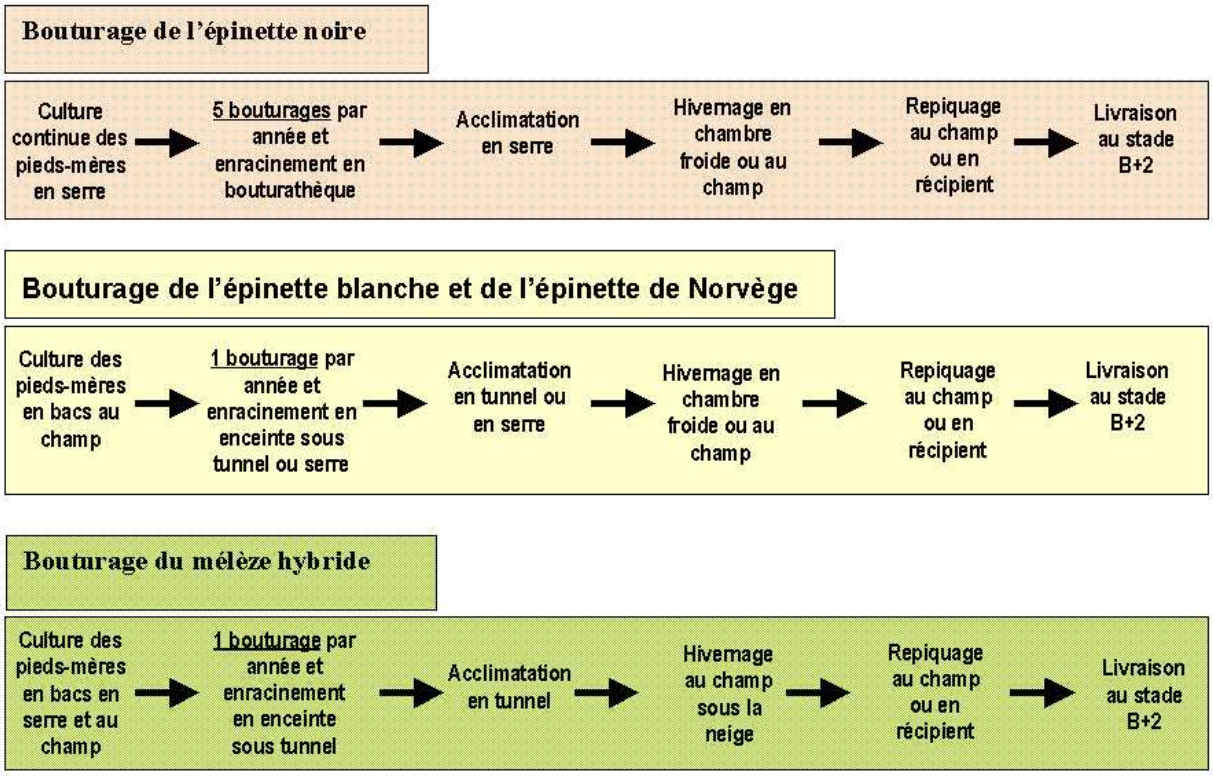


Figure n°1 : Schéma général des scénarios de production utilisés à la Pépinière de Saint-Modeste pour le bouturage de l'épinette noire, de l'épinette blanche,de l'épinette de Norvège, et du mélèze hybride

2 Le bouturage de l'épinette noire

Le système de bouturage hors serre « Bouturathèque » utilisé à Saint-Modeste se prête particulièrement bien à la multiplication de l'épinette noire (Tousignant *et al.*, 1996). Les « bouturathèques » se composent de compartiments superposés, hermétiques et éclairés individuellement par des tubes fluorescents. Le bouturage, réparti sur toute l'année, nécessite la culture forcée et continue des pieds-mères en serre.

2.1 Culture des pieds-mères

Pour tirer un maximum de profit du système « Bouturathèque », il faut disposer d'un approvisionnement continu en boutures. Le premier problème que nous avons eu à résoudre, pour l'épinette noire, était donc d'assurer une productivité maximale des pieds-mères, afin de remplir les mini-serres à pleine capacité, cinq fois par année. Les pieds-mères sont cultivés en serre pendant 2 ans, sous un régime de forçage continu (cf Photos n°2 et n°3). Ils bénéficient d'un éclairage artificiel d'appoint et d'une photopériode de 18 heures. La récolte des boutures se fait toutes les 10 semaines : en janvier, mars, juin, août et novembre.

Photo n°2 : Vue d'un pied-mère d'épinette noire cultivé en multi-cellule de 200 cm³

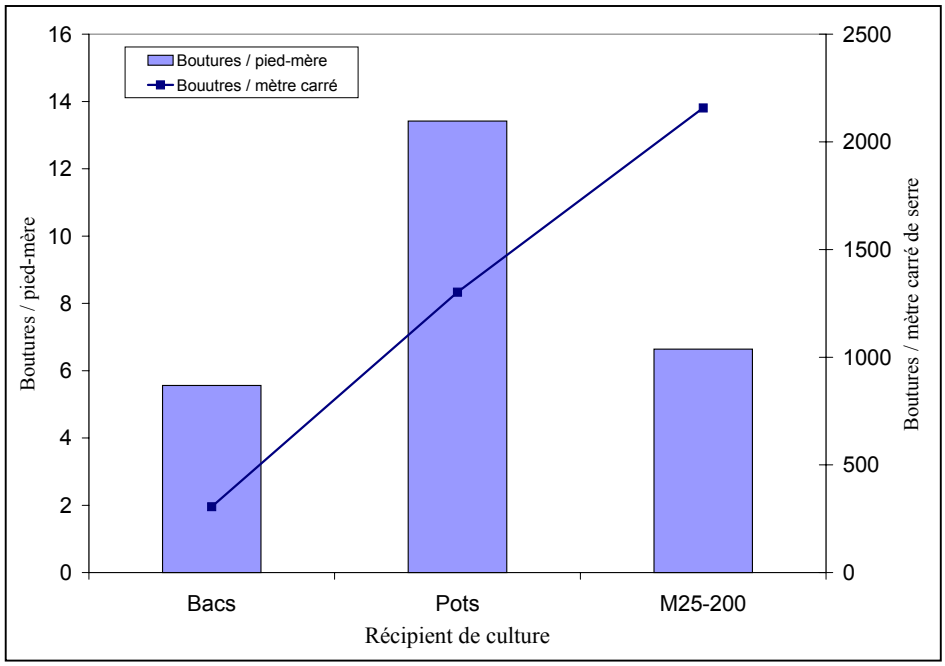
Photo n°3 : Au premier plan, pieds-mères d'épinette noire après la récolte des boutures et un rabattage à 10 cm

L'épinette noire se prête bien à ce mode de culture en continu. Depuis le début, nous avons expérimenté avec diverses techniques de taille, afin de favoriser une forme buissonnante chez les pieds-mères. Le rabattage systématique, à hauteur prédéterminée, immédiatement après la récolte, s'est rapidement imposé comme la meilleure façon d'optimiser la productivité des plants (cf Photo n°3). Les pieds-mères forment des populations denses, et les boutures semblent former un tapis sur toute l'aire de culture. Avec cette technique, les boutures sont abondantes, très faciles à prélever, et de longueur uniforme. De plus, le rabattage des pieds-mères, en limitant leur hauteur à moins de 15 cm, favorise une reprise de croissance rapide après le bouturage, et aide à maintenir la juvénilité (cf Photo n°2).

Les semences issues de croisements dirigés coûtent relativement cher. Toute augmentation du facteur de multiplication des pieds-mères contribue à réduire les coûts de production et à amortir le coût de la semence. Par ailleurs, la demande en plants issus de boutures est telle, au Québec, que les

« bouturathèques» se doivent d'être toujours pleines pour qu'on tente d'y répondre. Il nous faut donc optimiser le rendement des pieds-mères, autant sur le plan individuel que par unité de surface de serre.

