

MANUEL
DE

foresterie

LES PRESSES
DE L'UNIVERSITÉ LAVAL



Ordre
des ingénieurs
forestiers
du Québec

DIRECTION
Jean Beaulieu

Amélioration des arbres

Production de plants

RÉDACTION
Jean Beaulieu
Jean-Guy Brouillette
Gaétan Daoust
Stéphan Mercier
François-Noël Perreault
Ariane Plourde
André Rainville
Daniel Robert
Michel Villeneuve

RÉVISION SCIENTIFIQUE
Jean Bousquet
Steen Magnussen
Ante Stipanovic

Sommaire

Liste des figures	917		
Liste des tableaux	917		
Introduction	919		
1. Notions générales de génétique forestière (M. VILLENEUVE)	919		
1.1 Termes usuels	919		
1.2 La génétique des populations	920		
1.3 La variabilité génétique	920		
1.3.1 Causes de la variabilité génétique en nature	920		
1.3.2 Répartition d'ordre géographique de la variabilité génétique	921		
1.3.3 Types de caractères	921		
1.3.4 La génétique quantitative	921		
1.3.5 L'interaction génotype-milieu	922		
1.3.6 La corrélation génétique	922		
2. Les programmes d'amélioration génétique (A. PLOURDE)	924		
2.1 Introduction	924		
2.2 Choix des caractères à améliorer	924		
2.3 Les étapes d'un programme d'amélioration	924		
2.3.1 Échantillonnage du bassin génétique	924		
2.3.2 Évaluation du matériel génétique en tests comparatifs	924		
2.3.3 Sélection	926		
2.3.4 Croisements	927		
2.4 Situation actuelle et perspectives	928		
3. Production de variétés améliorées	929		
3.1 La voie sexuée (A. RAINVILLE)	929		
3.1.1 Types de vergers à graines	930		
3.1.1.1 Verger à graines de semis	930		
3.1.1.2 Verger à graines de clones (verger clonal)	930		
3.2 Planification (A. RAINVILLE)	931		
3.2.1 Territoire desservi et nombre de semenciers nécessaires	931		
3.2.2 Sélection d'arbres-plus	931		
		3.2.2.1 Nombre d'arbres-plus à sélectionner pour les vergers de semis	932
		3.2.2.2 Nombre d'arbres-plus à sélectionner pour les vergers de clones	932
		3.2.3 Dispositif utilisé	932
		3.2.3.1 Verger à graines de semis	932
		3.2.3.2 Verger à graines clonal	933
		3.2.4 Localisation	933
		3.2.4.1 Localisation géographique	933
		3.2.4.2 Choix de l'emplacement	933
		3.3 La préparation de terrain (A. RAINVILLE)	933
		3.4 Aménagement (A. RAINVILLE)	933
		3.4.1 Espacement des semenciers	934
		3.4.2 Répression de la compétition	935
		3.4.2.1 Vergers clonaux	935
		3.4.2.2 Vergers de semis	935
		3.4.3 Soins aux greffes (vergers clonaux)	935
		3.4.3.1 Tuteurage	935
		3.4.3.2 Taille des greffes	935
		3.4.4 Analyses foliaires et fertilisation	935
		3.4.4.1 Analyses foliaires	935
		3.4.4.2 Fertilisation	936
		3.4.5 Protection	937
		3.4.5.1 Contre le pollen étranger	937
		3.4.5.2 Contre le vent	937
		3.4.5.3 Contre les insectes et les maladies	937
		3.4.5.4 Contre les animaux	938
		3.4.5.5 Contre la neige et le verglas	938
		3.4.5.6 Contre le feu	938
		3.4.6 Éclaircie génétique	938
		3.4.7 Autres techniques d'aménagement	938

