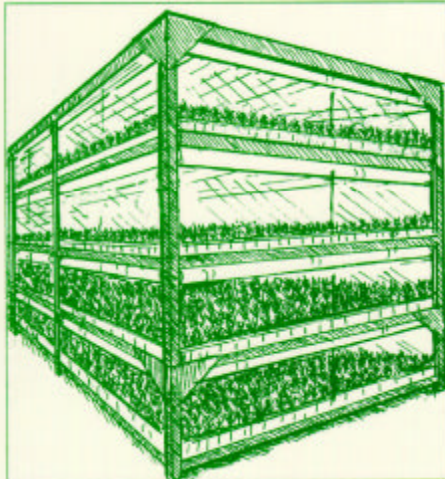

LE BOUTURAGE DE L'ÉPINETTE NOIRE À LA PÉPINIÈRE DE SAINT-MODESTE

Denise Tousignant
Pierre Périnet
Michel Rioux



LE BOUTURAGE DE L'ÉPINETTE NOIRE À LA PÉPINIÈRE DE SAINT-MODESTE

Denise Tousignant, biologiste, M.Sc.¹

Pierre Périnet, ingénieur forestier, M.Sc.²

Michel Rioux, technicien forestier¹

Notes de la page-titre :

1. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles,
Pépinière de Saint-Modeste,
410, rue Principale, Saint-Modeste (Québec, Canada), G0L 3W0
Téléphone : (418) 862-5511 Télécopieur : (418) 862-0564
2. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles,
Service de l'amélioration des arbres,
2700, rue Einstein, Sainte-Foy (Québec, Canada), G1P 3W8
Téléphone : (418) 643-7994 Télécopieur : (418) 643-2165

© Gouvernement du Québec, 1996
Dépôt Légal : 1^{er} trimestre 1996
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN-2-550-25581-X

Code de diffusion : RN96-3004

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier tous les employés du ministère des Ressources naturelles qui ont contribué à la réalisation de ce document et, particulièrement, messieurs Stéphan Mercier, Gilles Vallée et Michel Villeneuve, du Service de l'amélioration des arbres, ainsi que messieurs Jean-Yves Guay, Régent Martin et Paul Miville, de la Pépinière de Saint-Modeste.

Ils remercient également madame Réjeanne Bissonnette, qui a assuré la révision linguistique du texte, madame Andrée Gagné, qui a coordonné la publication du document, de même que madame Johanne Gagnon, pour la conception graphique de la page couverture.

RÉSUMÉ

Le Centre de bouturage de Saint-Modeste réalise un projet pilote en vue d'industrialiser le système Bouturathèque utilisé pour la multiplication végétative de l'épinette noire. Ce système est basé sur la culture continue de jeunes pieds-mères en serre et sur l'enracinement des boutures dans des conditions artificielles. Le bouturage permet de multiplier les plants cultivés dans le cadre des programmes d'amélioration génétique. On produit chaque année deux millions de boutures d'épinette noire à partir desquelles on cultive des plants de fortes dimensions destinés au reboisement.

Dans ce document, on explique toutes les étapes de production, depuis l'ensemencement des pieds-mères jusqu'au repiquage des boutures et à leur culture, à racines nues ou dans des récipients. De plus, un chapitre est consacré à l'organisation du travail de bouturage. On traite aussi des facteurs qui déterminent le succès de chaque étape de culture et l'on identifie les avenues à explorer pour améliorer les performances.

ABSTRACT

The Saint-Modeste Forest Nursery has set up a pilot project to industrialize the Bouturathèque system used for the vegetative propagation of genetically improved black spruce. The system is based on the continuous culture of young stock plants in greenhouses and on the rooting of the cuttings under artificial conditions. The center produces two million black spruce stecklings annually, which are delivered as large-sized plants for reforestation.

In this document, we explain the various steps of steckling production, from stock plant sowing to cutting transplantation and bareroot and/or container cultivation. One chapter describes the organization of the propagation work. The key factors in the success of each step are also discussed and possible ways to improve production techniques are explored.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ILLUSTRATIONS	x
INTRODUCTION	1
1 ORIGINE DES VARIÉTÉS	2
2 APERÇU DU SYSTÈME.....	3
3 CULTURE DES PIEDS-MÈRES	5
3.1 Les techniques culturales	5
3.1.1 L'ensemencement et les conditions de culture.....	5
3.1.2 La taille.....	5
3.1.3 L'arrosage	6
3.1.4 La répression des insectes et des maladies	7
3.1.5 Les types de récipients.....	7
3.1.6 La fertilisation	8
3.2 Le prélèvement des boutures.....	8
3.2.1 La longueur.....	8
3.2.2 La lignification	9
3.3 Le rendement en boutures	10
4 MÉTHODOLOGIE DU BOUTURAGE	14
4.1 Les étapes précédant le bouturage.....	14
4.1.1 La prise de données	14
4.1.2 La préparation des pieds-mères	14
4.1.3 Le montage des mini-serres.....	14
4.1.4 Le remplissage des récipients	14
4.2 Le prélèvement des boutures.....	15
4.3 L'organisation du travail.....	15
4.3.1 La description des tâches.....	15
4.3.2 Les rendements.....	16
4.4 La gestion des lots de pieds-mères.....	16

5	PHASE D'ENRACINEMENT DANS LA BOUTURATHÈQUE	17
5.1	La description de la bouturathèque de Saint-Modeste	17
5.2	Les conditions ambiantes dans les mini-serres	17
5.2.1	La lumière et la température	18
5.2.2	L'humidité relative	18
5.3	Les récipients et les substrats	19
5.4	Le traitement des boutures	20
5.4.1	La plantation	20
5.4.2	Le traitement à l'AIB	20
5.4.3	L'arrosage, la fertilisation et le contrôle phytosanitaire	21
5.5	L'enracinement	21
6	PRODUCTION DE PLANTS ISSUS DE BOUTURES	23
6.1	La période d'acclimatation	23
6.2	L'entreposage dans les chambres froides	24
6.3	Le repiquage	24
6.4	La croissance en pépinière	25
	CONCLUSION	28
	GLOSSAIRE	30
	BIBLIOGRAPHIE	32

LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figures

1	Représentation schématique du système de production de plants issus de boutures à la Pépinière de Saint-Modeste	4
2	Technique de taille des pieds-mères	6
3	Comparaison du rendement des pieds-mères, calculé par individu et par surface de serre, après environ deux ans de culture	7
4	Augmentation de la lignification des boutures avant leur récolte sur le pied-mère	9
5	Relation entre le degré de lignification des boutures à la récolte et la répartition de leur masse entre tige et racines	9
6	Variation saisonnière du rendement d'un lot de pieds-mères cultivés en récipients 25-200, pendant la première année de récolte	10
7	Effet d'un traitement de 9 jours courts et de la période d'attente avant le bouturage sur le pourcentage d'enracinement de boutures d'épinette noire et leur production de racines	10
8	Schéma de l'organisation du travail pour le bouturage de l'épinette noire.....	15
9	Augmentation de l'enracinement de boutures d'épinette noire avec l'ajout de perlite dans le substrat	19
10	Comparaison du pourcentage d'enracinement moyen de boutures d'épinette noire dans le récipient 67-50 et 126-25, pour trois bouturages opérationnels consécutifs.....	20
11	Effet de différentes concentrations d'AIB sur le pourcentage d'enracinement et le nombre de racines de boutures d'épinette noire.....	21

Planches

1	Production et enracinement des boutures	13
2	Production de plants de fortes dimensions à partir de boutures	27

Tableau

1	Exemple de rendement d'un lot de pieds-mères.....	11
---	---	----

INTRODUCTION

En 1989, le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER), aujourd'hui appelé ministère des Ressources naturelles (MRN), inaugurerait le Centre de bouturage de Saint-Modeste, établissement voué à la production de plants résineux issus des programmes d'amélioration génétique des arbres forestiers. À cette époque, près de 48 % des plants mis en terre dans le cadre du programme québécois de reboisement étaient des épinettes noires. Chaque année, les responsables du centre devaient produire 1 million de plants génétiquement améliorés. Depuis, la production annuelle a grimpé à 2,25 millions de plants.

À l'heure actuelle, le MRN favorise de plus en plus le recours à des **plants de fortes dimensions (PFD)**¹ et à du matériel génétiquement amélioré. Dans le cas de l'épinette noire, la stratégie d'amélioration repose sur des **croisements dirigés** et des **tests de descendance** qui permettent d'évaluer les **familles**. Les croisements dirigés sont coûteux et, pour l'instant, ils ne donnent pas suffisamment de graines pour combler les besoins. On fait donc appel au **bouturage** pour la **multiplication végétative** massive de **variétés multifamiliales**.

¹ Les mots en caractères gras sont définis dans le Glossaire à la fin du document.

Au cours des années 1980, un nouveau système expérimental de bouturage a été mis au point par le Service de l'amélioration des arbres de la Direction de la recherche forestière du Ministère (Vallée et Noreau, 1990). Ce système, baptisé « **Bouturathèque** », repose sur une méthode de bouturage originale, qui se distingue des techniques traditionnelles par le mode d'approvisionnement en **boutures** et les conditions d'enracinement créées. Comme ce système peut être automatisé et exploité à longueur d'année, les infrastructures requises sont vite rentabilisées. En 1989, on lançait un projet pilote en vue d'industrialiser le système Bouturathèque de la pépinière de Saint-Modeste.

Les objectifs de production actuels du centre de bouturage sont de deux millions de plants d'épinette noire (*Picea mariana*), 200 000 plants d'épinette blanche (*Picea glauca*) et 50 000 plants d'épinette de Norvège (*Picea abies*). Le centre produit également les boutures requises pour effectuer des tests de descendance qui s'inscrivent dans le cadre des programmes d'amélioration génétique des épinettes et du mélèze hybride (*Larix x eurolepis*).

Ce document est consacré à la technique de bouturage de l'épinette noire. On y trouvera une synthèse des résultats obtenus à l'échelle expérimentale et opérationnelle.

1 ORIGINE DES VARIÉTÉS

La multiplication végétative que l'on pratiquait au cours des années 50 et 60, dans le cadre des programmes d'amélioration des arbres, se faisait surtout par clonage, technique qui permet de maximiser les **gains génétiques**. Cependant, ce mode de reproduction comporte plusieurs difficultés qui le rendirent impopulaire, et l'on se tourna alors vers la **multiplication de masse** ou en vrac, qui ne permet pas d'obtenir des gains génétiques aussi importants, car on n'y exploite pas la variation génétique intrafamiliale, mais grâce à laquelle on peut facilement reproduire des variétés multifamiliales (Bentzer, 1993). C'est donc ce dernier mode de reproduction que l'on a retenu au Québec, dans le cadre du programme d'amélioration génétique de l'épinette noire mis sur pied au début des années 70. Au cours des années 80, on a lancé, un peu partout dans le monde, plusieurs programmes de bouturage pour la multiplication de masse de conifères (Ritchie, 1991, 1994).

Au Québec, en vue de réaliser des croisements dirigés, on commença, à cette même époque, à sélectionner les meilleures épinettes noires issues des **tests de provenances** établis en 1974-1975, dans le cadre d'un programme pan-canadien (Gagnon *et al.*, 1993, Gagnon et

Villeneuve, 1994). Les familles ainsi obtenues sont depuis regroupées pour former des variétés, et elles sont évaluées dans des tests de descendances établis simultanément dans des pépi-nières et sur des sites forestiers. À la lumière des résultats obtenus dans ces tests, on peut éliminer les familles les moins performantes. Par ailleurs, on s'efforce d'améliorer la qualité génétique des variétés en introduisant de nouveaux parents dans les croisements. On évalue présentement les gains supplémentaires que l'on pourrait obtenir avec des **clones** de même que la possibilité de produire des clones par **embryogenèse somatique**. Cette stratégie est conforme aux principes de l'amélioration génétique, qui préconisent des cycles répétés de sélection, de croisement et de testage.