En comparant différents récipients (= conteneurs) de culture, allant de 200 cm^3 à plusieurs litres de substrat par plant, nous avons évalué le rendement individuel des pieds-mères en fonction de l'espace qui leur était alloué (cf Graphique n°1). Par ailleurs, lorsqu'on évaluait ces mêmes récipients sur le plan du rendement par mètre carré de serre, des tendances différentes devenaient apparentes. Dans le récipient multipot à cavités de 200 cm^3, même si le rendement individuel de chaque pied-mère n'était pas maximal, l'espace était utilisé plus efficacement. Ces considérations nous ont guidés vers le choix d'un récipient multipot à cavités de 200 cm^3 pour la culture des pieds-mères (cf Photo n°2). Non seulement ce modèle optimise-t-il la production totale de boutures dans les serres, mais il peut recevoir les pieds-mères pendant toute leur vie utile, de l'ensemencement à la dernière récolte.



Graphique n°1 : Rendement moyen total et cumulatif des pieds-mères d'épinette noire cultivés dans 3 types de récipients, après 3 années de culture continue en serre

La fertilisation des pieds-mères est assurée à partir d'engrais solubles, et basée sur un suivi toutes les 2 semaines des teneurs en éléments minéraux du substrat. De façon générale, on applique entre 2 et 3 mg d'azote (N), par semaine et par pied-mère. Les doses d'engrais sont ajustées au fur et à mesure, pour respecter les normes de base. L'irrigation est faite à l'aide de robots munis de rampes d'arrosage.

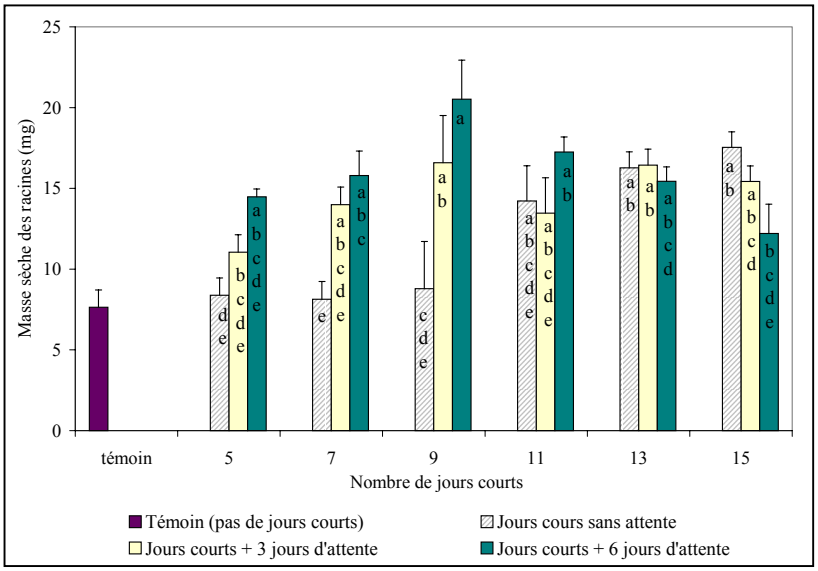
2.2 Traitements aux jours courts des pieds-mères

Un autre défi à relever était d'uniformiser le développement des boutures, pour qu'à la récolte elles soient toutes au meilleur stade possible. Le prélèvement d'une bouture s'effectue toujours dans la partie semi-lignifiée de la tige, alors que la partie terminale de la bouture est turgescente. Cependant, dans une même population d'épinette noire, le degré de lignification des boutures, tout en étant relié au succès et à la qualité de l'enracinement, est variable (Tousignant, 1995). Nos recherches ont permis de mettre au point un traitement original aux jours courts, qui a grandement amélioré la qualité des boutures au

moment de leur récolte. En effet, en réduisant la photopériode à laquelle sont exposés les pieds-mères (8 h d'éclairage pendant 9 jours consécutifs), environ deux semaines avant le bouturage, la croissance des pousses est ralentie et leur lignification s'amorce. Trois à six jours après leur retour aux conditions de lumière et de photopériode initiales, les boutures sont récoltées. Le système que nous utilisons pour créer l'obscurité totale au niveau des pieds-mères est relativement simple. Il est constitué de supports amovibles sur lesquels une toile opaque est roulée ou déroulée, selon le cas, matin (8 h) et soir (16 h) (cf Photo n°4).

Photo n°4 : Équipement permettant un traitement de jours courts des lots de pieds-mères d'épinette noire avant le bouturage

Le traitement aux jours courts est systématiquement appliqué à chacun des bouturages d'épinette noire. A la suite de ce traitement, les boutures sont très uniformes, avec un degré de lignification idéal pour l'enracinement. Cela se traduit par un meilleur taux d'enracinement et une plus forte biomasse racinaire des boutures (cf Graphique n°2). De plus, elles n'ont pas tendance à croître en hauteur, pendant l'enracinement, et elles sont moins vulnérables à la moisissure. Par ailleurs, en étant plus rigides et moins fragiles, leur manipulation est plus facile, ce qui diminue les coûts d'opération du bouturage.



Graphique n°2 : Effet de la longueur d'un traitements aux jours courts (photopériode de 8 h) et de la période d'attente avant bouturage, sur la biomasse racinaire de boutures d'épinette noire, après 12 semaines d'enracinement en « bouturathèque ». Les lettres identifient les traitements qui diffèrent significativement l'un de l'autre à un seuil de p = 0.05 (test HSD de Tukey suite à une analyse de variance). Les barres d'erreur indiquent l'erreur-type des échantillons

Le rabattage systématique que subissent les pieds-mères élimine l'effet résiduel du traitement aux jours courts sur les pieds-mères en induisant immédiatement la croissance de nouvelles pousses latérales. Cependant, de récentes observations suggèrent qu'à long terme, les traitements répétés aux jours courts contribuent au vieillissement des pieds-mères, ce qui a pour effet de réduire quelque peu le taux d'enracinement des boutures récoltées sur des pieds-mères de plus de deux ans.

2.3 Récolte et préparation des boutures

Cette opération a lieu 5 fois par an, et s'échelonne sur 10 jours. Une équipe de 30 personnes traite habituellement environ 100.000 boutures par jour. C'est donc 1 million de boutures qui sont récoltées et bouturées à chacune des opérations de bouturage. La récolte s'effectue à l'aide de ciseaux, en prélevant les boutures terminales, une à la fois (cf Photo n°5). La longueur de celles-ci se situe entre 4 et 7 cm. Très souvent, la personne affectée à ce travail va simplement faire une marque à l'encre sur son index comme guide de mesure. Chaque pied-mère fournit en moyenne entre 7 et 10 boutures, mais on note une légère variation du nombre de boutures par pied-mère au fil des saisons. La récolte est immédiatement suivie d'un rabattage systématique des pieds-mères, à une hauteur uniforme. Ce travail est effectué manuellement avec des ciseaux munis d'un guide de hauteur. De façon générale, la hauteur de rabattage passe de 5 cm, au premier bouturage, à environ 12 à 15 cm, 2 ans plus tard.

Photo n°5 : Prélèvement des boutures sur un pied-mère d'épinette noire à l'aide de ciseaux

Photo n°6 : Organisation du travail au bouturage. Une table munie de convoyeurs et d'éclairage permet d'optimiser la qualité et le rendement

Le bouturage proprement dit est effectué dans des récipients de type multipot 45-110 (45 cavités de 110 cm³). Le substrat utilisé est composé d'un mélange de perlite de qualité horticole et de mousse de tourbe de sphaigne blonde à fibres longues, en proportions égales. Trois boutures sont insérées dans chaque cavité, dans des trous préformés par un appareil conçu à cet effet. La base des boutures se retrouve enfouie à une profondeur d'environ 1.5 cm. Le travail se fait « à la chaîne » autour d'une table munie de convoyeurs superposés, permettant d'obtenir une qualité et des rendements très satisfaisants (cf Photo n°6). Habituellement, on compte un rendement journalier d'environ 3.500 boutures par personne (7 h15 de travail). Cela inclut la récolte, le bouturage et la mise en « bouturathèque ».