3.5	Programme d'établissement des vergers à graines au Québec (A. RAINVILLE)	939	5.1.5.2	Grands lots de cônes	952
3.6	La voie clonale (G. DAoust)	939	5.1.5.3	Contrôle de qualité des graines	952
3.6.1	Le clonage d'arbres forestiers	940	5.1.5.4	Graines de feuillus	952
3.6.2	La foresterie clonale	940	5.2	La production par voie végétative (J. BEAULIEU)	953
3.6.3	La situation actuelle au Québec	941	5.2.1	Le bouturage	953
3.6.4	Méthodes de production	942	5.2.2	La culture <i>in vitro</i>	954
3.6.4.1	Le bouturage	942	5.3	La production à partir de graines (J.-G. BROUILLETTE, F.-N. PERREAULT et D. ROBERT)	955
3.6.4.2	Culture <i>in vitro</i> et biotechnologie	942	5.3.1	Introduction	955
4.	Conservation des ressources génétiques chez les arbres forestiers (J. BEAULIEU)	943	5.3.2	Description du stock de reboisement	955
4.1	Que sont les ressources génétiques forestières ?	943	5.3.3	Technique de production de plants à racines nues	956
4.2	Comment estime-t-on les niveaux de diversité génétique ?	943	5.3.3.1	La préparation de terrain	956
4.3	Conséquences des pratiques forestières sur la diversité génétique	944	5.3.3.2	L'ensemencement	957
4.4	Maintien de la diversité génétique dans les programmes d'amélioration génétique	945	5.3.3.3	L'entretien des plants	957
4.5	Méthodes de conservation	946	5.3.3.4	L'extraction des semis et leur repiquage	957
5.	Production de plants	947	5.3.3.5	L'extraction des plants de reboisement	957
5.1	Production et traitement des graines (S. MERCIER)	947	5.3.4	Techniques de production en récipients	957
5.1.1	Source des graines	947	5.3.4.1	Types de plants	957
5.1.1.1	Numéro de la source des graines	947	5.3.4.2	Modalités de culture	957
5.1.1.2	Déplacement des provenances	947	5.3.4.3	Les principales opérations de la production en récipients	958
5.1.2	Planification de la récolte	947	6.	Tendances et développements en cours (J. BEAULIEU)	958
5.1.2.1	Prévision de la récolte	947	6.1	Amélioration génétique	958
5.1.2.2	Suivi du développement des cônes et fruits	947	6.2	Production de plants	959
5.1.2.3	Évaluation de la maturité des graines	950	Ouvrages cités		959
5.1.3	Cueillette	950	Ouvrages consultés		962
5.1.3.1	Méthodes de cueillette	950	Lectures complémentaires		962
5.1.3.2	Standards de qualité d'une récolte	951	Annexe (J.-G. BROUILLETTE, F.-N. PERREAULT et D. ROBERT)		963
5.1.4	Manutention et entreposage des cônes	952			
5.1.5	Traitement des graines	952			
5.1.5.1	Petits lots de cônes	952			

Liste des figures

Figure 1	Illustration de la relation entre l'écart de sélection (S) et le gain génétique (G) pour un caractère X donné	922
Figure 2	Illustration de l'interaction génotype x environnement	923
Figure 3	Schéma général d'un programme d'amélioration génétique	925
Figure 4	Test génécologique d'épinette blanche établi à Rivière-Bleue	926
Figure 5	Zones d'amélioration proposées pour l'épinette de Norvège au Québec	927
Figure 6	Illustration d'un croisement dirigé réalisé sur une greffe d'épinette blanche	928
Figure 7	Arbre-plus sélectionné en forêt pour ses caractéristiques phénotypiques	930
Figure 8	Verger à graines d'épinette blanche de première génération situé dans le canton Labrosse	931
Figure 9	Disposition des groupes de quatre semis dans un bloc d'un verger à graines de semis	934
Figure 10	Rendement comparatif de variétés multifamiliales d'épinette noire issues de croisements dirigés	941
Figure 11	Illustration de patrons électrophorétiques obtenus chez le pin blanc pour l'enzyme phosphoglucose isomérase	944
Figure 12	Illustration de l'effet théorique des coupes rases sur la constitution génétique d'une population	945
Figure 13	Banque de graines forestières du Service canadien des forêts	946
Figure 14	Récolte de cônes de pin blanc à l'aide d'un fusil	951
Figure 15	Illustration d'une couche de bouturage	954
Figure 16	Embryons somatiques d'épinette blanche dérivés d'une masse de tissu embryogène	955

Liste des tableaux

Tableau 1	Programmes de recherche en génétique forestière et amélioration des arbres menés au Québec en 1995	929
Tableau 2	Clones de peuplier hybride créés au Québec et recommandés pour les reboisements dans les régions écologiques 3i, 3j, 3k, 7a ₁ , 7a ₂ et 8c ₂ du Québec (sud de la région Abitibi-Témiscamingue)	942
Tableau 3	Sommaire des formes de conservation <i>ex situ</i> au Québec en 1992	946
Tableau 4	Facteurs concernant les cônes et les graines chez les résineux	948
Tableau 5	Facteurs concernant les fruits et les graines chez les feuillus	949
Tableau 6	Description des codes représentant les différents types de source	950
Tableau 7	Estimation de la production de cônes et de fruits	950
Tableau 8	Conseils pour la production de boutures ligneuses ou demi-ligneuses	953
Tableau 9	Répartition de la production de plants au Québec selon les ensemencements réalisés en 1994	955
Tableau 10	Liste des essences résineuses et feuillues utilisées au Québec pour le reboisement et pourcentages d'utilisation pour les années 1996-2000	956
Tableau 11	Critères d'évaluation pour la qualité des plants	956

Introduction

Le programme de reboisement a été considérablement intensifié au cours des années 1970 et 1980 au Québec. Une expertise dans la production de plants a été développée et des améliorations aux techniques utilisées sont constamment apportées. Le retour sur les investissements consentis en régénération artificielle ne peut être maximisé sans l'utilisation de stocks génétiquement améliorés. Plusieurs essences font l'objet de programmes d'amélioration génétique depuis quelques années au Québec. Des infrastructures de production ont été mises en place. Le présent chapitre vise donc à présenter succinctement l'état des connaissances en amélioration génétique et en production de plants ainsi que les pratiques usuelles au Québec.