Le bouturage de l'épinette noire est également pratiqué en Ontario, en Nouvelle-Écosse et au Nouveau-Brunswick. Le programme ontarien vise la multiplication de **variétés multiclonales** par le **bouturage en cascade** et celui de la Nouvelle-Écosse, à combler le manque de graines améliorées lors des mauvaises années semencières.

2 APERÇU DU SYSTÈME

La production de plants issus de boutures comporte plusieurs étapes qui sont sommairement décrites à la figure 1. Dans le cas de l'épinette noire, les **pieds-mères** sont d'abord cultivés intensivement en serre, pendant environ trois ans (Figure 1A), dans des conditions de **forçage** continu. On les taille radicalement, de manière à leur donner une forme basse et buissonneuse, qui maximise la production de boutures. Ces dernières, qui mesurent de 5 cm à 7 cm de longueur, sont prélevées au **stade semi-lignifié**, toutes les huit à dix semaines. Elles sont plantées dans des récipients comportant des cavités de 25 cm³ ou 50 cm³ (Figure 1B). Pendant la période d'enracinement, qui dure huit semaines, les boutures sont enfermées dans des **mini-serres** où l'humidité relative est élevée, l'éclairage artificiel peu intense et la température soigneusement contrôlée. Une fois enracinées, les boutures sont acclimatées dans des serres (Figure 1C), puis, selon la saison, elles sont transférées à l'extérieur ou entreposées dans des chambres froides (Figure 1D). Au printemps, on les repique pour la culture à racines nues ou en récipients (Figure 1E), en vue d'obtenir des plants de fortes dimensions (PFD). Deux années plus tard, les plants sont livrés pour le reboisement des aires forestières.

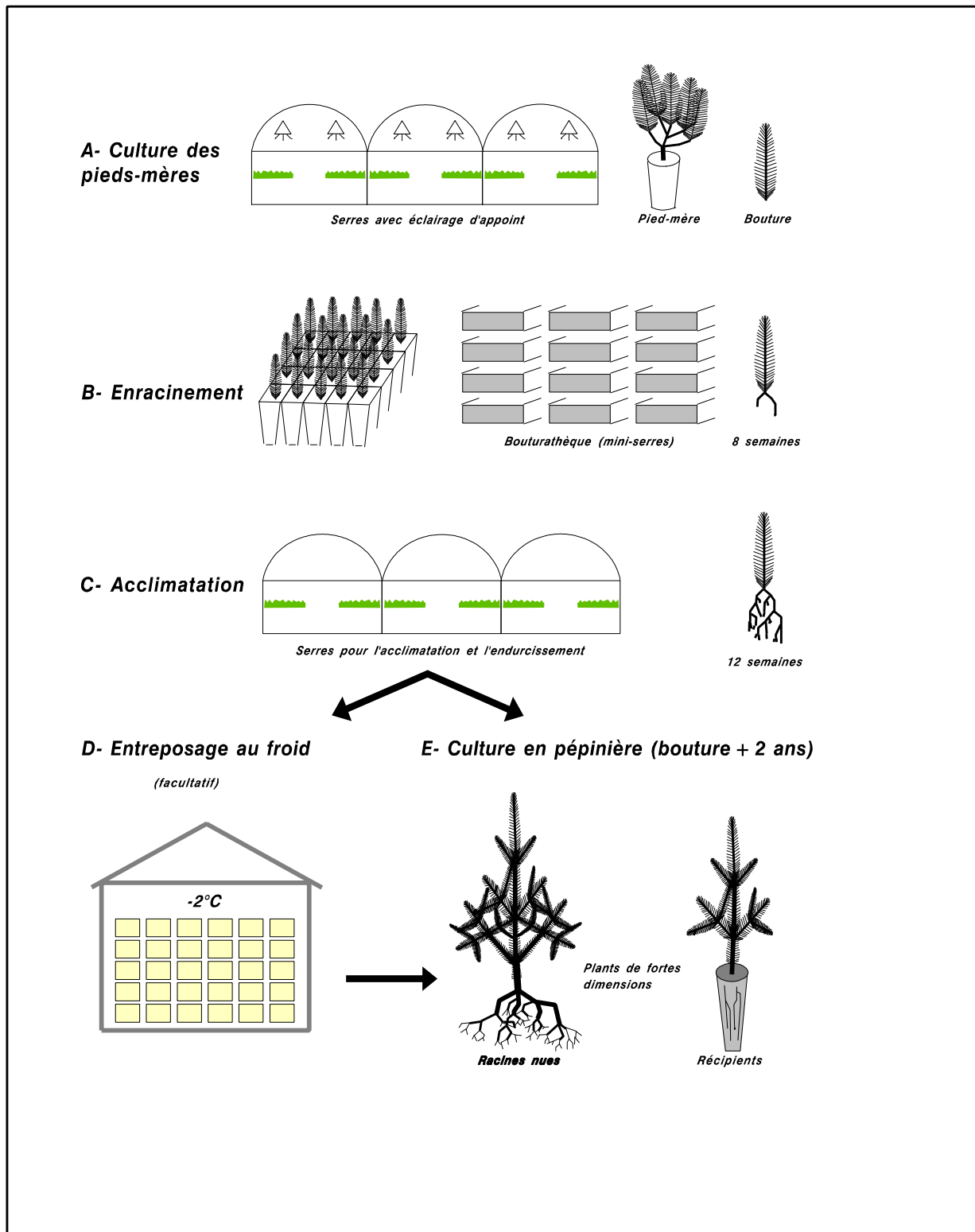


Figure 1. Représentation schématique du système de production de plants issus de boutures à la Pépinière de Saint-Modeste.

3 CULTURE DES PIEDS-MÈRES

Les pieds-mères d'épinette noire sont cultivés intensivement en serre, dans des conditions de forçage que l'on maintient à longueur d'année. Ils sont généralement placés dans des récipients comportant 25 cavités de 200 cm³. Des rabattages réguliers leur donnent une forme basse et buissonneuse qui maximise la production de boutures.

Dès que les pieds-mères ont quatre ou cinq mois, on y prélève périodiquement, tous les deux mois environ, de jeunes boutures herbacées (stade semi-lignifié) de 5 cm à 7 cm de longueur. Après trois ans, les pieds-mères sont transplantés dans des haies de multiplication, à l'extérieur, et ils continuent de donner des récoltes estivales de boutures pendant quelques années.

Le système de culture des pieds-mères d'épinette noire mis au point à Saint-Modeste est unique. Il se distingue surtout par la culture forcée en serre et par le prélèvement périodique de jeunes boutures semi-lignifiées, qui se poursuit pendant trois ans.

3.1 Les techniques culturales

3.1.1 L'ensemencement et les conditions de culture

Les graines utilisées pour cultiver les pieds-mères sont peu abondantes et généralement coûteuses, car elles résultent de croisements dirigés. On ne peut donc pas en vérifier le pourcentage de germination avant l'ensemencement. Cette dernière opération se fait à la main : on dépose chaque graine dans une cavité remplie d'un mélange renfermant 80 % de tourbe et 20 % de vermiculite, puis on la recouvre de silice. Après la germination, on peut regrouper les semis afin de maximiser l'utilisation des récipients et des serres. Les lots et les familles sont soigneusement identifiés et suivis dans des tests de descendance.

Pour favoriser à la fois la croissance végétative des pieds-mères et l'enracinement des boutures, on doit maintenir dans les serres des conditions de forçage déterminées (Sy *et al.*, 1995a, 1995b). La température est réglée à 23 °C le jour et 19 °C la nuit, et un éclairage d'appoint

de 8 000 lux ($140 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) s'allume automatiquement dès que la lumière naturelle baisse en deçà d'un seuil minimal (photo 1, page 13). Cet éclairage est fourni par les mêmes lampes au sodium haute pression qui assurent aux pieds-mères une photopériode de 18 heures pendant toute l'année.

3.1.2 La taille

Comme nous le mentionnions précédemment, on taille les pieds-mères d'épinette noire pour leur donner un port buissonneux et bas et favoriser ainsi une production maximale de boutures (photo 2, page 13). Lorsqu'ils atteignent une hauteur moyenne de 8 cm (Figure 2a), les semis sont donc pincés à 5 cm pour permettre au tronc de se ramifier près de la base. Dès la première récolte, qui a lieu environ 14 semaines après l'ensemencement, on peut généralement prélever de trois à cinq boutures de 5 cm à 7 cm par pied-mère. Les **rabattages** subséquents maximisent la ramification et la production de boutures, non seulement en serre, mais aussi plus tard, dans les **haies de multiplication**. Ils

maintiennent également les pieds-mères à un stade juvénile pendant une plus longue période, ce qui favorise un taux d'enracinement élevé de même que la croissance **orthotrope** (verticale) et la vigueur des boutures.

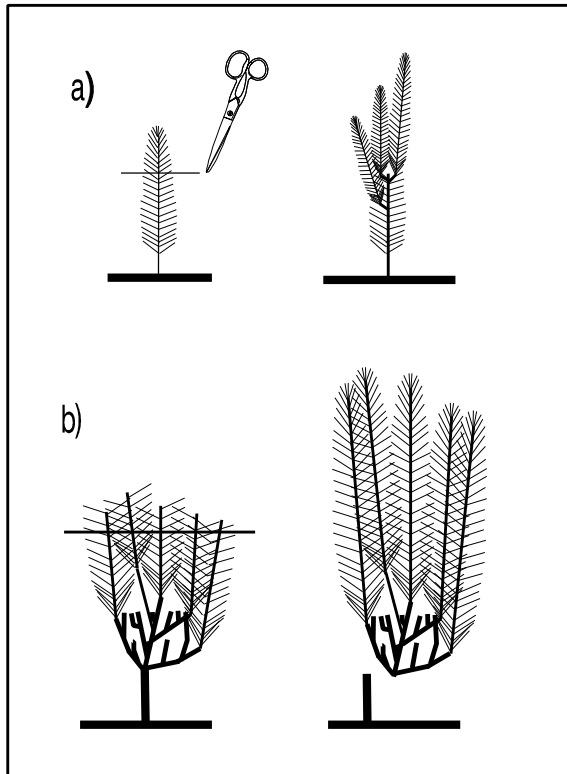


Figure 2. *Technique de taille des pieds-mères. a) pinçage initial et son résultat ; b) apparence du pied-mère après plusieurs rabattages systématiques.*

Après chaque prélèvement de boutures, les pieds-mères sont systématiquement rabattus à une hauteur prédéterminée. Après la première récolte, on les coupe à 5 cm, mais, au cours des trois années suivantes, on en vient progressivement à les rabattre à 10 cm ou 12 cm (Figure 2b). On a déjà expérimenté un autre mode de taille, mais on a constaté que le rabattage systématique est préférable, même s'il réduit légèrement la productivité totale des

pieds-mères, car lui seul permet de les maintenir en croissance toute l'année.

3.1.3 L'arrosage

Dans l'intervalle qui sépare deux récoltes de boutures, l'activité et la croissance des pieds-mères varient de façon cyclique, ce qui se répercute sur leurs besoins d'eau. Après un rabattage, leur demande est faible, mais, dès qu'ils recommencent à croître, il leur en faut de plus en plus. Enfin, dans les jours qui précèdent un prélèvement de boutures, les pieds-mères sont en croissance exponentielle et leur besoin d'eau est maximal. Le feuillage luxuriant des jeunes pousses les rend très sensibles au stress hydrique, cause de flétrissement. Des arrosages aussi fréquents qu'abondants sont donc nécessaires, mais il faut éviter les excès, car un surplus d'eau peut ralentir la croissance des plants et même les asphyxier. En fait, il est préférable d'attendre que le substrat soit légèrement asséché avant d'arroser. Pour ce faire, on a généralement recours à un robot mobile qui déplace, au-dessus des semis, des rampes d'arrosage dont les jets peuvent être ajustés selon les besoins.