2.4 Enracinement en « bouturathèque »

Les « bouturathèques » sont des mini-serres d'enracinement, superposées, dotées d'un éclairage artificiel, et situées dans des salles climatisées, pour un maximum de contrôle environnemental (cf Photos n°7 et n°9). Elles sont décrites en détail par Vallée et Noreau (1990) et Tousignant *et al.* (1996). Leur principal avantage est de permettre une production continue, puisque l'enracinement se fait indépendamment du climat extérieur. Elles optimisent également l'utilisation de l'espace, car les mini-serres sont superposées sur quatre niveaux. Les conditions environnementales, malgré une intensité lumineuse relativement faible (environ 20 à 25 µmol/m^2/s PAR au niveau des plants), conviennent pour un grand nombre d'espèces, particulièrement pour des boutures partiellement lignifiées. L'application d'eau dans les mini-serres est faite à l'aide d'un robot d'arrosage (cf Photo n°8). Les besoins d'irrigation sont évalués quotidiennement par une personne qui prescrit, s'il y a lieu, un arrosage adapté à chacune des 24 mini-serres. Selon la localisation des mini-serres ou la saison du bouturage, la quantité d'eau totale appliquée variera entre 40 et 100 litres d'eau par mini-serre, pour les 8 semaines d'enracinement.

Photo n°7 : Vue des boutures d'épinette noire dans une mini-serre de la "bouturathèque"

Photo n°8 : Le maintien du taux d'humidité dans les mini-serres est assuré par un robot

Photo n°9 : Vue partielle de 16 des 24 mini-serres de la bouturathèque.
12 d'entre elles peuvent contenir 51000 boutures, les 12 autres 43740 boutures pour une capacité totale de plus de 1 million de boutures à chacun des 5 bouturages

Lors de la mise au point du système « Bouturathèque », la première étape critique à franchir a été de doter les mini-serres d'un éclairage uniforme, sur toute leur surface de culture. L'agencement des tubes fluorescents détermine à la fois la répartition de la lumière et de la chaleur dans les mini-serres. Comme celles-ci demeurent fermées hermétiquement pendant les 8 semaines d'enracinement, il n'est ni pratique, ni utile, d'intervenir en irriguant localement. Une accumulation de chaleur, même légère, entraîne un déplacement d'air et d'eau d'un bout à l'autre de la mini-serre. Si le substrat s'assèche à un endroit plus chaud, ailleurs, une zone plus froide reste détrempée et propice aux moisissures. La comparaison de plusieurs agencements spatiaux de tubes fluorescents, de même que plusieurs systèmes de ventilation, nous a amenés à une simple conclusion : il vaut mieux réduire l'éclairage et éloigner le plus possible les sources de chaleur des enceintes. Ainsi, chaque mini-serre est éclairée par trois rangées parallèles de tubes fluorescents de 75 W, et les ballasts sont regroupés loin au-dessus des mini-serres, là où la ventilation permet d'évacuer efficacement l'excès de chaleur. L'intensité lumineuse est légèrement au-dessus du point de compensation des boutures.

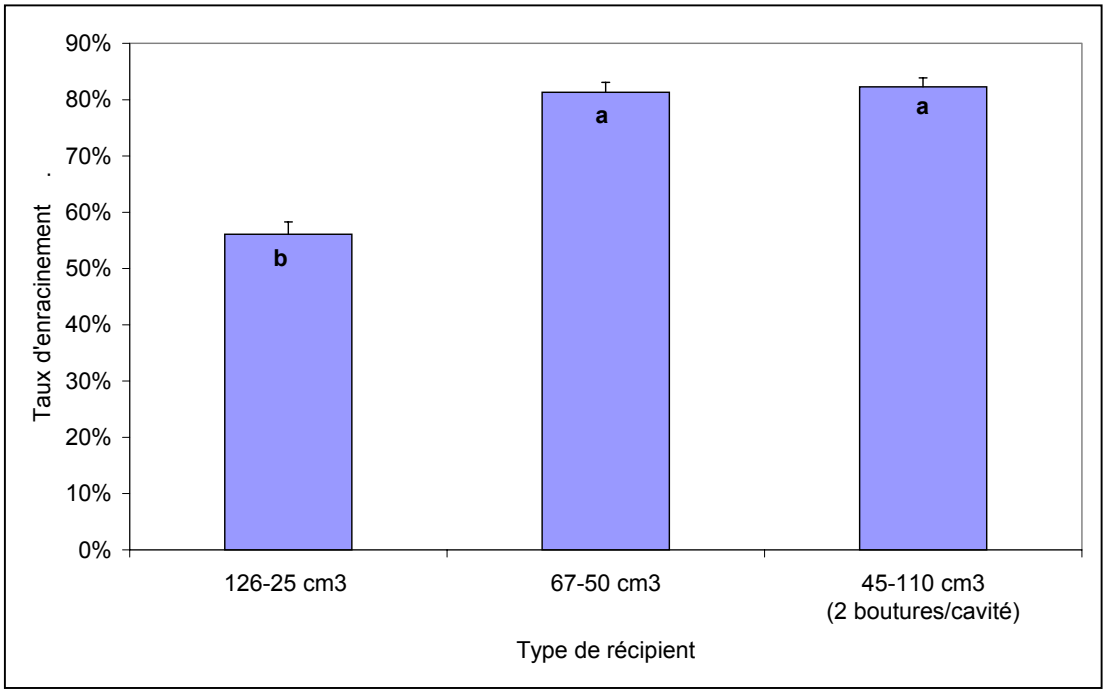
En même temps que les travaux de recherche sur l'éclairage des mini-serres, nous avons étudié la question du volume du récipient d'enracinement. Le premier prototype de « bouturathèque » utilisait, avec un excellent succès, des récipients multipots avec des cavités de 50 cm^3 ou 110 cm^3, dans lesquels les boutures pouvaient effectuer toute leur croissance avant leur sortie de la pépinière, quelques mois plus tard. Peu après, un changement dans les politiques de reboisement au Québec a exigé que les boutures soient livrées sous forme de plants de fortes dimensions. Ceci suppose qu'elles soient repiquées et cultivées pendant 2 années supplémentaires en pépinière. Il devenait donc possible (et intéressant) de faire enraciner les boutures dans un récipient plus petit, afin d'augmenter la capacité d'accueil des « bouturathèques », tout en facilitant le repiquage par la suite. Nous nous sommes d'abord tournés vers des récipients mini-cellules de 16 cm^3, mais ce volume était nettement trop faible, nuisant au taux d'enracinement. Pendant plusieurs années, nous avons travaillé sur un modèle moulé sur mesure pour le Centre de bouturage, avec des cavités de 25 cm^3. Ce modèle permettait de tripler la capacité des « bouturathèques », en « agrandissant de l'intérieur ». Malheureusement, cela compliquait beaucoup l'irrigation pendant l'enracinement, car il était difficile d'éviter que les cavités ne s'assèchent localement. Un manque d'eau passager pouvait suffire à entraîner l'échec de l'enracinement. Nous avons monté un dispositif expérimental afin d'étudier de façon isolée le facteur « récipient », par rapport aux autres facteurs pouvant affecter l'enracinement en « bouturathèque ». Dans des conditions identiques et pour une capacité égale des mini-serres, nous avons obtenu un meilleur enracinement dans une cavité de 50 ou de 110 cm^3 que dans une cavité de 25 cm^3 (cf Graphique n°3). Un récipient de plus grand volume crée un « tampon », ralentissant le dessèchement de la cavité, et la plus grande hauteur éloigne la bouture de la partie saturée en eau au bas du récipient, augmentant du même coup l'aération des racines (Tousignant et Rioux, 1996).

La question du substrat d'enracinement nous a, elle aussi, longuement préoccupés. Lorsque des récipients de très faible volume étaient utilisés, nous obtenions de meilleurs résultats en augmentant l'aération par l'ajout de perlite dans le mélange. Nous en sommes arrivés à privilégier un mélange 1/1 ou 2/3 volume de tourbe et de perlite grossière. Ce substrat est encore la norme aujourd'hui. Il offre l'avantage supplémentaire de faciliter la séparation des 3 boutures d'une même cavité, au moment du repiquage, le printemps suivant.