1. NOTIONS GÉNÉRALES DE GÉNÉTIQUE FORESTIÈRE

1.1 Termes usuels

La **génétique** classique (ou **mendélienne**) se préoccupe de la transmission des caractères entre les individus; c'est l'étude des différences et des ressemblances entre individus apparentés. La connaissance des lois et principes énoncés par Gregor Mendel (1822-1884) est **essentielle pour l'améliorateur**. Bien que l'on connaisse aujourd'hui de nombreuses exceptions à ces trois lois, elles ont un intérêt considérable comme principe de base. Ces lois sont les suivantes :

- loi d'uniformité de la F_1 : tous les descendants issus d'un croisement entre deux individus de lignées homozygotes distinctes ($AA \times aa$) sont hétérozygotes (Aa);
- loi de ségrégation : chaque cellule reproductrice (grain de pollen ou ovule chez les arbres) reçoit une copie d'un des deux allèles que possède un individu diploïde à un locus donné;
- loi de ségrégation indépendante : les cellules reproductrices se combinent de façon aléatoire lors de la fécondation et lorsqu'on examine la ségrégation chez deux paires d'allèles hétérozygotes, on observe qu'elles ségrègent de manière indépendante.

La génétique est une science dotée d'un riche vocabulaire dont voici la définition des principaux termes adaptée de Lamontagne et Corriveau (1982) et d'autres sources.

- Gène :** unité d'hérédité qui occupe une position fixe (locus) sur un chromosome.
- Locus :** place occupée par un gène sur un chromosome.
- Allèle :** chacune des variantes d'un gène donné. Ils sont également définis comme des gènes situés à un même locus sur des chromosomes homologues.
- Chromosome :** corpuscule microscopique composé de protéine et d'ADN, sur lequel sont fixés les gènes. Les chromosomes

	sont les principaux composants du noyau cellulaire.
ADN:	acide désoxyribonucléique. Il constitue le matériel génétique que l'on retrouve dans presque tous les organismes vivants.
Ploïdie:	fait référence au nombre de séries de chromosomes présentes dans le noyau cellulaire. Ainsi, certaines espèces d'arbres, tels les conifères, sont dites diploïdes (2 séries de chromosomes), d'autres sont polyploïdes (plus de 2 séries) ou plus précisément triploïdes (3 séries), tétraploïdes (4 séries), etc.
Additivité:	effet cumulatif des allèles de tous les gènes qui affectent un caractère donné.
Dominance:	efficacité relative d'un allèle à dominer ou à masquer l'action d'un allèle différent avec lequel il est couplé. La dominance peut être complète ou partielle.
Épistasie:	effet résultant de l'interaction de gènes situés à des loci différents.
Non-additivité:	effet résultant de la dominance et de l'épistasie.
Génotype:	constitution héréditaire totale d'un individu.
Homozygote:	individu possédant des allèles identiques à un locus donné.
Hétérozygote:	individu possédant des allèles différents à un locus donné.
Phénotype:	ensemble des caractères visibles ou mesurables d'un individu, résultant de l'action du génotype, du milieu et de l'interaction du génotype avec le milieu.
Descendance ou famille:	ensemble des individus ayant au moins un parent en commun. Les demi-fratries sont habituellement des groupes d'individus issus de pollinisation libre; ils ont tous le même parent femelle. Les fratries sont issues de pollinisation dirigée; les deux parents (mâle et femelle) sont les mêmes pour l'ensemble des descendants.
Population:	groupe d'individus de même espèce, vivant sur un territoire suffisamment restreint pour que tous ces individus aient la possibilité de s'interféconder.

Génécologie: étude de la génétique des populations adaptées à leur milieu. D'un point de vue pratique, ces études permettent de sélectionner des peuplements produisant des arbres bien adaptés au milieu de culture et caractérisés par une production forte et qualitative.

1.2 La génétique des populations

La génétique des populations est l'étude des lois de Mendel et d'autres principes de génétique tels qu'ils s'appliquent à des populations entières (Hartl, 1988). Elle a pour but de comprendre les variations génétiques à l'intérieur d'une population et entre les populations, d'une génération à l'autre. Toute population présente une diversité phénotypique causée, en partie, par la diversité (variabilité) génétique entre ses membres. C'est cette diversité qui permet à une population d'évoluer et de s'adapter à des conditions variables dans son milieu de vie; elle est donc un facteur de stabilité parmi les populations.