Peser les récipients demeure la façon la plus précise d'évaluer la quantité d'eau dont les plants disposent dans le substrat et de déterminer leurs besoins d'arrosage. Des normes ont été établies en fonction des caractéristiques des lots de pieds-mères (types de récipients et de substrat utilisés, masse moyenne des pieds-mères, etc.). L'arrosage doit être soigneusement contrôlé si l'on veut maintenir la masse des récipients dans les limites acceptables. Plusieurs facteurs doivent être considérés : le taux de croissance des pieds-mères, la grosseur des cavités, les conditions environnementales, etc. Avec l'expérience, les employés parviennent pourtant à évaluer les besoins d'eau des plants sans effectuer de pesées systématiques. Soulignons

que le taux de dessèchement n'est pas uniforme dans une serre donnée, et que certains secteurs doivent être arrosés plus fréquemment, comme ceux situés en bordure des allées ou au-dessus des tuyaux de chauffage, par exemple.

3.1.4 La répression des insectes et des maladies

La gestion intégrée permet de prévenir les maladies susceptibles d'affecter les pieds-mères et, notamment, les infections fongiques, comme la moisissure grise (*Botrytis cinerea*). Ainsi, on évite les arrosages excessifs, à la suite desquels le feuillage demeure mouillé pendant de longues périodes, et, lorsque le feuillage est trop dense, on élague les pieds-mères pour en améliorer l'aération. De plus, on examine les plants régulièrement pour détecter les problèmes le plus tôt possible, et l'on met certaines mesures en œuvre afin de réduire les risques de contamination (désinfection et nettoyage réguliers des serres, ventilation adéquate, etc.). Enfin, on applique une solution fongicide avant chaque bouturage.

Les pieds-mères cultivés en serre sont surtout aux prises avec des pucerons, mais ils sont parfois attaqués par des acariens introduits avec du matériel végétal apporté d'ailleurs. Dès qu'on détecte la présence de ces ravageurs, on applique un insecticide ou un acaricide approprié dans les secteurs atteints. On voit souvent des sciarides dans les serres, mais ces insectes posent rarement un risque sérieux.

3.1.5 Les types de récipients

On a testé plusieurs types de récipients en vue d'optimiser le facteur de multiplication des pieds-mères (nombre de boutures obtenues par pied-mère et par unité de surface de serre) : récipients de plastique comportant 25 cavités de 200 cm³ chacune (25-200), pots de plastique de 4 po de

diamètre et bacs de 23 l pouvant accueillir 50 pieds-mères (Figure 3). Nous avons constaté que les pots maximisent le rendement individuel des pieds-mères et les récipients 25-200, la productivité par unité de surface. Avec les bacs, on obtient des rendements intermédiaires des deux points de vue. Le principe est simple : quand on fait appel à des récipients de grand format, les dimensions des pieds-mères augmentent, mais leur nombre à l'unité de surface diminue.

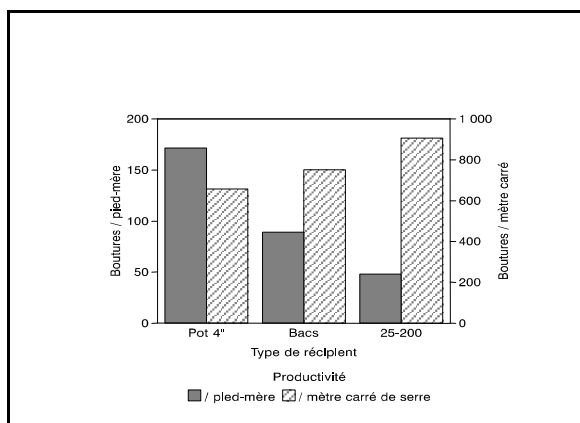


Figure 3. Comparaison du rendement des pieds-mères, calculé par individu et par surface de serre, après environ deux ans de culture.

Or, nous cherchons présentement à produire le plus de boutures possible dans l'espace dont nous disposons, plutôt qu'à augmenter le nombre de boutures obtenues par pied-mère. Nous avons donc choisi les récipients 25-200 pour nos cultures standard. Soulignons, par ailleurs, que ce type de récipient est facile à manutentionner. Si nous étions confrontés à une pénurie de graines ou si la stratégie de production changeait, nous pourrions avoir recours à des récipients plus gros ou adopter d'autres scénarios de culture. Ainsi, nous étudions présentement la possibilité de cultiver des pieds-mères dans des récipients d'un litre et plus, en les laissant à l'extérieur pendant un certain temps afin de réduire les coûts de la culture en serre.

3.1.6 La fertilisation

La fertilisation des pieds-mères fait l'objet d'une attention particulière, car elle permet de contrôler leur développement dans les serres. Notre approche en la matière s'inspire de celle mise au point par Langlois et Gagnon (1993) pour la production de plants de conifères. Elle est basée à la fois sur les besoins hebdomadaires des plants en éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium) et sur le maintien d'un seuil minimal de fertilité dans le substrat. Les besoins des pieds-mères sont évalués en fonction de leur biomasse, de la teneur de leurs tissus en éléments nutritifs et des variations saisonnières. En hiver, par exemple, les pieds-mères demandent moins d'azote parce que l'ensoleillement diminue.

Le programme de fertilisation doit tenir compte du forçage des pieds-mères et des cycles répétés de croissance et de taille. Le développement des pieds-mères ne suit évidemment pas la courbe de croissance des autres plants, car en prélevant des boutures avant l'**aoûtement** des pousses, on prive le pied-mère d'une partie importante de sa biomasse et on provoque la formation constante de nouvelles tiges. L'analyse périodique du substrat et des tissus végétaux permet de faire les ajustements requis pour maintenir la teneur en azote des boutures à 1,5 % environ.

Rappelons que si la fertilisation des pieds-mères de plusieurs espèces ligneuses est excessive, les boutures s'enracineront moins bien (Henry *et al.*, 1992, Moe et Andersen, 1988). Dans le cas de l'épinette noire, par exemple, un régime nutritionnel trop riche en azote entraîne la formation de boutures qui deviennent exagérément longues et vigoureuses avant de parvenir au stade optimal pour le bouturage. On doit donc adopter un régime de fertilisation qui permette de maintenir les pieds-mères en

croissance continue, tout en limitant la vigueur des boutures, afin de maxi-miser leur enracinement.

Les doses d'engrais appliquées sont déterminées à partir de résultats empiriques, en fonction de la quantité d'azote requise par les pieds-mères pour produire un nombre donné de boutures à des intervalles réguliers, soit environ 3 mg N / semaine / cavité, si l'on utilise des récipients 25-200. La fertilisation est ajustée pour tenir compte des résultats des analyses, du développement des pieds-mères et des variations saisonnières. Comme le délai entre deux prélèvements de boutures est relativement court et que l'urée peut avoir un effet à retardement sur la croissance, l'azote n'est administré que sous forme de nitrates et d'ammonium. Il est ainsi plus facile de contrôler les quantités d'azote disponibles et de modifier la teneur du substrat, au besoin.

3.2 Le prélèvement des boutures

Le stade de développement atteint par les boutures lors du prélèvement est un facteur déterminant dans le succès du bouturage. Il se traduit, d'une part, par la longueur des boutures et, d'autre part, par leur degré de **lignification**.

3.2.1 La longueur

Le taux d'enracinement des boutures n'est pas nécessairement lié à leur longueur. Toutefois, quand elles mesurent moins de 5 cm de longueur, l'obtention de plants de fortes dimensions demande des ajustements culturels importants. Par contre, si elles ont de 10 cm à 12 cm de longueur, on devra les placer dans des récipients plus gros et la productivité du système sera réduite (584 boutures·m²). On recommande donc d'utiliser des boutures de 5 cm à 7 cm de longueur, car elles se manipulent facilement et

permettent une productivité maximale (1 636 boutures·m⁻²).

3.2.2 La lignification

Les boutures peuvent être prélevées quand leur base commence à se lignifier. Ce phénomène se manifeste par une coloration blanchâtre dans la zone normale de sectionnement. On peut aussi le mesurer plus exactement, en déterminant le pourcentage de matière sèche que renferment les boutures, car ce taux augmente avec la lignification des tissus (Figure 4). Pour ce faire, il suffit d'établir le rapport entre la masse sèche et la masse fraîche des boutures. Lorsque ces dernières ont atteint le stade de développement approprié (stade semi-lignifié), elles renferment de 28 % à 32 % de matière sèche. Soulignons toutefois que ce pourcentage est affecté par les conditions de culture. Ainsi, à un stade de lignification apparente donné, il est plus élevé dans les boutures prélevées à l'extérieur, dans des haies de multiplication, que dans celles récoltées dans les serres.

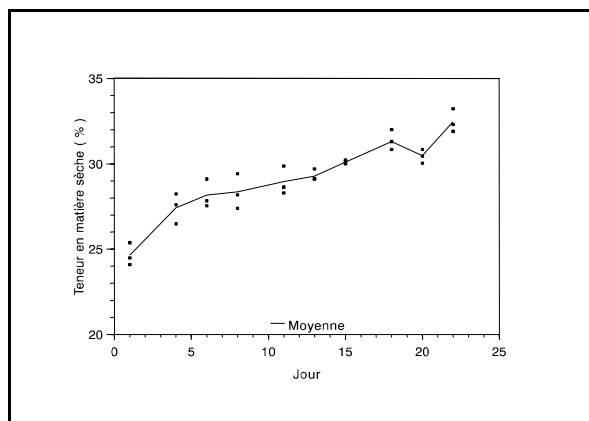
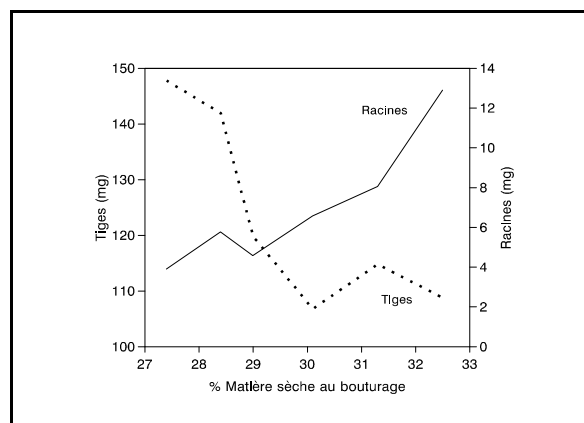


Figure 4. Augmentation de la lignification des boutures avant leur récolte sur le pied-mère. Les mesures ont commencé (jour 1) lorsqu'elles avaient atteint une longueur moyenne de 5 cm.

Bien que la teneur en matière sèche ne soit pas toujours directement liée au pourcentage d'enracinement des boutures, elle influence grandement leur comportement général lors du bouturage (Tousignant, 1995). Les boutures récoltées lorsqu'elles ne sont pas suffisamment lignifiées sont fragiles, plus difficiles à planter dans le substrat et plus vulnérables face au stress hydrique et aux attaques des agents pathogènes. De plus, elles ont tendance à croître en hauteur, au détriment de leur développement racinaire, et leur culture est plus délicate pendant la phase d'enracinement. Par contre, celles dont la lignification est adéquate produisent une masse



racinaire supérieure (Figure 5).

Figure 5. Relation entre le degré de lignification des boutures à la récolte et la répartition de leur masse entre tige et racines, 12 semaines plus tard.