La période d'enracinement dure 8 semaines. Une application hebdomadaire de fongicide au cours des quatre premières semaines suffit à empêcher et à contrôler le développement de pathogènes. Nous maintenons constamment la température à environ 21°C, et l'humidité relative de l'air à 90% et plus. La photopériode est de 20 heures, avec une faible intensité lumineuse de 20 à 25 $\mu mol/m^2/s$. Les premières racines apparaissent dès la 3ème ou 4ème semaine. Les régulateurs de croissance n'améliorent pas le taux d'enracinement déjà élevé des boutures juvéniles d'épinette noire, mais une récente étude a démontré qu'une application d'acide indole-butyrique (AIB) par pulvérisation sur le feuillage des boutures, à la 2ème et à la 4ème semaine en « bouturathèque », augmente le nombre de racines principales (témoin = 2.7 et traitement = 3.1) (Rioux et Auger, 2000, rapport interne non publié). Depuis mars 2000, ce traitement est

systématiquement appliqué dans l'espoir d'accroître la masse racinaire des boutures, en vue de leur repiquage l'année suivante.

Le taux d'enracinement moyen des boutures d'épinette noire se situe entre 75 et 80%. De façon globale, les lots d'un an ou moins donnent environ 90%, ceux de 1 à 2 ans, 75%, et ceux de 2 à 3 ans, 70%. Depuis mai 2000, nous avons fixé le calendrier d'utilisation des pieds-mères à 2 années (10 bouturages) au lieu de 3 (15 bouturages). Le taux moyen d'enracinement devrait alors augmenter et atteindre les 80 à 85%.



Graphique n°3 : Comparaison de l'enracinement de boutures d'épinette noire en « bouturathèque », dans trois récipients de volumes différents. Les lettres identifient les traitements qui diffèrent significativement l'un de l'autre à un seuil de p = 0.05 (test HSD de Tukey suite à une analyse de variance). Les barres d'erreur indiquent l'erreur-type des échantillons

2.5 Acclimatation des boutures enracinées

Les boutures sont transférées vers les serres d'acclimatation après 8 semaines d'enracinement en « bouturathèque ». Les boutures sont graduellement acclimatées à des conditions « normales» de lumière et d'humidité (cf Photo n°10). Lors de cette période, qui s'échelonne sur 8 semaines, une fertilisation permet d'ajuster le niveau de fertilité du substrat à environ 200 ppm d'azote. C'est aussi lors de cette période, plus précisément, 12 semaines après le bouturage, que le dénombrement des boutures enracinées est effectué (cf Photo n°11). Si nécessaire, un « nettoyage » permet alors d'enlever les boutures non enracinées.

Photo n°10 : Boutures d'épinette noire en serre d'acclimatation après leur passage de 8 semaines en bouturathèque

Photo n°11 : Développement racinaire de boutures d'épinette noire 12 semaines après le bouturage

Le fait de bouturer à différents moments de l'année soulève des problématiques particulières, à cause des cycles saisonniers de croissance et de dormance chez les plantes ligneuses. Le repiquage des boutures à l'extérieur, suivant l'enracinement, se fait au printemps ou, à la rigueur, au début de l'été. Il faut alors qu'elles reprennent normalement leur croissance. Seul un passage au froid, sous la neige ou en chambre froide, permet de lever efficacement la dormance des bourgeons des épinettes. A la suite de ce traitement, les boutures reprennent leur croissance de façon synchrone et uniforme. Il ne faut pas oublier qu'elles proviennent de pieds-mères cultivés en continu, qui n'ont jamais connu l'hiver québécois… Ainsi donc, selon la date du bouturage, le régime d'acclimatation des boutures d'épinette noire les destine tantôt à terminer la saison à l'extérieur pour hiverner sous la neige, tantôt à être transférées immédiatement en chambre froide, une fois la dormance induite et leur acclimatation au froid complétée. En été, les boutures seront acheminées vers les aires de culture à l'extérieur. Leur culture s'y poursuit jusqu'au printemps suivant, c'est-à-dire au repiquage. En hiver, par contre, les boutures seront acclimatées en vue d'être entreposées en chambre froide (cf Tableau n°1).

Opération	***Bouturage d'été***	***Bouturage de printemps***
Bouturage	Août	Mars
Transfert en serre d'acclimatation	Octobre	Mai
Endurcissement progressif au froid	Décembre	-
Transfert en chambre froide	Janvier	-
Sortie vers les aires extérieures	Mai	Juillet (hiver passé à l'extérieur, sous la neige)
Repiquage	Mai	Mai

Tableau n°1 : Itinéraire type de deux lots de boutures d'épinette noire, dont le cycle commence à deux dates différentes

2.6 Repiquage en pépinière

Le repiquage à racines nues, en plein champ ou dans des récipients de fortes dimensions (350 cm^3), permet de cultiver les boutures sur 2 années pour qu'elles atteignent les normes des plants dits « de fortes dimensions » (cf Photos n°12, n°13 et n°14).

Photo n°12 : Lot de plants d'épinette noire cultivés en récipients prêts à être livrés aux reboisements après 2 années de croissance dans des aires de culture extérieures (B+2)

Photo n°13 : Plants d'épinette noire (B+2) à racines nues

Photo n°14 : Plants d'épinette noire issus de bouture à racines nues et en récipient, (B+2)

Les gabarits visés sont, notamment, une hauteur minimale de 40 cm pour les plants à racines nues, et de 35 cm pour les plants en récipients. La technique développée à Saint-Modeste pour le repiquage en récipients, à notre connaissance, est unique. L'opération se déroule à l'extérieur, sur le site même où les boutures complèteront leur croissance. On minimise ainsi la manutention des récipients. Les boutures sont extraites du récipient d'enracinement, secouées pour libérer les racines, et introduites dans la cavité de repiquage, grâce à une fourchette à fondue. Les racines trop longues sont coupées en donnant un coup sec avec la fourchette. On arrive ainsi à placer le système racinaire assez profondément dans le substrat, tout en minimisant les malformations.

3 Le bouturage du mélèze hybride

Depuis l'ouverture du Centre de bouturage de la Pépinière de Saint-Modeste, de faibles quantités de boutures de mélèzes hybrides ont été produites, principalement à des fins de recherche en amélioration génétique. Cette espèce s'enracine facilement dans les « bouturathèques », avec des succès comparables à ceux des épinettes. De même, les pieds-mères de mélèzes répondent bien au forçage continu en serre et au rabattage, atteignant ainsi des rendements intéressants en boutures. Cependant, à cause de la longueur et de la luxuriance de ses aiguilles, le mélèze prend beaucoup d'espace. Dans le récipient multipot 45-110, on ne peut placer qu'une bouture de mélèze par cavité, au lieu de trois pour les épinettes. En conditions similaires, les coûts de production en « bouturathèque » sont donc nettement plus élevés pour les mélèzes que pour les épinettes. Afin de répondre à la demande croissante pour cette espèce, nous avons décidé de mettre en place un second système d'enracinement pour le bouturage d'été du mélèze, sous « mist ». En 1998, parallèlement au démarrage, à la Direction de la Recherche Forestière, d'un projet de recherche dédié au bouturage du mélèze, de nouvelles installations ont été construites à la Pépinière de Saint-Modeste. Autant en recherche qu'en production, nous avons pu tirer profit de l'expérience acquise et progresser rapidement. Deux ans plus tard, la production de mélèzes hybrides atteint 900.000 boutures (pour environ 500.000 plants livrables). Nous prévoyons que cette quantité doublera graduellement pour atteindre 1.800.000 boutures, soit la quantité nécessaire pour assurer la production annuelle d'un minimum de 1.000.000 de plants livrables.