1.3 La variabilité génétique

Il existe chez la très grande majorité des essences forestières un niveau élevé de variabilité génétique due à la présence d'allèles différents sur un nombre plus ou moins grand de gènes. Il s'agira parfois de gènes majeurs, qui déterminent individuellement et entièrement le phénotype d'un individu pour un caractère donné. Par exemple, chez l'homme, le groupe sanguin est déterminé par trois allèles (A, B et O) sur un seul gène et n'est pas influencé par l'environnement. À l'opposé, certains caractères sont sous l'effet cumulé d'un grand nombre de gènes; ce sont les caractères polygéniques. La plupart des caractères polygéniques sont sous l'influence plus ou moins prononcée de l'environnement (Hartl, 1988). Par exemple, la vitesse de croissance en hauteur d'un arbre dépend de son génotype (espèce, ascendance) et des conditions de croissance (fertilité, drainage, etc.).

1.3.1 Causes de la variabilité génétique en nature

L'étude de la variabilité génétique d'une espèce dans toute son aire de répartition constitue la première phase d'un programme d'amélioration génétique (Baradat, 1986; Bousquet *et al.*, 1994; 1995). Les causes de cette variabilité naturelle sont la mutation, la migration, la dérive génétique, la sélection et l'introgression.

Une mutation est une « erreur », une modification « accidentelle » d'un gène. C'est l'origine ultime de la variation génétique. Les autres facteurs agissent à partir de la variation créée par les mutations ; sans elles, tous les individus d'une même espèce seraient semblables.

La migration est le transfert de gènes d'une population à une autre, par le pollen ou les graines. Pour qu'il y ait effectivement migration, le pollen immigrant doit féconder un ovule, et un semis doit être produit. Si la migration se fait par la graine, celle-ci doit produire un arbre mature et fertile. La migration « démographique » devient une migration au sens génétique seulement lorsque les gènes immigrants sont incorporés au pool génétique de la population d'accueil.

La dérive génétique est un phénomène aléatoire, important dans les petites populations. Deux modes d'action existent : la survie avant reproduction et la participation aléatoire à la reproduction. Certains gènes peuvent être perdus d'une génération à l'autre par simple effet d'échantillonnage. Par exemple, s'il y a un incendie d'un peuplement de pins blancs, qui ne laisse que sept ou huit survivants pour régénérer le site, les gènes des arbres morts sont définitivement perdus. Aussi, les gènes particuliers portés par un de ces pins peuvent ne se retrouver dans aucun des semis produits.

La sélection naturelle est l'élimination de certains individus en fonction de leur capacité phénotypique (exprimée concrètement) à survivre et à se reproduire dans un environnement particulier. C'est le facteur qui, avec suffisamment de temps, détermine quels allèles subsistent dans la population ; cela n'implique nullement que seuls les individus les mieux adaptés survivent et se reproduisent ; des facteurs aléatoires agissent toujours.

L'introgression résulte de l'interfécondation répétée entre individus d'espèces apparentées (hybridation). Les gènes d'une espèce sont alors introduits graduellement dans l'autre espèce. Il apparaît donc que la mutation, la migration et l'introgression ont tendance à augmenter la variabilité génétique entre les individus d'une même population. Par contre, la sélection naturelle et la dérive génétique amenuisent cette variabilité. Si l'on considère maintenant plusieurs populations soumises à des environnements différents, la sélection naturelle, l'introgression et la dérive génétique favorisent l'accentuation des différences entre celles-ci. La migration va transférer les gènes d'une population à une autre et amoindrir les variations. La mutation a toujours un effet positif sur la variation génétique puisque ce sont des mutations différentes qui se produisent dans chaque population.

1.3.2 Répartition d'ordre géographique de la variabilité génétique

Différentes populations d'une même espèce sont soumises à des conditions de croissance variées selon le climat, le sol, etc. Lorsque l'aire de répartition est vaste, ces conditions variées font que les causes de la variabilité génétique n'agissent pas de la même façon dans l'ensemble des populations. Il existe deux types de variabilité génétique d'origine géographique :

- *clinale* : variation continue et progressive d'un caractère (par exemple, la croissance en hauteur) en fonction d'un gradient environnemental (latitude, précipitation, etc.) ;
- *écotypique* : variation discontinue de plusieurs caractères entre populations distinctes et reflétant une adaptation génétique à un environnement spécifique.

1.3.3 Types de caractères

Lorsqu'un caractère est contrôlé par un seul gène, il est qualitatif puisque la seule présence ou absence d'un allèle à un gène précis détermine le phénotype de l'individu. Les caractères quantitatifs sont polygéniques ; chacun des gènes impliqués dans l'expression d'un caractère de ce type a un effet partiel qui s'additionne à l'effet des autres gènes. Leur étude constitue la génétique quantitative. La plupart des caractères à valeur économique chez les arbres forestiers sont quantitatifs : hauteur, diamètre, densité du bois, etc.