Même si on les rabat fréquemment, les pieds-mères cultivés dans des serres suivent un cycle saisonnier déterminé par l'ensoleillement naturel (Figure 6). En été, leur croissance est rapide, ce qui permet des récoltes de boutures assez rapprochées. Elle ralentit pendant l'automne, et les boutures deviennent alors moins abondantes. Ni l'éclairage d'appoint fourni, ni la fertilisation accrue ne peuvent compenser la baisse d'ensoleillement, mais les rabattages

systematiques effectués après chaque prélèvement réduisent significativement le ralentissement de croissance qui en résulte.

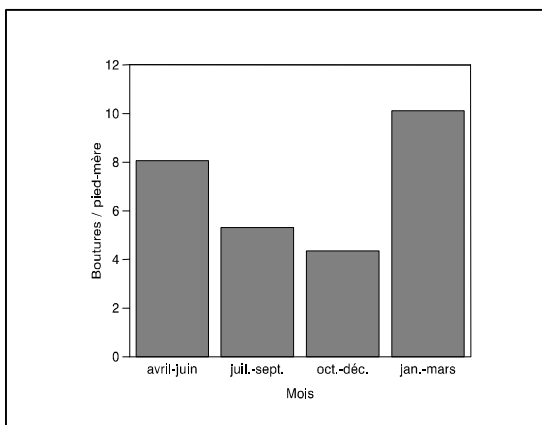


Figure 6. Variation saisonnière du rendement d'un lot de pieds-mères cultivés en récipients 25-200, pendant la première année de récolte (de 4 à 15 mois). Chaque colonne représente la somme des boutures pour la période.

L'ensoleillement influence aussi l'état des boutures lors de la récolte. Celles dont la croissance a été lente (automne et hiver) se lignifient plus rapidement; il est donc facile d'en trouver qui ont atteint à la fois la longueur et le stade de lignification voulus. Par contre, celles qui croissent rapidement (printemps et été) se lignifient moins vite et, quand elles ont atteint la longueur adéquate, elles sont souvent encore au **stade de turgescence**.

Il est rare que les boutures soient toutes parvenues au même stade physiologique dans un lot de pieds-mères donné, et ces écarts peuvent affecter les résultats du bouturage. On doit donc s'efforcer de contrôler la croissance des plants en hauteur et de favoriser une lignification uniforme. Pour ce faire, on peut ajuster l'apport d'azote et réduire temporairement la photopériode à huit heures (**traitement de**

jours courts). Un traitement de neuf jours courts, effectué avant le prélèvement des boutures, s'intègre bien au cycle de production, sans toutefois le rallonger. Les boutures sont récoltées de trois à six jours après ce traitement et leur lignification se poursuit, en réponse au signal donné par la photopériode réduite. Elles s'enracinent mieux et leur biomasse racinaire est plus importante (Figure 7). Une fois les boutures prélevées, on rabat les pieds-mères, dont la croissance peut ainsi reprendre sans tarder.

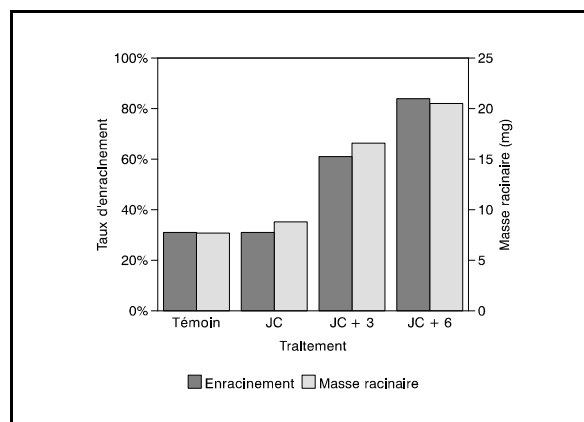


Figure 7. Effet d'un traitement de 9 jours courts et de la période d'attente avant le bouturage sur le pourcentage d'enracinement de boutures d'épinette noire et leur production de racines, 12 semaines après la récolte ; JC : 9 jours courts sans attente ; JC+3 : 9 jours courts et 3 jours d'attente ; JC+6 : 9 jours courts et 6 jours d'attente. Le témoin a été récolté en même temps que le traitement JC+6.

3.3 Le rendement en boutures

Tel que nous l'avons mentionné à la section 3.1.5, le facteur de multiplication des pieds-mères dépend largement du récipient choisi. Or, le programme de bouturage de l'épinette noire est présentement orienté vers la multiplication en vrac d'un ensemble de familles, plutôt que le

clonage de certains individus. Comme on a suffisamment de graines, on utilise des récipients 25-200 pour maximiser la productivité de l'ensemble du système, et ce, même si la culture en pots permet d'obtenir un meilleur rendement individuel des pieds-mères.

Quand les pieds-mères ont trois ans environ, on les repique à l'extérieur, dans des haies de multiplication où ils continuent, jusqu'à l'âge de six ans, de produire des boutures qui s'enracinent aussi bien que celles prélevées sur des plantes plus jeunes (photo 3, page 13). En raison des nombreuses tailles que l'on fait subir aux pieds-mères, dans les serres, les haies de multiplication sont très basses; leur productivité est déterminée par les dimensions des plants, donc par le type

de récipient utilisé. Plus les dimensions des pieds-mères sont fortes lors du repiquage dans les haies, plus leur rendement en boutures est élevé.

Le tableau 1 illustre le rendement potentiel des pieds-mères à partir de l'exemple d'un lot cultivé en serre pendant trois ans et demi, principalement dans des pots de 4 pouces, puis repiqué dans des haies de multiplication. Si les pieds-mères étaient cultivés dans des récipients plus petits, comme les 25-200, par exemple, leur rendement individuel serait sûrement moindre. Cependant, comme ils seraient également plus petits, on pourrait en cultiver davantage dans le même espace et les rendements totaux seraient équivalents.

Tableau 1. Exemple de rendement d'un lot de pieds-mères

Année	Âge (ans)	Type de culture	Rendement moyen (boutures / pied-mère)	
			Périodique	Cumulatif
1989	1	En serre (ensemencement dans des récipients 45-110)	7,5	7,5
1990	2	En serre (rempotage dans des pots de 4 pouces)	44,4	51,9
1991	3	En serre, (pots de 4 pouces)	55,3	107,2
1992	4	Dans une haie (repiquage au cours de l'été)	71,5	178,7
1993	5	Dans une haie (1 ^{re} récolte)	61,1	239,8
1994	6	Dans une haie (2 ^e récolte)	102,5	342,3

Planche 1

Production et enracinement des boutures

Photo 1.

Les pieds-mères d'épinette noire sont cultivés en serre, dans des conditions de forçage continu, et l'on obtient ainsi des boutures à longueur d'année, pendant environ trois ans.

Photo 2.

Des rabattages successifs ont conféré à ce pied-mère d'épinette noire, âgé d'un an et demi, une forme basse et buissonneuse qui en maximise la productivité.

Photo 3.

Après trois années de culture intensive en serre, les pieds-mères sont repiqués dans des haies de multiplication et l'on continue d'y prélever des boutures une fois par été.

Photo 4.

Les mini-serres de la bouturathèque sont éclairées individuellement. On y maintient, en toute saison, des conditions qui favorisent l'enracinement des boutures.

Photo 5.

Quand les boutures sont plantées dans des récipients 126-25, chaque mini-serre peut en accueillir plus de 40 000.

Photo 6.

Ce récipient, qui comporte 126 cavités de 25 cm³ chacune (126-25), a été mis au point spécifiquement pour l'enracinement des boutures.



1.



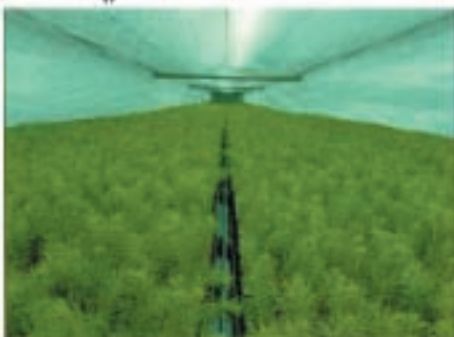
3.



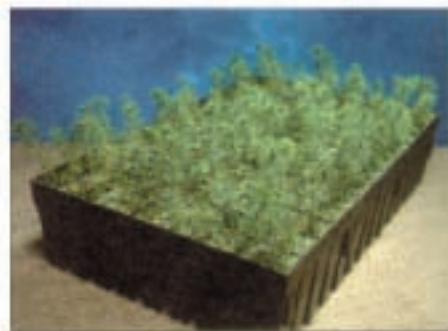
2.



4.



5.



6.

4 MÉTHODOLOGIE DU BOUTURAGE

Si le travail est bien planifié, une équipe de 30 personnes peut planter environ 100 000 boutures par jour. En plus de son chef et des techniciens chargés de la planification et du contrôle de la qualité, chaque équipe comprend des préposés au prélèvement des boutures, au transport entre les serres et la salle de bouturage, à la préparation des récipients, à la plantation dans le substrat et au remplissage des mini-serres.

4.1 Les étapes précédant le bouturage

4.1.1 La prise de données

Pour planifier les travaux de bouturage, il faut connaître le nombre de boutures disponibles, selon les essences et les zones d'amélioration génétique, ainsi que la capacité des bouturathèques et des serres d'acclimatation. Ces données sont essentielles pour fixer les objectifs de production, prévoir le personnel et l'équipement requis et déterminer la durée des travaux. Quand on connaît la longueur des boutures et leur degré de lignification, on peut aussi établir l'ordre de bouturage des lots afin de favoriser l'enracinement et faciliter le déroulement des travaux. Les informations requises sont généralement recueillies trois ou quatre jours avant le début des opérations.

4.1.2 La préparation des pieds-mères

Avant chaque prélèvement de boutures, on applique une solution fongicide sur les pieds-mères, pour éliminer les champignons pathogènes, tels le *Botrytis cinerea*. Ce traitement, qui donne un bon contrôle phytosanitaire et qui s'avère plus économique et sécuritaire que le trempage des boutures après le prélèvement, doit être effectué au moins 60 heures avant le début des travaux, afin de réduire les risques d'exposition des employés. La solution utilisée

renferme un mélange de Benlate^{md} (bénomyl) et de Rovral^{md} (iprodione), à raison de 0,3 g·m⁻² chacun.

De 12 à 24 heures avant la récolte des boutures, on doit arroser les pieds-mères généreusement pour leur permettre de se gorger d'eau. Cet arrosage minimise les risques de stress hydrique et augmente les chances d'enracinement.

4.1.3 Le montage des mini-serres

Avant d'y placer les boutures, on fixe des toiles de polyéthylène (type Milrol^{md}) de 0,004 pouce d'épaisseur sur chacune des 24 mini-serres du centre. Ces toiles évitent toute déperdition d'humidité.

À l'intérieur des mini-serres, on installe un système de rails amovibles, qui facilite la manutention des récipients et les déplacements du robot d'arrosage. Ce dernier appareil, qui est muni d'un réservoir indépendant et d'une rampe de pulvérisation à buses multiples, est télécommandé.

4.1.4 Le remplissage des récipients

Les récipients utilisés pour la culture des boutures sont remplis mécaniquement, sur la chaîne d'emportage de la pépinière. On s'assure que le mélange de substrat est homogène, qu'il a la densité voulue et que sa teneur en eau est adéquate (section 5.3).

4.2 Le prélèvement des boutures

La façon dont les boutures sont prélevées sur les pieds-mères est importante pour l'enracinement et le succès du bouturage. Les préposés doivent tenir compte de la longueur des boutures et du stade de lignification qu'elles ont atteint. Comme nous l'avons déjà mentionné, la longueur idéale se situe entre 5 cm et 7 cm, et la coupure doit être pratiquée dans la partie semi-lignifiée de la tige.