3.1 Culture des pieds-mères

A cause de la rareté des semences hybrides, la culture des pieds-mères de mélèze se doit d'optimiser leur rendement individuel en boutures. La première saison de croissance s'effectue dans des récipients de type multipot 45-110, placés en tunnel ou en serre de mai à octobre. Nous obtenons ainsi un semis d'environ 20 cm de hauteur. A partir de novembre, les semis sont entreposés en chambre froide à -2°C. À la fin février, nous les repiquons dans de grands bacs, par groupes de 11 pieds-mères par bac. Ils bénéficient alors d'un volume d'environ 17 litres de substrat (1.6 l chacun). Les bacs sont placés dans des serres chauffées (mais sans éclairage artificiel) et les pieds-mères amorcent leur croissance (cf Photo n°15). Dès lors, une première taille de formation est effectuée. La flèche terminale est coupée en dessous du bourgeon apical, favorisant ainsi le développement des branches latérales. La densité du feuillage et sa relative fragilité en période de croissance demandent une grande attention.

Photo n°15 : Pieds-mères de mélèze hybride cultivés en bacs

Une bonne ventilation et un suivi de l'irrigation sont nécessaires afin de prévenir le développement de moisissures. Un fertilisant soluble est appliqué 1 fois par semaine. La gestion de la fertilisation est relativement simple, la culture en bac du mélèze étant peu exigeante. Le volume important de substrat disponible assure une importante quantité de fertilisant. Une fertilité de base de 100 ppm d'azote, dans un substrat d'une densité de 0.09 g/cm^3, représente environ 12 mg d'azote par pied-mère.

Lors de la première récolte à la mi-mai, nous prélevons plus de 20 boutures par pied-mère. A la deuxième et à la troisième année de récolte, ce chiffre augmente jusqu'à 60-75 boutures par pied-mère. Après 3 récoltes, le rendement cumulatif sera donc de 140 à 170 boutures par pied-mère. La durée de vie utile d'un pied-mère est actuellement évaluée à au moins 4 ans (3 récoltes). Pour le mélèze, nous croyons que ce sera l'apparition des symptômes de plagiotropisme chez les boutures qui déterminera la limite de l'âge utile des pieds-mères, puisque plusieurs auteurs soulignent l'importance de ce problème (Cook et Frommer, 1969 ; Edson *et al.*, 1992 ; Edson *et al.*, 1996 ; Pellicer, 1997). Nous poursuivons donc des études à long terme sur le sujet, avec populations expérimentales.

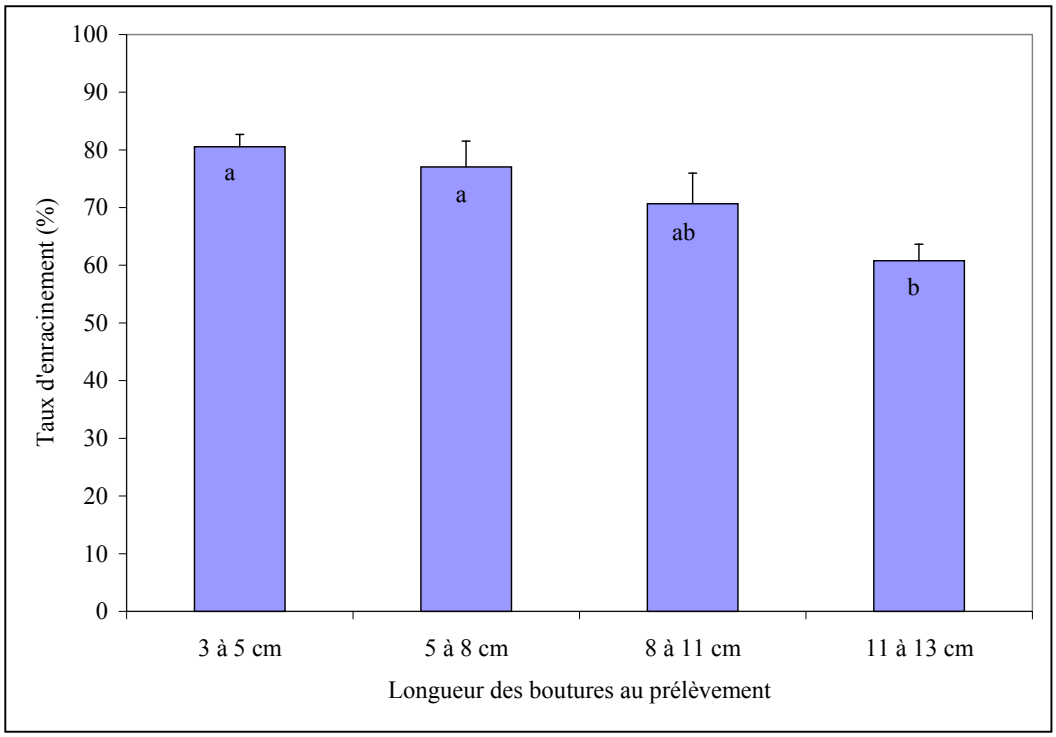
Au début juin, après le bouturage et une fois que les risques de gel au sol sont passés, les pieds-mères sont déplacés vers des aires de culture extérieures. A ce moment, il peut y avoir une 2ème récolte parmi les pousses qui n'étaient pas assez développées à la mi-mai. Au cours de la saison estivale, la fertilisation assure un minimum d'éléments nutritifs aux pieds-mères. Une taille de formation des pieds-mères est effectuée en septembre. Les pieds-mères de 2 ans sont rabattus et taillés à une hauteur d'environ 25 cm, et ceux de 3 ans, à environ 35 cm, en leur donnant une forme cylindrique. Parallèlement aux pieds-mères utilisés pour la production, des populations expérimentales sont suivies à long terme, afin de confirmer nos choix du récipient de culture et du régime de taille.

Les lots de pieds-mères de 2ème et 3ème année sont, eux aussi, entreposés en chambre froide de novembre à mars. Cette opération n'est nécessaire que pour faciliter l'accès aux lots, puisqu'ils pourraient facilement hiverner à l'extérieur. Mais comme à cette période de l'année il peut y avoir jusqu'à deux mètres de neige au sol… cela facilite le travail ! Par la suite, la culture en serre s'étend de mars à mai. L'approche est la même que pour les pieds-mères de première année.