1.3.4 La génétique quantitative

La variabilité observée chez les caractères d'importance économique – variance phénotypique – est le résultat du génotype, de l'environnement et de l'interaction du génotype avec l'environnement. Les tests génécologiques sont nécessaires pour déterminer l'influence respective des gènes et du milieu. La génétique quantitative se base donc sur des principes de génétique et des techniques statistiques, pour déterminer la meilleure façon de manipuler un caractère dans une population donnée afin d'en obtenir un rendement supérieur à la génération suivante.

La sélection est l'étape critique du processus d'amélioration. Elle a pour effet d'augmenter, parmi les générations suivantes, la fréquence des allèles à effet positif sur le caractère qu'on désire améliorer. Bien que les gènes eux-mêmes ne soient pas observables, on peut décrire les effets de la sélection en fonction de la moyenne, des variances et des covariances (Falconer, 1974).

Le résultat concret recherché par la sélection est une modification de la moyenne de la génération suivante

pour le caractère désiré. La réponse à la sélection, ou gain génétique, se calcule de la façon suivante :

$$G = h^2 \times S$$

où :

G = gain génétique,

h^2 = hérabilité du caractère,

S = écart de sélection.

La figure 1 illustre la signification des termes de cette équation. Pour le caractère X qu'on désire améliorer, et dont la distribution de fréquence est normale, la moyenne des individus de la génération 1 est de 10 unités. Une certaine proportion des individus de cette génération (moyenne = 15 unités) est choisie pour engendrer la génération suivante. L'écart de sélection S est donc de 5 unités. Les individus de la génération 2 sont évalués à leur tour et leur moyenne pour le caractère X est de 12 unités. Le gain génétique G est de 2 unités, soit l'écart entre la moyenne des descendants et celle de la population totale de la génération précédente. L'hérabilité h^2 est égale au ratio $G/S = 0,4$ et représente la part de l'écart de sélection qui est transmissible d'une génération à l'autre. Puisque le caractère X est un caractère quantitatif, l'hérabilité se définit, de façon plus théorique, comme étant le rapport de la variance due aux effets cumulatifs des allèles des gènes qui affectent ce caractère donné (additivité), sur la variance phénotypique, c'est-à-dire la variance totale observée (Variance additive/Variance phénotypique).

Il apparaît que la réponse à la sélection sera d'autant plus grande, pour un même écart de sélection, que l'hérabilité du caractère concerné sera élevée. De la même façon, plus la sélection sera rigoureuse, plus la réponse à la sélection pour le caractère choisi sera élevée.

1.3.5 L'interaction génotype-milieu

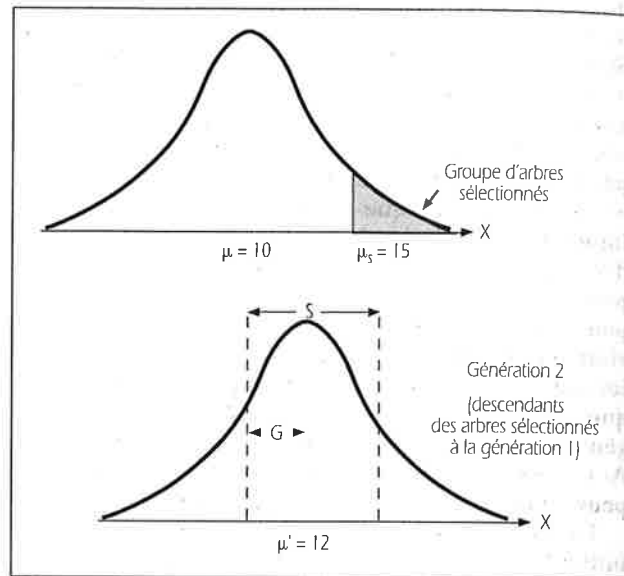
Les conditions de croissance d'un milieu à l'autre n'ont pas le même effet sur les génotypes. Ces différences dans la réponse des génotypes s'appellent l'interaction génotype-milieu ou génotype-environnement.

Le milieu peut être défini par les conditions de croissance (milieu physique) ou le stade de développement de l'arbre (milieu physiologique) (Kremer, 1986). Il est nécessaire dans le premier cas de tester les provenances, les familles ou les clones sur un minimum de deux sites. Le second constitue un problème de corrélation juvénile-adulte. La figure 2 illustre différents cas d'interaction et leurs effets sur la sélection génétique. La présence d'interaction génotype-environnement exige la division du territoire à reboiser en sous-unités homogènes à l'intérieur desquelles les sources recommandées peuvent être utilisées sans risque de mésadaptation. Ces unités sont

appelées zones de transfert de semences ou zones d'amélioration génétique.

Figure 1

Illustration de la relation entre l'écart de sélection (S) et le gain génétique (G) pour un caractère X donné



La moyenne de la population à la première génération est désignée par le symbole μ . Le groupe d'arbres sélectionnés est représenté par la zone tramée sous la courbe et leur moyenne est dénotée par le symbole μ_s . Les descendants des arbres sélectionnés ont une moyenne symbolisée par μ' .