Le prélèvement des boutures est effectué avec des ciseaux conçus pour la taille des boutures. Ces instruments légers, peu volumineux et faciles à manier donnent d'excellents résultats. Avant de couper, le préposé évalue la longueur de la bouture à l'aide d'une marque-repère qu'il se trace sur l'index, puis il sectionne la tige dans sa partie semi-lignifiée. Les boutures sont alors placées dans des bacs en plastique et aspergées d'eau, à l'aide d'atomiseurs manuels.

Les conditions qui règnent dans les serres peuvent être modifiées temporairement pour faciliter la récolte, améliorer le rendement des employés et réduire le stress subi par les pieds-mères. S'il fait soleil, on installe des ombrières pour réduire les risques de flétrissement des boutures et, si l'éclairage artificiel fonctionne, on éteint les lampes allumées au-dessus du secteur où l'on travaille.

4.3 L'organisation du travail

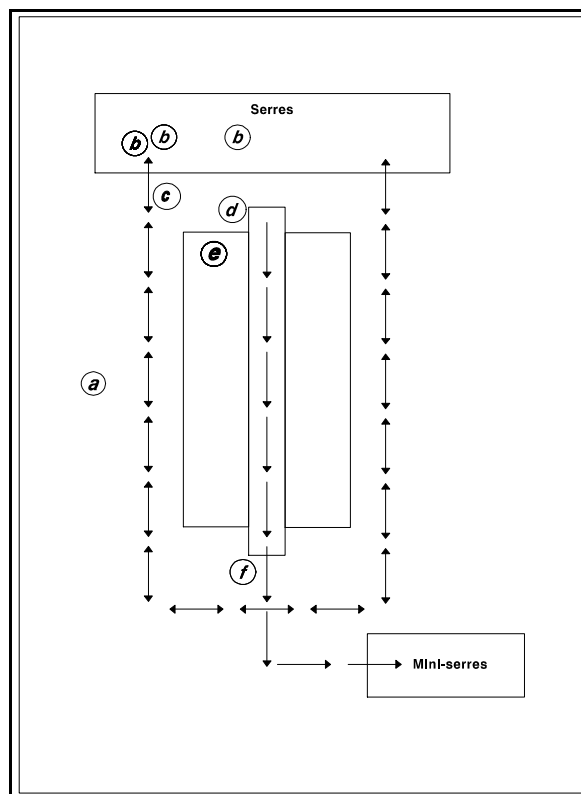
La mise au point d'une méthode de travail qui tient compte de la diversité des tâches a permis d'optimiser la qualité du travail et le rendement au Centre de bouturage de Saint-Modeste.

4.3.1 La description des tâches

Comme nous l'avons mentionné au début de ce chapitre, une équipe de bouturage comprend en moyenne 30 personnes. À ces employés s'ajoute un technicien chargé du contrôle de la qualité.

La figure 8 illustre l'organisation des tâches. Le chef d'équipe (a) dirige les employés et coordonne leur travail. De plus, en collaboration avec le technicien, il s'assure que la qualité du travail et les rendements sont satisfaisants.

Dans les serres, environ neuf personnes (b) sont chargées de prélever manuellement les boutures qui satisfont aux critères établis. Un employé (c) les transporte des serres à la salle de bouturage (distance de 10 m à 40 m), où il les répartit entre les préposés au bouturage proprement dit. C'est également lui qui a le mandat de réaffecter, au besoin, les préposés au prélèvement et au bouturage. Pendant ce temps, un autre employé arrose les récipients (d), les pèse et les perfore avant de les placer sur un convoyeur qui les emporte vers les postes de



bouturage. Cette
Figure 8. Schéma de l'organisation du travail pour le bouturage de l'épinette noire.

dernière activité requiert environ 16 personnes (*e*), qui sont assises autour d'une table de travail traversée par deux convoyeurs superposés. Celui du haut achemine les récipients vers les préposés, qui y plantent les boutures, alors que celui du bas emporte les récipients remplis vers le secteur suivant. Enfin, deux employés remplissent les mini-serres (*f*) et inscrivent dans les registres le nombre de boutures plantées et l'emplacement des divers lots.

4.3.2 Les rendements

On considère qu'une équipe de 30 personnes est idéale, car elle permet de réduire les coûts de production au minimum. Rappelons qu'à raison de 400 minutes de travail par jour, le rendement quotidien moyen d'une équipe de cette envergure est d'environ 100 000 boutures, ou 3 300 boutures par personne (8,3 boutures à la minute). Chaque personne prélève en moyenne 11 000 boutures par jour (27,5 boutures à la minute) et en plante 6 250 (15,6 boutures à la minute).

L'état des boutures est le facteur qui influence le plus le rendement du personnel. Si elles ne sont pas suffisamment lignifiées, elles sont difficiles à manipuler et à planter dans le substrat. Conséquemment, la durée des travaux augmente, leur qualité diminue et les coûts grimpent. Évidemment, le manque d'expérience du personnel peut également affecter les rendements à la baisse.

4.4 La gestion des lots de pieds-mères

Une bonne gestion des lots de pieds-mères et de boutures, selon les essences, les zones d'amélioration génétique, l'âge et l'emplacement dans les serres et les bouturathèques, facilite non seulement la planification, mais aussi le suivi du bouturage. L'informatique s'avère un outil précieux pour ce faire. On a d'ailleurs mis au point un système d'adresses et des formulaires simples qui permettent, d'une part, de localiser rapidement les lots dans les serres et les mini-serres et, d'autre part, de constituer des bases de données fort utiles, tant pour la culture des pieds-mères que pour celle des boutures, pendant et après l'enracinement.

5 PHASE D'ENRACINEMENT DANS LA BOUTURATHÈQUE

Au Centre de bouturage de Saint-Modeste, on utilise le système Bouturathèque, mis au point par le Service de l'amélioration des arbres de la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles (Vallée et Noreau, 1990). Il s'agit d'un système compact d'étagères constituées de mini-serres superposées et hermétiques, éclairées individuellement par des lampes fluorescentes, et placées dans une pièce où la température est rigoureusement contrôlée.

Les boutures sont plantées dans un mélange de tourbe et de perlite, avec ou sans vermiculite. On utilise des récipients comportant 67 cavités de 50 cm³ chacune (67-50) ou 126 cavités de 25 cm³ (126-25).

Les boutures sont cultivées dans les mini-serres pendant huit semaines. On fait une ou deux pulvérisations d'eau ou de fongicide par semaine. Dès la quatrième semaine, les premières racines apparaissent à la base des boutures, sans qu'aucun cal ne se forme. Toutefois, la plupart des boutures ne s'enracinent vraiment qu'entre la sixième et la huitième semaine. Elles sont ensuite transférées dans des serres pour leur permettre de s'acclimater à des conditions de culture standard.

Le système Bouturathèque fonctionne à longueur d'année, grâce au forçage des pieds-mères, qui ont cultivés dans des serres et dont la production est continue. Il s'avère donc fort rentable.

5.1 La description de la bouturathèque de Saint-Modeste

À Saint-Modeste, la bouturathèque occupe deux salles climatisées. Elle comporte six étagères de 2,5 m de largeur sur 14,5 m de longueur et 2,6 m de hauteur. Quatre mini-serres de 48 cm de hauteur sont aménagées dans chaque étagère (photo 4, page 13). Ces 24 mini-serres, qui peuvent loger jusqu'à 47 000 boutures chacune (photo 5, page 13), selon le récipient utilisé, sont recouvertes de polyéthylène transparent et éclairées individuellement, à l'aide de trois rangées de tubes fluorescents de 75 watts, disposées longitudinalement au-dessus d'elles. Les boutures s'enracinent donc dans des enceintes fermées, sous un éclairage artificiel.

Des plateaux mobiles pouvant contenir neuf récipients de boutures sont placés sur des rails, à l'intérieur des mini-serres. Pour l'arrosage, on fait appel à un robot muni d'un réservoir sous pression et d'une rampe d'arrosage, qui se déplace aussi sur les rails.

5.2 Les conditions ambiantes dans les mini-serres

Il est important pour le succès du bouturage que les conditions de chaleur, de lumière et d'humidité qui règnent dans les mini-serres soient uniformes. Ces conditions sont étroitement liées à la puissance des lampes fluo-rescentes, qui dégagent beaucoup de chaleur. En plus des radiations visibles, ces lampes émettent en effet

un rayonnement thermique (rayons infrarouges) auquel le polyéthylène est perméable. Il faut donc refroidir les mini-serres pour éviter que la chaleur ne compromette la survie des boutures, et c'est pourquoi les bouturathèques sont installées dans des salles climatisées.

L'air climatisé refroidit les parois extérieures des mini-serres et la condensation qui en résulte amène la formation d'une buée sur la surface intérieure. Cette buée agit comme un écran qui filtre les rayons infrarouges. Ce phénomène n'est pas parfaitement uniforme, car si les surfaces bien ventilées sont entièrement couvertes de buée, ce n'est pas le cas des surfaces plus chaudes. Lorsque la condensation diminue, les boutures transpirent davantage et le substrat se dessèche plus rapidement. La température des salles climatisées, le matériau de recouvrement des enceintes et la ventilation influencent donc grandement les conditions qui règnent dans les mini-serres.

Les écarts de température à l'intérieur des mini-serres sont réduits lorsque l'air circule uniformément et refroidit également toutes les parois. Dans le cas contraire, l'eau a tendance à s'évaporer dans une zone pour s'accumuler dans une autre. Dans les secteurs plus chauds, le substrat s'assèche alors que sa teneur en eau augmente dans ceux qui sont plus froids, à cause des gouttelettes qui tombent dans les récipients.

5.2.1 La lumière et la température

Des lampes fluorescentes de type *Daylight* fournissent l'éclairage nécessaire à la culture des boutures. L'intensité lumineuse d'environ 2 000 lux ($20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) et la photopériode de 18 ou 20 heures ont été fixées en fonction de la chaleur que dégagent les lampes. Depuis l'ouverture du centre, en 1989, on a modifié l'éclairage afin d'uniformiser les conditions ambiantes et réduire les écarts que l'on observait entre les divers secteurs de la bouturathèque.

L'éclairage est maintenant plus uniforme, quoique plus faible, et les températures plus faciles à gérer.

La température qui règne à l'intérieur des mini-serres résulte à la fois de l'éclairage et de la température de la salle climatisée où le système est installé. On la maintient généralement à 20 °C, car une étude consacrée à l'épinette noire a démontré que lorsque l'éclairage est faible, la photosynthèse excède la respiration, pourvu que la température soit suffisamment basse (Yue et Margolis, 1993). Conséquemment, quand la lumière moyenne est de $20 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, il est préférable que la température ne dépasse pas 20 °C.

5.2.2 L'humidité relative

Comme les boutures n'ont pas de racines, elles ne peuvent absorber assez d'eau pour compenser les pertes attribuables à la transpiration excessive qui se produit si l'air n'est pas suffisamment humide ou si la température est trop élevée. C'est alors le flétrissement, dont les risques sont d'autant plus élevés que les boutures sont moins lignifiées. Tout système de bouturage doit donc être conçu de façon à éviter que les plantes ne perdent trop d'eau, et l'on doit s'efforcer de maintenir, dans l'air ambiant, une pression de vapeur d'eau égale à celle que l'on trouve dans les aiguilles.

On peut y arriver de deux façons : en augmentant le taux d'humidité relative de l'air ou en réduisant la température du feuillage (Loach, 1988). Dans le premier cas, on peut pratiquer le **bouturage à l'étouffée**, c'est-à-dire cultiver les boutures dans un milieu fermé où la vapeur d'eau est emprisonnée. Dans le deuxième cas, si les boutures sont placées dans des serres pendant l'enracinement, on peut, par exemple, utiliser un système de nébulisations intermittentes (*mist*) : quand l'eau pulvérisée s'évapore, les feuilles refroidissent. Ces deux méthodes font appel à

des mécanismes différents pour atteindre un même résultat : réduire la transpiration en minimisant le gradient de pression de vapeur d'eau.