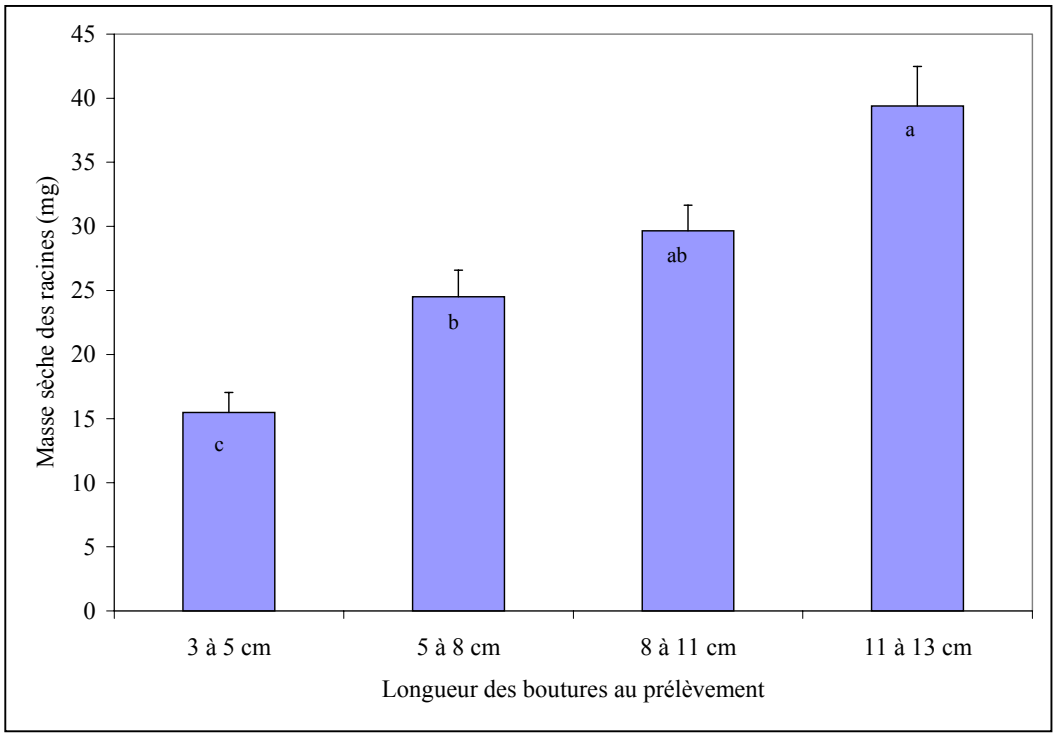
3.2 Récolte et préparation des boutures

Dès les premiers essais d'enracinement de mélèze hybride en serre, nous avons obtenu d'excellents résultats, en utilisant des boutures terminales, longues d'environ 5 à 7 cm, prélevées en fin d'élongation. A petite échelle, les taux d'enracinement dépassent souvent les 90%. Une série d'essais a démontré que, contrairement aux épinettes, le degré de lignification des boutures de mélèze avait peu d'impact sur le succès ou la qualité de leur enracinement. Nous avons également comparé l'enracinement de boutures terminales prélevées à différentes longueurs, pour constater que des boutures plus courtes (7 cm et moins) avaient un meilleur taux d'enracinement que des boutures plus longues (8 cm et plus) (cf Graphique n°4a). En contrepartie, la biomasse racinaire des boutures plus courtes était plus faible, après 12 semaines d'enracinement (cf Graphique n°4b). Cette étude se poursuit afin de comparer la croissance à plus long terme de ces boutures, dans le but de déterminer la longueur, à la récolte, qui permettrait d'atteindre le plus facilement les normes fixées pour les plants livrables. Nous serons alors en mesure de recommander un protocole pour optimiser les quantités de boutures à la récolte, de même que leur enracinement, et faciliter leur culture par la suite.

a)



b)

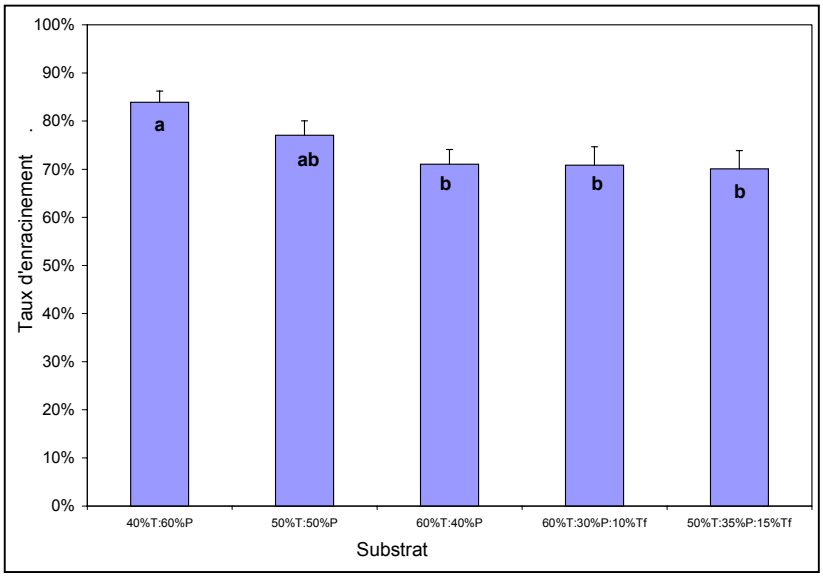


Graphique n°4 : Relation entre la longueur initiale des boutures de mélèze hybride et a) le pourcentage d'enracinement et b) la masse sèche moyenne des racines après 12 semaines d'enracinement sous brumisation. Les lettres identifient les traitements qui diffèrent significativement l'un de l'autre à un seuil de p = 0.05 (test HSD de Tukey suite à une analyse de variance). Les barres d'erreur indiquent l'erreur-type des échantillons

L'opération de prélèvement des boutures est très semblable à celle effectuée pour l'épinette noire (cf Photo n°16). Deux points majeurs diffèrent cependant : premièrement, nous ne disposons qu'une seule bouture par cavité dans le récipient multipot 45-110, à cause de la densité et de la longueur des aiguilles ; deuxièmement, la longueur des boutures terminales varie de 4 à 10 cm. Elles sont regroupées en 2 classes au moment du bouturage, soit de 4 à 7 cm et de 7 à 10 cm. Notre expérience avec les mélèzes en « bouturathèque » nous avait naturellement guidés vers le choix du récipient multipot 45-110 pour le bouturage du mélèze hybride. Tel qu'espéré, ce récipient a donné d'excellents résultats.

Photo n°16 : Prélèvement des boutures sur un lot de pieds-mères de mélèze hybride cultivés en bacs

Nous avons aussi réalisé plusieurs expériences afin d'identifier le meilleur substrat pour l'enracinement des boutures de mélèze hybride. D'après nos résultats, l'enracinement du mélèze semble moins influencé par le substrat que les épinettes. Pour le mélèze, des résultats très semblables ont été obtenus avec différents mélanges de tourbe, perlite et de vermiculite (cf Graphique n°5). De meilleurs résultats d'enracinement sont obtenus avec les substrats contenant 50% et plus de perlite. Pour l'instant, nous utilisons donc le même substrat pour les boutures de mélèze que pour les épinettes, soit un mélange de tourbe et de perlite.



Graphique n°5 : Effet du type de substrat sur l'enracinement de boutures de mélèze hybride, après 12 semaines. T = Tourbe; P = Perlite; Tf = « Turface » (montmorillonnite). Les lettres identifient les traitements qui diffèrent significativement l'un de l'autre à un seuil de p = 0.05 (test HSD de Tukey suite à une analyse de variance). Les barres d'erreur indiquent l'erreur-type des échantillons

En 2000, nous avons fait l'essai des mottes Jiffy®, composées principalement de tourbe, pour le bouturage du mélèze. Non seulement le mélèze s'enracine très bien dans ce type de substrat, mais il semble le faire plus rapidement, et nos premières expériences suggèrent qu'il améliore le nombre de racines par bouture. Le Jiffy® permettrait, grâce à des économies d'espace, d'augmenter sensiblement la capacité des enceintes d'enracinement, tout en facilitant les opérations de repiquage par la suite. Les résultats de 2000 ouvrent la porte à de nouveaux scénarios de production, puisqu'un enracinement suffisamment rapide permettrait le repiquage des boutures en août c'est-à-dire la même année que l'enracinement. Nous gagnerions alors une année complète dans le cycle de production des boutures de mélèze. En 2001, nous évaluerons l'effet du récipient d'enracinement sur la croissance à plus long terme des boutures de mélèze, après leur repiquage en pépinière. A court terme, c'est la moitié de la production qui pourrait être produite en Jiffy®. Les résultats de 2001 nous guideront dans la décision de produire la totalité du mélèze hybride avec ce type de motte dans l'avenir.

La longueur des pousses du mélèze nous permettrait, dans la grande majorité des cas, de prélever plus d'une bouture par tige. Par le passé, des essais infructueux nous avaient amenés à rejeter cette technique. Cependant, nous avons observé que la récolte des boutures intermédiaires, si elle est faite non pas immédiatement après, mais une semaine suivant la première coupe, donne des résultats très satisfaisants. En mai 2000, nous avons ainsi récupéré plus de 70.000 boutures de 2ème étage, qui se sont enracinées à 75%. Des recherches sont en cours pour approfondir cette question, et vérifier qu'il n'y a pas d'impact sur la croissance et la forme finale des plants une fois enracinés. En effet, la rectitude de la tige et la forme finale du plant pourraient conserver des séquelles de l'absence de bourgeon terminal sur la bouture (Pellicer, 1997). Ce procédé augmenterait significativement le rendement des pieds-mères.