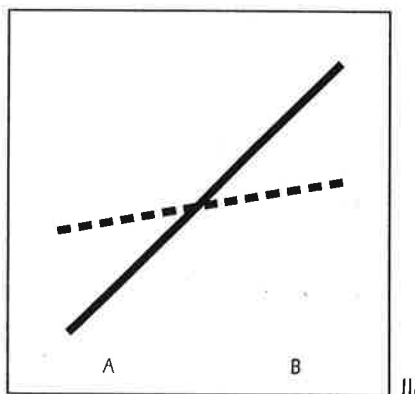
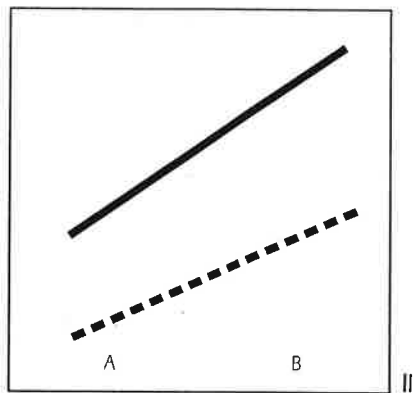
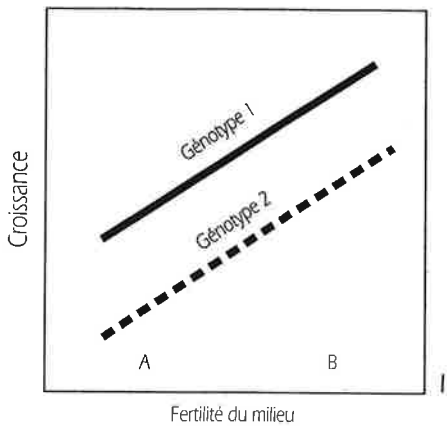
1.3.6 La corrélation génétique

La sélection effectuée pour le caractère X pourrait entraîner une réponse positive ou négative chez le caractère Y , selon la nature de la corrélation qui existe entre les deux caractères. Cette corrélation peut être causée par l'effet des gènes ou du milieu. Dans le premier cas, on parle de corrélation génétique et dans le second cas de corrélation d'environnement. Si les caractères ont une faible hérabilité, la corrélation phénotypique sera déterminée principalement par la corrélation d'environnement ; si l'hérabilité est forte, la corrélation génétique sera plus importante (Falconer, 1974).

Il est impossible de déterminer la valeur ou le signe de la corrélation génétique à partir de la corrélation phénotypique. Cela doit se faire selon une méthode statistique et un modèle génétique appropriés. L'importance de cette corrélation est révélée par l'exemple suivant. Supposons que la corrélation phénotypique r_p entre les caractères X et Y est de $-0,2$, que la corrélation génétique r_g est de $0,4$ et que la

Figure 2

Illustration de l'interaction génotype x environnement



L'exemple ci-dessous illustre les effets de l'interaction génotype x environnement.

Considérons deux génotypes (1 et 2) testés sur un ensemble de stations qui peuvent être classées sur l'axe des x selon leur fertilité. Le caractère pris en compte est la croissance en hauteur. En règle générale, un arbre réagit favorablement à une amélioration du milieu: on peut noter que dans les trois cas de figure évoqués, la pente de la droite correspondant à chaque génotype est positive. Malgré cela, le comportement comparé des deux génotypes peut varier. Trois cas de figure peuvent être envisagés:

- dans le cas (I), le génotype 1 est supérieur au génotype 2 dans les milieux A et B. La supériorité est du même ordre de grandeur dans les deux cas;
- dans le cas (II), le génotype 1 est supérieur au génotype 2 dans les deux milieux, avec une différence plus importante dans le milieu B;
- dans le cas (III), le classement est différent dans le milieu A par rapport au milieu B. Il y a donc une réaction différentielle des génotypes vis-à-vis de la fertilité du milieu.

Au sens statistique, les cas (II) et (III) correspondent à des cas d'interaction génotype x station. Au plan de la sélection, seul le cas (III) est préoccupant.

Cet exemple peut aisément être transposé au cas de l'interaction génotype x milieu physiologique, A et B désignant des stades différents (juvénile, adulte).

corrélation d'environnement r_e est de -0,1. Une différence de signe entre r_g et r_e indique que les sources de variations génétiques et environnementales influencent les caractères X et Y par des mécanismes physiologiques différents (Falconer, 1974). On ne peut donc pas se fier à la corrélation phénotypique pour prédire l'effet, sur le caractère Y, d'une sélection génétique pour le caractère X.

2. LES PROGRAMMES D'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE

2.1 Introduction

Les programmes d'amélioration génétique des espèces ont pour objectif la création de variétés synthétiques démontrant des performances supérieures à la moyenne de la population dont elles sont originaires (figure 1). Ces variétés peuvent également présenter des caractéristiques particulières répondant aux exigences spécifiques d'un environnement donné ou au développement d'un produit particulier. Par exemple, la création de variétés de pin blanc résistantes à la rouille vésiculeuse est essentielle pour permettre l'utilisation du pin blanc dans les zones où le champignon est abondant. Dans les milieux défavorables au pathogène, le critère de résistance à la rouille n'est pas retenu lors de la sélection des arbres.