Dans le système Bouturathèque, où l'on pratique le bouturage à l'étouffée, on maintient le taux d'humidité relative entre 90 % et 95 %, donc très près de la saturation. Il faut néanmoins y surveiller l'éclairage et la chaleur de très près, car le rayonnement des lampes peut accentuer la transpiration. Lorsque les conditions environnementales sont bien contrôlées, il suffit d'une à trois nébulisations par semaine pour maintenir l'humidité relative à un taux adéquat et prévenir le flétrissement des boutures.

5.3 Les récipients et les substrats

Comme nous le mentionnions précédemment, le bouturage peut être effectué dans différents types de récipients et, au centre de Saint-Modeste, nous utilisons généralement des récipients 67-50 ou 126-25 (voir section 6.3). Spécifiquement conçus pour la production de boutures, les derniers (126-25) sont utilisés pour tous les lots destinés au repiquage dans des récipients (photo 6, page 13). Ils permettent d'exploiter les installations actuelles au maximum et d'obtenir des boutures de qualité. Celles qui sont destinées à la production de plants à racines nues peuvent être plantées dans l'un ou l'autre des récipients communément utilisés. On fait parfois appel à d'autres récipients, comme le 45-110, pour cultiver les boutures destinées aux tests de descendances.

Le substrat d'enracinement est un mélange de tourbe et de perlite auquel on ajoute de la vermiculite dans certains cas. Nous utilisons de la tourbe de qualité supérieure, dont les fibres sont longues, et qui renferme peu de débris, ce qui facilite le remplissage des cavités. De plus, le foisonnement de la tourbe (augmentation du volume) et, conséquemment, la porosité du

substrat augmentent avec la longueur des fibres. Lorsqu'on mélange le substrat, on l'humidifie en y versant un volume d'eau égal à quelque 20 % de son volume; la teneur en eau doit être d'environ 60 % de la masse à saturation.

L'aération du substrat, qui dépend à la fois de sa porosité et de sa teneur en eau, a un impact considérable sur l'enracinement des boutures. Si elle est insuffisante, les boutures ne s'enracinent pas adéquatement. Or, la porosité est à la fois fonction des composantes du substrat et des caractéristiques des récipients (hauteur, forme et volume des cavités). Pour l'améliorer, on ajoute de la perlite fine au mélange. En ce faisant, on augmente le taux d'enracinement des boutures d'épinette noire (Figure 9).

Les récipients 67-50 sont remplis d'un mélange de tourbe, de vermiculite et de perlite fine (T : V : P), dans des proportions de 2 : 1 : 1 et à une densité de $0,07 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ à $0,08 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Les résultats obtenus dans ces conditions sont de 10 % à 30 % supérieurs à ceux que l'on observe avec les récipients 126-25 (Figure 10). Cet écart est sans doute lié au volume des cavités, car plus elles sont petites, moins il y a d'air dans le

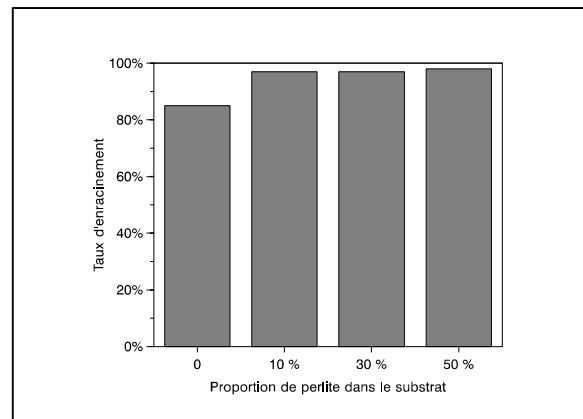


Figure 9. Augmentation de l'enracinement de boutures d'épinette noire avec l'ajout de perlite dans le substrat.

substrat. Pour régler ce problème inhérent aux récipients 126-25, on a mis au point un nouveau mélange fait de trois parties de perlite pour une partie de tourbe (T : P, 1 : 3). Les résultats obtenus jusqu'à maintenant sont très positifs, et l'on testera bientôt ce nouveau substrat dans des récipients 67-50 pour en faire, éventuellement, le mélange standard pour le bouturage.

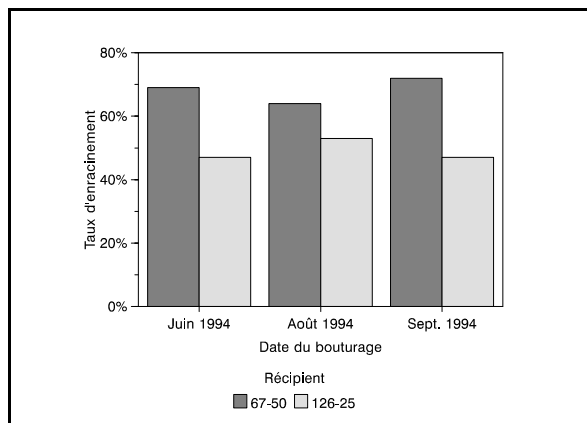


Figure 10. Comparaison du pourcentage d'enracinement moyen de boutures d'épinette noire dans le récipient 67-50 et 126-25, pour trois bouturages opérationnels consécutifs.

5.4 Le traitement des boutures

5.4.1 La plantation

Les boutures prélevées ne subissent aucun traitement particulier : on leur laisse notamment toutes leurs aiguilles. Pour éviter le flétrissement, on s'efforce de réduire au minimum le délai qui sépare le prélèvement et l'installation dans les mini-serres (environ 20 minutes). Si l'on doit interrompre le travail, à cause des repas par exemple, on place les boutures dans des contenants hermétiques. On évite de les entreposer au froid.

Au moment de la plantation, on creuse des trous de 1,5 cm de profondeur dans le substrat, à l'aide d'une planche à clous, et l'on y plante la bouture

en poussant légèrement, pour bien l'enfoncer. On pulvérise ensuite de l'eau sur les récipients afin que la tourbe gonfle et referme ainsi les trous.

5.4.2 Le traitement à l'AIB

À Saint-Modeste, les boutures ne subissent généralement aucun traitement hormonal; donc, on n'a normalement pas recours aux **auxines**. On a toutefois effectué plusieurs tests afin d'évaluer l'effet de l'**acide indole-butyrique** (AIB) sur le taux d'enracinement. On a alors constaté que ce régulateur de croissance n'améliore pas nécessairement le taux d'enracinement des boutures provenant de jeunes pieds-mères de conifères. Dans le cas de l'épinette noire, par exemple, les résultats sont peu concluants (Figure 11). On a en effet observé que, lorsque les doses appliquées sont faibles (cinq secondes de trempage dans une solution de 1 000 ppm), les boutures traitées ne s'enracinent pas mieux que les boutures témoins. Si l'on augmente les concentrations (jusqu'à 5 000 ppm ou 8 000 ppm), le nombre moyen de racines par bouture augmente, mais le taux d'enracinement baisse considérablement. On s'est assuré que l'effet du traitement ne varie pas en fonction de l'âge des pieds-mères ou du degré de lignification des boutures.

Cependant, on a constaté que si l'on vaporise de l'AIB sous forme de sel de potassium (K-AIB) dissout dans l'eau sur les aiguilles des boutures, le nombre de racines principales peut augmenter légèrement, sans que le taux d'enracinement ne s'améliore. Dans les mini-serres, ce traitement est à la fois facile et peu coûteux, car on l'effectue à l'aide du robot d'arrosage. On s'en tient à des doses très faibles de K-AIB (de 2 µg à 4 µg / bouture) pour éviter que l'apex des tiges non lignifiées ne se déforme.

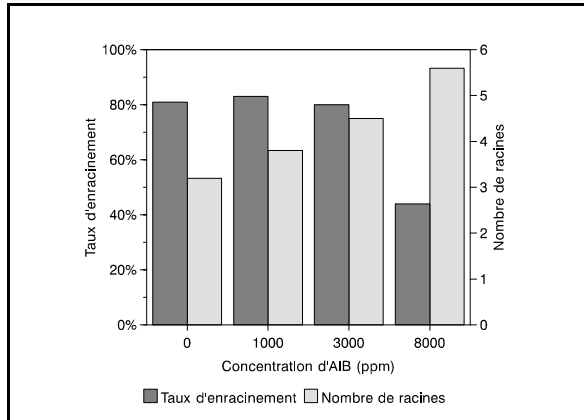


Figure 11. Effet de différentes concentrations d'AIB sur le pourcentage d'enracinement et le nombre de racines de boutures d'épinette noire. L'application s'est faite par trempage rapide de la base de la bouture dans une solution concentrée.

5.4.3 L'arrosage, la fertilisation et le contrôle phytosanitaire

Comme nous l'avons vu précédemment, l'eau est l'un des éléments déterminants dans la réussite du bouturage. Ainsi, avant de placer les récipients de boutures dans les mini-serres, on fait appel au robot d'arrosage pour pulvériser de l'eau sur toutes les surfaces. Au cours des premières semaines, on répète l'opération tous les deux ou trois jours, selon l'état des boutures, puis, à partir de la quatrième semaine, on se contente d'une ou deux pulvérisations hebdomadaires. En humectant le feuillage et la surface des cavités, on augmente le taux d'humidité relative dans les mini-serres. Les brumisations ne sont pas systématiques : on mesure quotidiennement le taux d'humidité de l'air et on examine la surface du substrat ainsi que l'état des boutures.

Au cours des huit semaines d'enracinement, on pulvérise au total quelque 75 l d'eau dans chaque mini-serre, soit approximativement 1,6 ml d'eau

par bouture. À chaque arrosage, le robot pulvérise 3,5 l ou 100 ml·m⁻² d'eau dans chaque enceinte.

On n'applique aucun fertilisant dans les mini-serres, d'une part, pour éviter de stimuler la croissance végétative des boutures au détriment de leur développement racinaire et, d'autre part, parce qu'on a parfois noté certains effets négatifs, sans doute associés à l'augmentation de la pression osmotique, qui semble nuire à l'absorption de l'eau par les boutures. Cependant, lorsque ces dernières sont transférées dans les serres d'acclimatation (voir section 6.1), on les fertilise régulièrement.

Pour prévenir l'apparition de moisissures et autres champignons dans les mini-serres, on y fait, au cours des quatre premières semaines d'enracinement, une application hebdomadaire de Daconil^{md}, un fongicide, à raison de 0,2 ml·m⁻².

5.5 L'enracinement

Dans des conditions expérimentales, de 80 % à 100 % des boutures d'épinette noire s'enracinent. Depuis l'ouverture du Centre de bouturage de Saint-Modeste, nous obtenons un taux moyen de succès de 70 %. Ce pourcentage varie toutefois selon l'état des pieds-mères et les conditions de culture. Le taux d'enracinement est maximal lors de la première récolte, quand les boutures sont prélevées sur des pieds-mères de quatre ou cinq mois. Il diminue légèrement par la suite, mais il ne semble pas sérieusement affecté par le vieillissement des pieds-mères.

Malgré toute l'attention dont on entoure la culture des pieds-mères et celle des boutures, le taux d'enracinement est parfois imprévisible. Ainsi, on peut obtenir un taux d'enracinement de 80 % dans un lot et de 50 % dans un autre. Au cours des cinq dernières années, on a cerné plusieurs des causes de ces fluctuations, et des

améliorations significatives ont été apportées au système. Ainsi, on a modifié les mini-serres pour uniformiser les conditions qui y règnent. De plus, après avoir constaté que l'aération du substrat et l'état des boutures sont présentement les facteurs qui influencent le plus l'enracinement, on a adopté un nouveau substrat, plus poreux et mieux adapté aux récipients 126-25 et l'on fait subir un traitement de jours courts aux pieds-mères afin que les boutures soient plus uniformes et s'enracinent mieux.