3.3 Enracinement des boutures sous tunnel

Les boutures sont disposées dans des enceintes montées à l'intérieur de tunnels, elles-mêmes couvertes d'un film de plastique blanc laiteux réduisant l'ensoleillement de 50% (cf Photos n°17 et n°18). Chacune des enceintes peut contenir entre 150.000 et 230.000 boutures, selon le type de récipient utilisé. Elles sont constituées d'arceaux métalliques qui supportent un film de plastique clair, permettant une étanchéité complète. Lors de la mise en place des boutures et au cours des premières 72 heures suivant le bouturage, nous couvrons l'enceinte intérieure avec un film plastique opaque (blanc au-dessus et noir en-dessous). L'ombre créée par ce film (± 90%) permet de bouturer à l'extérieur même par temps chaud, tout en maintenant les boutures dans des conditions optimales pendant qu'elles s'adaptent à leurs « nouvelles conditions », ce qui élimine le flétrissement.

Nous avons évalué l'uniformité de l'application d'eau, de même que ses conséquences sur l'enracinement des boutures. Des mesures d'inventaire et des pesées répétées de récipients, pendant l'enracinement, ont été soumises à une analyse géostatistique. Nous avons quantifié d'importants effets d'assèchement de bordures et autres motifs de variation spatiale, dans les enceintes irriguées par des buses fixes. Suite à ces constats, les buses fixes ont été remplacées, en 2000, par un robot d'irrigation, permettant un meilleur contrôle de l'application d'eau. Nous avons développé un système de contrôle de l'arrosage et de maintien de l'humidité à partir d'appareils « Mist-a-Matic® » et de sondes de température et d'humidité de l'air, le tout géré par un système programmable de contrôle de marque Johnson®. Cette combinaison d'appareils permet une application de l'eau en tenant compte de plusieurs conditions environnementales telles que l'humidité de l'air, la température et la période du jour. Ce changement a beaucoup amélioré l'uniformité spatiale des conditions d'enracinement, ce qui s'est reflétée dans les résultats du bouturage de 2000.

Photo n°17 : Vue d'un enceinte d'enracinement sous tunnel (épinette blanche et mélèze hybride). L'humidité y est assurée par un robot d'arrosage équipé d'un "Mist-a-Matic®"

Photo n°18 : Autre vue d'un enceinte d'enracinement sous tunnel (épinette blanche et mélèze hybride

Au cours des 6 premières semaines d'enracinement, une application hebdomadaire de fongicide prévient les moisissures au niveau du feuillage. Nous n'utilisons pas d'hormones d'enracinement, mais l'application d'AIB sous forme de solution de sel de potassium (K-AIB) serait facilement réalisable, à peu de frais, par pulvérisation à l'aide du robot. Les récipients doivent être surélevés pour éviter l'ancrage des racines dans le sol par les trous de drainage des récipients. Après 10 à 12 semaines, au début ou à la mi-août, le film plastique de l'enceinte intérieure est retiré. On applique alors une fertilisation pour maintenir un niveau d'azote d'environ 100 ppm par cavité.

3.4 Repiquage en pépinière

Comme pour les épinettes, les mélèzes hybrides du Québec sont livrés au reboisement en tant que plants de fortes dimensions (PFD). Nous prévoyons que les boutures de mélèze nécessiteront deux années de culture supplémentaires après le repiquage pour atteindre la dimension désirée. Cependant, leur croissance rapide laisse croire que, dans certaines conditions du moins, ils pourraient être repiqués en août, tout de suite après leur période d'enracinement. Le gabarit des plants produits sera, à la sortie de la pépinière, de 40 à 80 cm, selon que le plant est livré un an et demi ou deux ans après l'enracinement. Puisque le premier repiquage de boutures de mélèze ne s'est fait qu'en 1999, nous aurons besoin d'encore quelques années pour faire des choix définitifs, en toute connaissance de cause. Plusieurs expériences sont en cours, afin d'évaluer la qualité des plants de mélèzes issus de boutures, en fonction des conditions initiales d'enracinement et du mode de culture après le repiquage. Des recherches ont aussi débuté afin d'optimiser l'irrigation et la fertilisation des mélèzes hybrides repiqués en pépinière, car même pour les semis de cette espèce, leur régime de culture n'est pas encore bien documenté au Québec. Ce projet permettra d'évaluer des plants de mélèze issus de boutures jusqu'à leur plantation en forêt.

Le vieillissement des pieds-mères de mélèze hybride influence la performance des boutures. Plus l'âge des pieds-mères avance, plus la reprise de la croissance des boutures, une fois enracinées, mène à des plants à tendance plagiotropique (Cook et Frommer 1969 ; Edson *et al.,* 1996 ; Ritchie *et al.*, 1997). La tige principale de la bouture arrive généralement à se redresser, mais accusera un certain retard de croissance. Ce problème classique de plagiotropisme nous préoccupe beaucoup. Le vieillissement des pieds-mères peut être ralenti, notamment en limitant leur dimension par un régime approprié de taille. Par ailleurs, nous avons aussi observé que, sur les boutures repiquées, les symptômes de plagiotropisme

semblaient amplifiés ou réduits, selon la densité de culture. En 2000, nous avons donc établi un dispositif qui nous permettra de comparer des boutures repiquées à des densités différentes. Leur croissance, le degré de plagiotropisme, ainsi que la vitesse de redressement des plants affectés, seront mesurés pendant deux ans. Nous espérons ainsi réduire l'apparition des symptômes de vieillissement chez les mélèzes reproduits par bouturage. Ainsi, la vie utile des pieds-mères sera prolongée, ce qui augmentera le facteur de multiplication des pieds-mères.

4 Le bouturage de l'épinette blanche et de l'épinette de Norvège

Contrairement aux pieds-mères d'épinette noire, très faciles à forcer en continu, ceux d'épinette blanche et d'épinette de Norvège ont une croissance très inconstante. Même dans des conditions idéales de forçage, il est très difficile de les maintenir en croissance continue. Lorsqu'ils sont soumis à des prélèvements de boutures et à des rabattages semblables à ceux de l'épinette noire, leur croissance s'arrête, souvent pendant plusieurs mois. Après de nombreux essais infructueux, nous avons donc abandonné l'idée de bouturer ces deux espèces plusieurs fois par année, et opté pour un calendrier de culture adapté à ces deux espèces. Les premières années, les pieds-mères d'épinette blanche et de Norvège étaient rentrés en serre chauffée au cours de l'hiver, pour une seule récolte de boutures, au printemps. Toutefois, cette opération supposait une gestion assez complexe des populations, puisque les productions de boutures d'épinette noire devaient temporairement faire place à celles d'épinette blanche et de Norvège. Il s'est avéré très difficile d'harmoniser les deux calendriers, pour n'avoir ni des surplus de boutures d'épinette noire à jeter, ni des « bouturathèques » partiellement vides pendant plusieurs semaines. La production d'épinette blanche et d'épinette de Norvège avait alors des répercussions indésirables sur la production totale du Centre de bouturage.

Les pieds-mères d'épinette blanche et d'épinette de Norvège sont maintenant cultivés en bacs, où ils peuvent atteindre une taille impressionnante et des rendements élevés en boutures (cf Photos n°19 et n°20). La différence majeure par rapport à la culture des pieds-mères de mélèze réside dans le fait que leur culture, hormis une première saison sous tunnel non chauffé, se déroule toujours à l'extérieur. Ils passent donc l'hiver sous la neige. Avec cet arrangement, nous avons éliminé les conflits de calendrier et d'espace entre les différents types de production. Nous récoltons les boutures sur 3 années. Les récoltes donnent un rendement d'environ 20 à 25 boutures par pied-mère, la première année, puis 50 à 60 boutures, les années suivantes. La bouture de la flèche terminale n'est jamais prélevée et aucune taille n'est effectuée, de telle sorte qu'après le 3ème bouturage, les pieds-mères atteignent une hauteur moyenne de 150 cm. Ces plants génétiquement améliorés sont récupérés et utilisés pour le reboisement.