L'améliorateur exploite la variabilité génétique présente dans l'espèce et tente de réunir dans une même variété l'ensemble des caractéristiques recherchées. Un cycle d'amélioration génétique comprend deux phases : la sélection et les croisements, celle-là identifie les arbres qui possèdent les caractères désirés et ceux-ci visent à réunir dans des génotypes donnés les caractéristiques provenant de parents différents.

2.2 Choix des caractères à améliorer

Tout responsable d'un programme d'amélioration doit d'abord en fixer les objectifs. Il doit donc bien connaître la nature des produits dérivés de l'espèce, les exigences du marché en termes de qualité du produit brut et le potentiel de développement de nouveaux produits afin de déterminer les caractéristiques présentes et futures exigées. L'amélioration des arbres est un objectif à long terme qui requiert un investissement financier majeur et demande beaucoup

de temps. Il est primordial de fixer les bons objectifs et d'anticiper correctement l'évolution des marchés.

Les caractères généralement considérés dans tout programme d'amélioration des arbres forestiers sont :

- vigueur et croissance en hauteur et en diamètre,
- adaptation (rusticité, résistance aux maladies et aux insectes),
- qualité du bois (densité basale),
- qualité du fût (rectitude, faible défilement),
- plasticité (adaptation à des conditions environnementales diverses),
- stabilité temporelle (bonnes performances à tout âge).

L'améliorateur trace un portrait de l'arbre idéal, i.e. celui qui possède l'ensemble des caractères recherchés. À chaque étape, il doit avoir en mémoire cet idéotype. Il doit de plus tenir compte d'éventuelles corrélations génétiques négatives entre certains des caractères visés.

2.3 Les étapes d'un programme d'amélioration

Un schéma général de base d'un programme d'amélioration d'arbres forestiers est présenté à la figure 3. Les étapes sont décrites dans les quatre sous-sections qui suivent.

2.3.1 Échantillonnage du bassin génique

Les populations naturelles de l'espèce dans toute son aire de répartition constituent la première source de gènes. La première étape consiste à visiter les peuplements naturels et à récolter des graines. Ces graines peuvent être conservées en lot individuel pour chaque arbre (= descendance) ou récoltées sur plusieurs arbres dans une même population et conservées sous une seule identification pour constituer une provenance. Aucune sélection n'est faite à cette étape, l'objectif étant d'échantillonner le plus complètement possible la diversité génétique de l'espèce.

2.3.2 Évaluation du matériel génétique en tests comparatifs

La qualité génétique des arbres doit être évaluée dans des conditions environnementales uniformes pour chacun des individus testés. C'est pourquoi on établit des tests comparatifs, i.e. des plantations installées selon un dispositif statistique rigoureux permettant de détecter, pour un ou plusieurs caractères donnés, des différences significatives entre les diverses sources ou individus comparés (figure 4). En milieu naturel, un arbre peut présenter un phénotype supérieur à celui des arbres voisins parce qu'il bénéficie