Par ailleurs, dans des conditions de forçage continu, il est parfois difficile de contrôler la croissance des pieds-mères et de prévoir le taux d'enracinement des boutures, car certaines variations saisonnières entrent en jeu. À l'heure actuelle, le défi du Centre de bouturage de Saint-Modeste est de rentabiliser la multiplication de l'épinette noire en exploitant la productivité des pieds-mères au maximum, tout en uniformisant la qualité des boutures récoltées dans des lots distincts, à différents moments de l'année.

6 PRODUCTION DE PLANTS ISSUS DE BOUTURES

Lorsque la période d'enracinement est terminée, on place les boutures dans des serres afin de leur permettre de s'adapter aux conditions de culture standard et de poursuivre leur développement. Cette période d'acclimatation de huit semaines comporte deux phases : une phase d'acclimatation proprement dite, pendant laquelle les boutures s'adaptent aux conditions qui règnent dans les serres, et, selon la saison, une phase de croissance ou d'endurcissement.

Une fois acclimatées, les boutures sont repiquées. Cette opération est toujours effectuée au printemps pour que les jeunes plants profitent d'une période de croissance aussi longue que possible avant l'hiver. Les boutures dont l'acclimatation se termine de février à avril sont donc repiquées dès que possible. Toutes les autres sont laissées dans les récipients jusqu'à ce qu'on puisse les repiquer, le printemps suivant.

Si la saison le permet, on place les lots de boutures en attente dans des tunnels. Pendant la saison froide, on les laisse à l'extérieur si elles ont atteint le stade phénologique voulu et si leur masse racinaire le permet. Sinon, on les entrepose dans des chambres froides. C'est également ce qu'on fait avec les boutures dont l'acclimatation se termine en hiver.

Génétiquement améliorées, les boutures cultivées à la Pépinière de Saint-Modeste sont destinées à la production de plants de fortes dimensions (environ 40 cm de hauteur et 5 mm de diamètre). Ces plants sont réservés aux meilleurs sites forestiers qui, en raison même de leur fertilité, sont ceux où la concurrence végétale est la plus forte et où elle risque le plus de compromettre la croissance, voire la survie des plants de dimensions conventionnelles (15 cm de hauteur et 3,5 mm de diamètre). Pour les obtenir, on garde les boutures en pépinière pendant deux ans après les avoir repiquées.

6.1 La période d'acclimatation

Après la période d'enracinement de huit semaines dans la bouturathèque, les boutures sont transférées dans des serres dites d'acclimatation, où elles séjournent aussi huit semaines (photo 1, page 27).

L'acclimatation comporte deux phases. La première, qui dure d'une à quatre semaines, vise à permettre aux boutures de s'adapter à des conditions de culture standard. Pendant cette phase, on maintient d'abord dans les serres un taux d'humidité relative supérieur à 80 %, par des nébulisations, puis on le réduit graduellement entre 60 % et 70 %. Par ailleurs, si l'ensoleillement est excessif, on installe des ombrières pour protéger les boutures, surtout au tout début. On n'a recours à aucun éclairage artificiel pour prolonger la photopériode ou augmenter l'intensité lumineuse. Enfin, on applique 5 mg d'engrais de type 20-20-20 par bouture.

Au cours de la quatrième semaine d'acclimatation, donc douze semaines après le bouturage, on évalue l'enracinement des divers lots de boutures et on élimine tous les plants qui rougissent ou pourrissent, car cela signifie qu'ils ne sont pas enracinés.

Après la phase initiale d'acclimatation, on modifie le régime de culture en fonction du sort qu'on réserve ultérieurement aux boutures. Ainsi, on favorise la croissance de celles dont l'acclimatation se termine de février à avril, car elles seront repiquées dès leur sortie des serres. On agit de même avec celles dont la période d'acclimatation prend fin entre avril et septembre, car elles seront ensuite transférées dans des tunnels, où elles séjourneront jusqu'à la fin de l'automne et même tout l'hiver, si elles sont suffisamment développées (l'aoûtement et l'endurcissement au froid se font naturellement). Pour promouvoir la croissance de ces deux catégories de boutures, dont la biomasse racinaire doit atteindre quelque 20 mg avant le repiquage, on a recours à des programmes de fertilisation spécifiques (photo 2, page 27).

Les boutures dont la période d'acclimatation se termine entre octobre et février sont ensuite entreposées dans des chambres froides. On les y prépare par un traitement de jours courts (photopériode de 8 heures pendant 14 jours), qui induit la dormance, puis par une baisse graduelle de la température (de 23 °C à 5 °C), qui les endurent au froid. Lorsqu'elles sont transférées dans les chambres froides, ces boutures ont généralement une masse racinaire d'au moins 20 mg.

6.2 L'entreposage dans les chambres froides

On utilise les chambres froides du mois d'octobre à la mi-avril et, selon le moment où elles sortent des serres d'acclimatation, les boutures peuvent y séjourner d'un à six mois. Avant d'entreposer les boutures, on les arrose abondamment et on les traite avec un fongicide (mélange de Benlate^{md} et de Rovral^{md}, à un taux de 0,3 g·m⁻²). Pour rationaliser l'utilisation de l'espace, les récipients sont placés sur des palettes. Ces dernières sont

regroupées en blocs d'environ 80 m³, puis couvertes de polyéthylène pour réduire les risques de dessèchement. On installe de plus un humidificateur dans les chambres froides afin d'y maintenir un taux d'humidité adéquat.

L'endurcissement amorcé dans les serres se poursuit dans les chambres froides. La première semaine, la température est réglée à 2 °C. Les deux semaines suivantes, elle est abaissée à 0 °C, puis à -2 °C. Elle est maintenue à ce niveau jusqu'aux deux dernières semaines d'entreposage, alors qu'on la ramène graduellement à 2 °C.

6.3 Le repiquage

Au début de mai, dès que la température le permet, on retire les boutures des chambres froides et l'on repique celles qui sont destinées à la production de plants à racines nues le plus tôt possible. On réduit ainsi les risques ultérieurs de soulèvement par le gel. Comme les boutures destinées à la culture en récipients ne sont pas sujettes à ce problème, on peut les repiquer un peu plus tard et même jusqu'à la fin de juin. Ces boutures peuvent aussi être plus petites que les premières au moment du repiquage.

Le récipient utilisé pour l'enracinement affecte le mode de culture ultérieur. Ainsi, les boutures cultivées dans des récipients 67-50 sont enracinées dans une motte de substrat trop grosse pour qu'on puisse les repiquer facilement dans d'autres récipients; elles sont donc exclusivement destinées à la production de plants à racines nues. Par contre, les boutures enracinées dans des récipients 126-25 peuvent être repiquées aussi bien dans des récipients plus gros qu'en pleine terre, pour la production de plants à racines nues.

À Saint-Modeste, les boutures destinées à la production de plants à racines nues sont

secouées pour les débarrasser de leur motte de substrat avant le repiquage, car en libérant les racines, on diminue les risques de malformations. Les autres boutures sont repiquées dans des récipients dont les cavités ont un volume de 350 cm³ (photo 3, page 27). Ce travail est fait à la chaîne, pour maximiser le rendement.

Les récipients sont remplis mécaniquement, puis acheminés vers un appareil qui creuse, dans le substrat, un trou ayant la forme des cavités du récipient utilisé pour l'enracinement. La bouture et la motte de substrat sont placées dans ce trou à la main. Le substrat est ensuite recouvert, mécaniquement, d'une couche de silice d'environ 1 cm d'épaisseur. Nous nous efforçons présentement de trouver le moyen d'éviter de compacter le substrat en creusant le trou, car cela nuit au développement du système racinaire.

6.4 La croissance en pépinière

Comme les boutures sont produites pendant toute l'année, elles ne sont pas soumises aux mêmes conditions (variations saisonnières de la température, de l'ensoleillement, de la photopériode, etc.) et elles n'ont donc pas toutes atteint le même stade de développement physiologique au moment du repiquage.

La levée de dormance provoquée par l'exposition au froid ramène tous les lots de boutures au même stade phénologique. En fait, le cycle d'entrée et de levée de dormance favorise le

développement de la masse racinaire, la formation de bourgeons et la croissance uniforme des plants après le repiquage. De plus, l'exposition au froid semble permettre au bourgeon terminal de la bouture de recommencer à croître normalement après le repiquage. Chez les boutures qui ne la subissent pas, le débourrement peut être inégal, la croissance réduite et l'on peut voir pousser des bourgeons latéraux plutôt qu'un bourgeon terminal, ce qui entraîne des malformations de la tige.

Les techniques retenues pour la culture des plants issus de boutures et celle des semis sont identiques (photo 4, page 27). Toutefois, quand les premiers sont cultivés en vue de la production de plants à racines nues, ils satisfont généralement aux normes établies pour les PFD à l'âge de deux ans et demi ou trois ans (photo 5, page 27), alors que les semis mettent quatre ans pour atteindre ce même point. Quant aux boutures repiquées dans des récipients, elles excèdent souvent les normes en vigueur après deux saisons de croissance. Ce problème vient du fait qu'on a présentement un calendrier de production unique pour les boutures et les semis. Cependant, nous nous efforçons présentement d'établir des calendriers de production mieux adaptés à la culture des boutures en récipients. Nous amorçons également des travaux afin de mettre au point des récipients mieux adaptés aux boutures.

Planche 2

Production de plants de fortes dimensions à partir de boutures

Photo 1.

Après la phase d'enracinement dans les mini-serres (huit semaines), les boutures sont placées dans des serres conventionnelles où on les laisse s'acclimater. Celles que l'on voit ici ont douze semaines.

Photo 2.

Les racines des boutures continuent de se développer jusqu'au repiquage.

Photo 3.

Le repiquage des boutures dans des récipients de 350 cm³ se fait à la main. On creuse un trou dans le substrat et l'on y dépose la motte.

Photo 4.

Deux ans après avoir été repiqués en pépinière, les plants d'épinette noire issus de boutures atteignent de fortes dimensions. Ceux-ci ont été repiqués il y a un an; on les cultive à racines nues.

Photo 5.

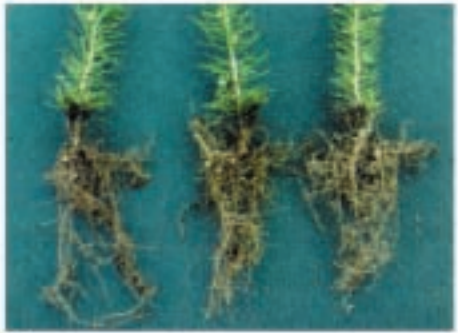
Plants d'épinette noire issus de boutures, cultivés à racines nues (RN) et dans des récipients de 350 cm³ (RC). Grâce à leurs fortes dimensions, ces plants sont prêts à affronter la compétition végétale, souvent très forte sur les sites forestiers.

Photo 6.

Plantation d'épinettes noires issues de boutures, après cinq ans. Les arbres génétiquement améliorés sont nettement plus vigoureux que ceux obtenus à partir de graines non améliorées.



1.



2.



3.



4.



6.



5.

CONCLUSION

Le Centre de bouturage de la Pépinière de Saint-Modeste produit chaque année près de deux millions de plants d'épinette noire issus de boutures. Pour ce faire, il a adopté une méthode aussi innovatrice qu'originale qui, jumelée au forçage des pieds-mères en serre, permet de bouturer toute l'année et de rentabiliser les infrastructures au maximum : le système Bouturathèque. Depuis l'ouverture du centre, en 1989, nous avons développé plusieurs techniques nouvelles qui pourraient s'avérer tout aussi utiles en horticulture qu'en foresterie. L'un des principaux défis du centre était de réussir à faire passer le système Bouturathèque du stade expérimental au stade industriel. Des efforts importants ont donc été et sont encore consentis pour mettre au point des méthodes opérationnelles.