La période de bouturage s'échelonne sur les 3 dernières semaines de juin. L'opération se déroule sous tunnel. L'utilisation du récipient multipot 45-110 permet de disposer, tout comme pour l'épinette noire, 3 boutures par cavité. Durant la période d'enracinement de juillet, août et septembre, nous utilisons exactement la même approche de culture que pour le mélèze sous enceinte. Les boutures enracinées sont toutes repiquées l'année suivante, pour 2 années supplémentaires de culture en pépinière (en récipients ou à racines nues). La dimension des plants livrables correspond aux gabarits des plants dits « de forte dimension », soit des hauteurs de 35 à 40 cm et plus.

Des essais suggèrent que, comme pour les mélèzes, la motte Jiffy® donne des taux d'enracinement légèrement supérieurs et une vitesse d'apparition des racines plus rapide que les récipients conventionnels. Dès 2001, nous prévoyons de bouturer 50% des boutures d'épinette blanche et d'épinette de Norvège dans les mottes Jiffy®. Cette proportion pourrait augmenter, selon les succès obtenus. La facilité de manutention au moment de leur repiquage des boutures enracinées dans ces mottes, ainsi qu'une éventuelle mécanisation de ce travail, nous amènent à examiner sérieusement ce mode de production.

Photo n°19 : Pieds-mères d'épinette blanche cultivés en bacs 2ème année sous tunnel

Photo n°20 : Pieds-mères d'épinette blanche cultivés en bacs 3ème année à l'extérieur. On y récolte en moyenne 50 boutures par pied-mère

5 Conclusion

La production de plants par bouturage à la pépinière forestière de Saint-Modeste est en pleine expansion. La rapide augmentation de la production de plants de reboisement issus de boutures est le fruit d'un lien étroit entre nos recherches, à petite et à grande échelle, et les opérations en pépinière. Selon nous, les clés de la réussite sont la capacité de se remettre en question pour tenir compte des particularités de chaque espèce, ainsi que des contextes de l'heure. Nous tentons de créer et d'adapter des méthodes permettant une production à grande échelle et à des coûts acceptables. La demande qui augmente sans cesse pour ces produits, de même que la recherche de méthodes simples et adaptées à nos équipements existants, nous guident dans ce sens. En développant plusieurs outils complémentaires, on dispose des moyens pour faire face à de nombreuses éventualités. De plus, en cumulant les expertises, il devient facile de tirer profit des expériences passées pour résoudre les problèmes du jour.

Il reste encore beaucoup à faire pour parfaire les systèmes d'enracinement actuels. Nous consacrerons aussi des recherches au perfectionnement de la culture en pépinière des boutures enracinées. Parallèlement, nous explorons la possibilité d'ajouter de nouvelles espèces aux productions actuelles. Parmi celles-ci, il pourrait y avoir le pin gris (*Pinus banksiana*), pour lequel un programme d'amélioration génétique de deuxième génération débute, ainsi que l'érable à sucre (*Acer saccharum*), pour lequel la multiplication végétative servirait à reproduire une variété à sève plus sucrée, pour le bénéfice des producteurs de sirop d'érable. Le bouturage fait dorénavant partie des outils indispensables de production à grande échelle de la « crème de la crème » des programmes québécois d'amélioration génétique. Qui sait jusqu'où il nous mènera ?

Remerciements

Sans son concepteur, Dr Gilles Vallée, le système « Bouturathèque » n'existerait pas. Nous tenons aussi à souligner les travaux de Michel Campagna et de Pierre Périnet dans la conception et les travaux de première heure sur le système « Bouturathèque », pendant les premières années de développement du système. Nous remercions sincèrement : Patrick Lemay, Michel Houle et Louis Blais de la Direction de la

Recherche Forestière, pour leur collaboration dans la réalisation et l'analyse statistique des expériences ; nos collaborateurs de la Direction de la production des semences et des plants de Forêt Québec ; Alain Bonneau, chef de la pépinière de Saint-Modeste, ainsi que l'équipe technique et l'équipe de production de la pépinière, particulièrement Luc Jolicoeur, Corinne Rioux, Claude Bérubé, René Chouinard, Jean-Yves Guay, Louise Roy, Pascal Ouellet et Régent Martin, pour leur collaboration exemplaire et leur dévouement.

Bibliographie

Armson K.A., Fung M., Bunting W.R., 1980, Operational rooting of black spruce cuttings, *Journal of Forestry*, 78, 341-343

Cook D.B., Frommer C.H., 1969, Rooting softwood cuttings of larch, *Proceedings of the sixteenth Northeastern forest tree improvement conference,* 6-8

Edson J. L., Wenny D.L., Fins L., 1992, Vegetative propagation of western larch, in : Whitefish MT, *Symposium on ecology and management of Larix forests : a look ahead.*, 5 au 9 octobre 1992, USDA Forest Service, Intermountain Research Station, General technical report (GTR-INT-319), 197-203

Edson J.L., Wenny D.L., Fins L., Roberts L.W., 1996, Growth and form of western larch stecklings : plagiotropism and reiteration, *Canadian Journal of Forestry Research*, 26, 1273-1283

Girouard R.M., 1974, Propagation of spruce by stem cuttings, *New Zealand Journal of Forest Science*, 4(2), 140-149

Jacques D., Nanson A., 1989, *Essais de bouturage du mélèze hybride en Belgique*, Ministère de l'Agriculture, Station de recherches forestières et hydrobiologiques, 51 p

Kleinschmidt J., 1974, Use of vegetative propagation for plantation establishment and genetic improvement : a programme for large-scale cutting propagation of Norway spruce, *New Zealand Journal of Forest Science*, 4(2), 359-366

Mason W.L., 1989, Vegetative propagation of hybrid larch (*Larix x eurolepis* Henry) using winter cuttings, *Forestry,* 62 (suppl.), 189-198

Monchaux P., 1989, Les variétés polyclonales d'épicea commun de l'AFOCEL, *Informations-Forêt,* 3 (370), 155-170

Pellicer V., 1997, *Étude de l'influence de facteurs environnementaux et physiologiques sur l'aptitude à l'enracinement de boutures de mélèze hybride (Larix x eurolepis Henry)*, Thèse de doctorat, Université d'Angers, U.F.R. Faculté des Sciences, 143 p

Phillion B.J., 1983, Large-scale production of black spruce cuttings for progeny tests, *Proceedings of the International Plant Propagators Society,* 32, 619-635

Ritchie G.A., 1991, The commercial use of rooted cuttings in forestry : a world overview, *New Forests,* 4, 247-275

Ritchie G.A., Keeley J.W., Ward. P.A., 1997, Effects of shade and root confinement on the expression of plagiotropic growth in juvenile-origin Douglas fir rooted cuttings, *Canadian Journal of Forestry,* 27, 1142-1145

Russell J., Ferguson C., 1990, *Production of genetically improved stecklings of interior spruce : a grower's manual*, British Columbia, FRDA Report, 110, 15 p

Tousignant D., 1995, *Relation entre la teneur en eau des boutures d'épinette noire et leur enracinement en bouturathèque*, Ministère des Ressources Naturelles, Direction de la Recherche Forestière, Note de recherche forestière n°66, 7 p

Tousignant D., Périnet P., Rioux M., 1996, *Le bouturage de l'épinette noire à la pépinière de Saint-Modeste*, Québec, Ministère des Ressources Naturelles, 38 p

Tousignant D., Rioux M., 1996, *Choosing the best container size and rooting substrate for bulk propagation of black spruce [Picea mariana (Mill.) B.S.P.] cuttings*, Sainte-Foy (Québec), 14th North American Forest Biology Workshop, 16-20 Juin 1996, 39 p

Vallée G., Noreau R., 1990, *La « bouturathèque » : système de bouturage compact hors serre*, Direction de la Recherche, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Note de recherche forestière n°41, 6 p

Verger M., Pâques L.E., 1993, Multiplication végétative du mélèze hybride (*Larix x eurolepis* Henry) par bouturage en vrac, *Annales des Sciences forestières*, 50, 205-215