Présentement, selon le mode de production choisi, le coût de revient d'un plant issu d'une bouture est de 1,5 à 2 fois celui d'un PFD cultivé à partir de semis. Toutefois, si l'on continue d'améliorer le taux d'enracinement, qui est aujourd'hui de 70 %, et de bonifier les diverses étapes du système de multiplication, les coûts de production baisseront. Par ailleurs, plus les gains génétiques seront élevés, plus il sera avantageux de reboiser avec des plants issus de boutures.

D'ici quelques années, notre centre de bouturage aura permis de reboiser plusieurs milliers d'hectares de forêts avec des arbres de qualité supérieure (photo 6, page 27). On réalisera ainsi des gains génétiques importants, qui se traduiront en bénéfices tangibles au moment de la récolte. Dans le cas de l'épinette noire, par exemple, on constate, après cinq ans, dans le premier test de descendances précoce en pépinière, que les 10 meilleures des 70 familles

testées présentent des gains en hauteur de l'ordre de 32 %. On peut donc anticiper des gains en hauteur de l'ordre de 25 % (ou 40 % en volume) après 45 ans.

Le principal avantage du bouturage réside dans le fait qu'il permet de multiplier des graines génétiquement améliorées, coûteuses à produire. Lorsqu'on cultive les pieds-mères à partir de graines issues de croisements dirigés, on obtient, en effet, pour chaque graine améliorée, un nombre important de plants livrables, alors que lorsque ces graines sont ensemencées directement, le rendement ne dépasse évidemment jamais un plant livrable par graine.

Par ailleurs, le bouturage accélère considérablement l'introduction des variétés nouvelles obtenues grâce aux travaux d'amélioration génétique. On a vu que le bouturage permet de multiplier des graines issues de croisements de parents sélectionnés et d'obtenir des plants prêts pour le reboisement en quatre ans seulement. Or, pour produire le même nombre de plants améliorés, sans passer par le bouturage, il faudrait multiplier les parents par un greffage à grande échelle, puis les croiser lorsque les greffons seraient aptes à fleurir. Il faudrait donc attendre de cinq à dix ans avant d'obtenir les graines requises et de deux à quatre ans de plus pour produire les semis améliorés en pépinière.

L'information tirée des tests de descendances précoces établis en 1990 nous permet, après cinq ans, de choisir les familles à ensemencer comme pieds-mères pour accroître la qualité génétique des variétés multifamiliales. De plus, la multiplication des arbres de deuxième génération nous permettra d'obtenir des gains génétiques

encore plus importants dans les années qui viennent.

Plusieurs projets de recherche-développement visant à améliorer la performance et la rentabilité du système sont en cours. Ces travaux portent tant sur la qualité des plants que sur la capacité de production des installations : examen de scénarios de culture qui permettraient d'augmenter le rendement des pieds-mères en boutures, automatisation de certaines étapes de production, comme le repiquage en récipients,

etc. Nous continuons également d'adapter le système Bouturathèque à d'autres espèces, notamment l'épinette blanche, l'épinette de Norvège et le mélèze hybride. De plus, nous étudions des stratégies de plantation mixte de plants issus de boutures et de PFD conventionnels, en vue de maximiser les surfaces reboisées avec du matériel génétiquement amélioré. Enfin, nous comptons bientôt analyser les gains associés à la sélection et au bouturage de matériel clonal.

GLOSSAIRE

Acide indole-butyrique (AIB) : Auxine de synthèse couramment utilisée en horticulture, pour stimuler l'enracinement des boutures.

Aoûtement : Lignification des jeunes pousses des végétaux et formation de leurs bourgeons terminaux, à la fin de l'été.

Auxines : Molécules organiques, naturelles ou synthétiques, qui régularisent la croissance des plantes (phytohormones) et sont impliquées dans le contrôle de la croissance cellulaire et de la dominance apicale ainsi que dans la formation des racines adventives.

Bouturage : Multiplication végétative par l'enracinement de fragments de végétaux.

Bouturage à l'étouffée : Technique qui consiste à enfermer des boutures dans un espace clos et saturé d'humidité afin d'en favoriser l'enracinement (ex. : le système Bouturathèque).

Bouturage en cascade : Mode de multiplication végétative basé sur une succession de cycles de multiplication et selon lequel les dernières boutures enracinées deviennent les pieds-mères où l'on prélève les boutures requises pour le cycle suivant.

Bouturathèque : Étagère à quatre niveaux dans laquelle on aménage des mini-serres éclairées artificiellement afin d'y placer les boutures pendant leur phase d'enracinement. Par extension, on appelle « *système Bouturathèque* » l'ensemble du système de bouturage de la Pépinière de Saint-Modeste.

Bouture : Partie d'une tige, d'un rameau, d'une racine, etc. détachée d'une plante-mère et employée pour produire une nouvelle plante qui aura le même génotype (d'après Lamontagne et Corriveau, 1982).

Clone : Ensemble d'individus génétiquement identiques (ramets), issus d'une même plante (ortet), par multiplication végétative.

Croisement dirigé : Croisement artificiel de deux individus.

Embryogenèse somatique : Formation d'embryons à partir de cellules somatiques, c'est-à-dire non reproductrices, donc sans passer par la fécondation. Ce phénomène permet d'obtenir de nombreuses copies d'un clone.

Famille : Groupe d'individus qui ont au moins un parent commun. Les individus issus d'un croisement dirigé forment une famille biparentale (fratrie) (d'après Lamontagne et Corriveau, 1982).

Forçage : Culture des plantes dans des conditions qui leur permettent de continuer à croître en dehors de leur cycle saisonnier habituel. On pratique généralement le forçage dans des serres chauffées et munies d'un système d'éclairage artificiel.

Gain génétique : Amélioration génétique moyenne des descendants d'individus sélectionnés par rapport à la génération de leurs parents. Elle est fonction de l'intensité de sélection, de la variation et de l'héritabilité du trait considéré (Lamontagne et Corriveau, 1982).

Haie de multiplication : Groupe de pieds-mères que l'on cultive à l'extérieur et que l'on rabat régulièrement pour qu'ils restent juvéniles et que leur production de boutures soit maximale.

Lignification : Modification de la paroi cellulaire par association de la lignine à la cellulose. C'est ce phénomène qui régit la formation du bois chez les plantes ligneuses.

Mini-serre : Enceinte fermée, recouverte de polyéthylène transparent et éclairée par des lampes fluorescentes, que l'on utilise pour l'enracinement des boutures.

Multiplication de masse : Reproduction à grande échelle d'une population donnée, sans tenir compte de l'identité des individus.

Multiplication végétative : Reproduction d'une plante par voie asexuée, c'est-à-dire par greffage, bouturage, marcottage, culture *in vitro*, etc. Le bagage génétique des plantes obtenues selon ce mode de reproduction est théoriquement identique à celui de la plante-mère (d'après Lamontagne et Corriveau, 1982).

Orthotrope : Qui présente un port vertical, semblable à celui d'une pousse terminale.
Antonyme — **plagiotrope** : qui présente un port plus ou moins horizontal, semblable à celui d'une branche latérale.

PFD : Voir **Plant de fortes dimensions**.

Pied-mère : Plante cultivée pour la production de boutures.

Plant de fortes dimensions (PFD) : Plant dont la hauteur, le diamètre au collet et le système racinaire sont supérieurs aux normes habituelles, ce qui leur permet de s'affranchir de la végétation concurrente sans que l'on ait à avoir recours aux phytocides (J. Ménétrier, comm. pers.).

Rabattage : Taille radicale d'une plante à une hauteur déterminée.

Stade semi-lignifié : Phase de développement d'une jeune tige dont les tissus sont en voie de lignification.

Stade de turgescence : Phase de développement d'une jeune tige, antérieure à la lignification, pendant laquelle les cellules gorgées d'eau assurent la rigidité des tissus.

Test de descendance : Plantation établie selon un plan statistique approprié pour évaluer la valeur génétique de certains parents à partir des performances de leurs descendants.

Test de provenances : Plantation établie selon un plan statistique approprié pour évaluer des populations d'une même espèce d'origines géographiques variées.

Traitement de jours courts : Procédé qui permet de modifier la phénologie d'une plante en l'exposant à une photopériode réduite pendant un nombre de jours donné.

Variété multiclonale : Groupe de clones sélectionnés destinés à une zone d'amélioration génétique particulière.

Variété multifamiliale : Groupe de familles sélectionnées destinées à une zone d'amélioration génétique particulière.

BIBLIOGRAPHIE

Bentzer, B.G. 1993. *Strategies for clonal forestry with Norway spruce*, dans : **Clonal forestry II - Conservation and application**, M.R. Ahuja et W.J. Libby (Éds.), Berlin Heidelberg, Springer-Verlag, pp. 120-138.

Gagnon, G., S. Bouliane et M. Villeneuve. 1993. **Amélioration génétique de l'épinette noire. Synthèse des croisements dirigés réalisés de 1987 à 1991**. Québec, min. des Forêts, Direction de la recherche, Rapport interne n° 373, 16 p.

Gagnon, G. et M. Villeneuve. 1994. **Amélioration génétique de l'épinette noire. Recommandations de croisements dirigés à réaliser pour chaque zone d'amélioration**. Québec, min. des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Rapport interne n° 381, 28 p.

Henry, P.H., F.A. Blazich et L.E. Hinesley. 1992. *Nitrogen nutrition of containerized eastern red cedar. II. Influence of stock plant fertility on adventitious rooting of stem cuttings*. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** 117 : pp. 568-570.

Lamontagne, Y. et A. Corriveau. 1982. **Glossaire des termes utilisés en génétique et amélioration des arbres forestiers**. Québec, min. de l'Énergie et des Ressources, Service des pépinières et du reboisement, (ERI-3285-1), 55 p.

Langlois, C.G. et J. Gagnon. 1993. *A global approach to mineral nutrition based on the growth needs of seedlings produced in forest tree nurseries*, dans : **Plant nutrition — from genetic engineering to field practice**. N.J. Barrow (Éd.), Dordrecht (The Netherlands), Kluwer Academic Publishers, pp. 303-306.

Loach, K. 1988. *Controlling environmental conditions to improve adventitious rooting*, dans : **Adventitious root formation in cuttings**. T.D. Davis, B.E. Haissig et N. Sankhla (Éds.), Portland, Dioscorides Press, pp. 248-273.

Moe, R. et A.S. Andersen. 1988. *Stock plant environment and subsequent adventitious rooting*, dans : **Adventitious root formation in cuttings**, T.D. Davis, B.E. Haissig et N. Sankhla (Éds.), Portland, Dioscorides Press, pp. 214-234.

Ritchie, G.A. 1991. *The commercial use of conifer rooted cuttings in forestry: a world overview*. **New Forests** 5, pp. 247-275.

Ritchie, G.A. 1994. *Commercial application of adventitious rooting to forestry*, dans : **Biology of Adventitious Root Formation**. T.D. Davis et B.E. Haissig (Éds.), New York, Plenum Press, pp. 37-52.

Sy, M., H.A. Margolis et Q.-L. Dang. 1995a. **Environmental controls on the production of black spruce stem cuttings. I. Effect of temperature on photosynthesis, respiration and the carbon balance of stock plants**. (soumis pour publication).

Sy, M., H.A. Margolis et Q.-L. Dang. 1995b. **Environmental controls on the production of black spruce stem cuttings. II. Influence of light and temperature conditions of the stock plants on cutting performance**. (soumis pour publication).

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

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

Yue, D. et H.A. Margolis. 1993. *Photosynthesis and dark respiration of black spruce cuttings during rooting in response to light and temperature.* **Can. J. For. Res.** **23**, pp. 1150-1155.