Figure 3
Schéma général d'un programme d'amélioration génétique

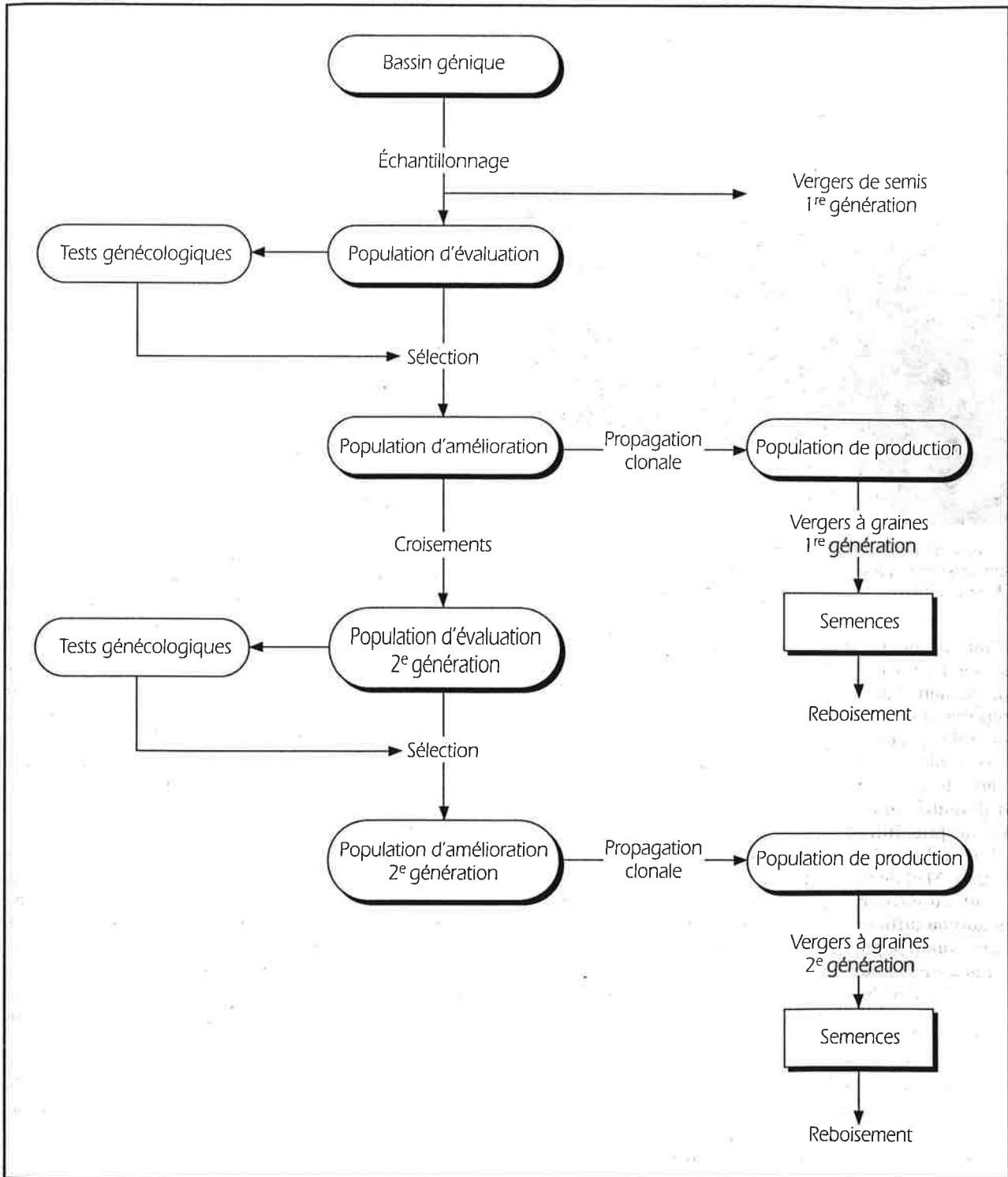


Figure 4
**Test génécologique d'épinette blanche
 établi à Rivière-Bleue**



Jean Beaulieu, Ressources naturelles Canada

Ce test comparatif de provenances/descendances rassemble 250 descendances de 50 provenances d'origine québécoise. Il est répété à deux autres endroits au Québec.

d'un micro-site particulièrement favorable à sa croissance. En raison de l'hétérogénéité du milieu naturel, on ne peut établir dans ces conditions si les différences observées sont héréditaires. Les tests comparatifs, aussi bien d'espèces autochtones qu'exotiques, qui servent de complément aux ressources génétiques autochtones, permettent donc 1) de comparer la performance de différentes sources, 2) d'acquérir des connaissances sur la variabilité et l'héritabilité des caractères étudiés, 3) d'établir des zones d'amélioration distinctes (figure 5) et de déterminer les provenances génétiquement supérieures pour chaque zone (interaction génotype-milieu) et 4) d'identifier les arbres élités constituant la population d'amélioration. L'évaluation du matériel en tests comparatifs constitue la deuxième étape d'un cycle d'amélioration.

a) Essais (tests) de provenances

Les études pandomaniales sont nécessaires pour sélectionner les meilleures provenances à inclure dans un programme d'amélioration. Les essais de provenances sont généralement les premiers types de tests comparatifs utilisés, bien que d'autres, tels ceux de

provenances/descendances ou encore d'introduction d'essences exotiques, puissent être employés. Des provenances représentatives de toute l'aire de répartition, ou d'une région en particulier, sont incluses dans ces essais répétés à plusieurs endroits de façon à bien couvrir le territoire à reboiser. Par exemple, le rapport d'information LAU-X-85 du Service canadien des forêts, région du Québec (Beaulieu *et al.*, 1989b) expose les résultats obtenus d'une étude pandomaniale chez l'épinette noire et l'information qui en découle. Du point de vue pratique, ces essais permettent de recommander aux reboiseurs les provenances les plus performantes à utiliser dans les différentes régions de la province, provenances qui, dans certains cas, offrent des rendements supérieurs aux sources locales. Ainsi, un gain est obtenu rapidement en attendant que les variétés synthétiques soient créées et que des graines issues de ces variétés soient disponibles aux reboiseurs pour chaque zone d'amélioration ou de transfert de semences délimitée. On a constaté des rendements supérieurs d'au-delà de 50 % en volume, à l'âge de 25 ans, des provenances recommandées pour le reboisement par rapport à la moyenne des provenances d'origine québécoise testées chez l'épinette blanche, par exemple (Beaulieu, 1994).

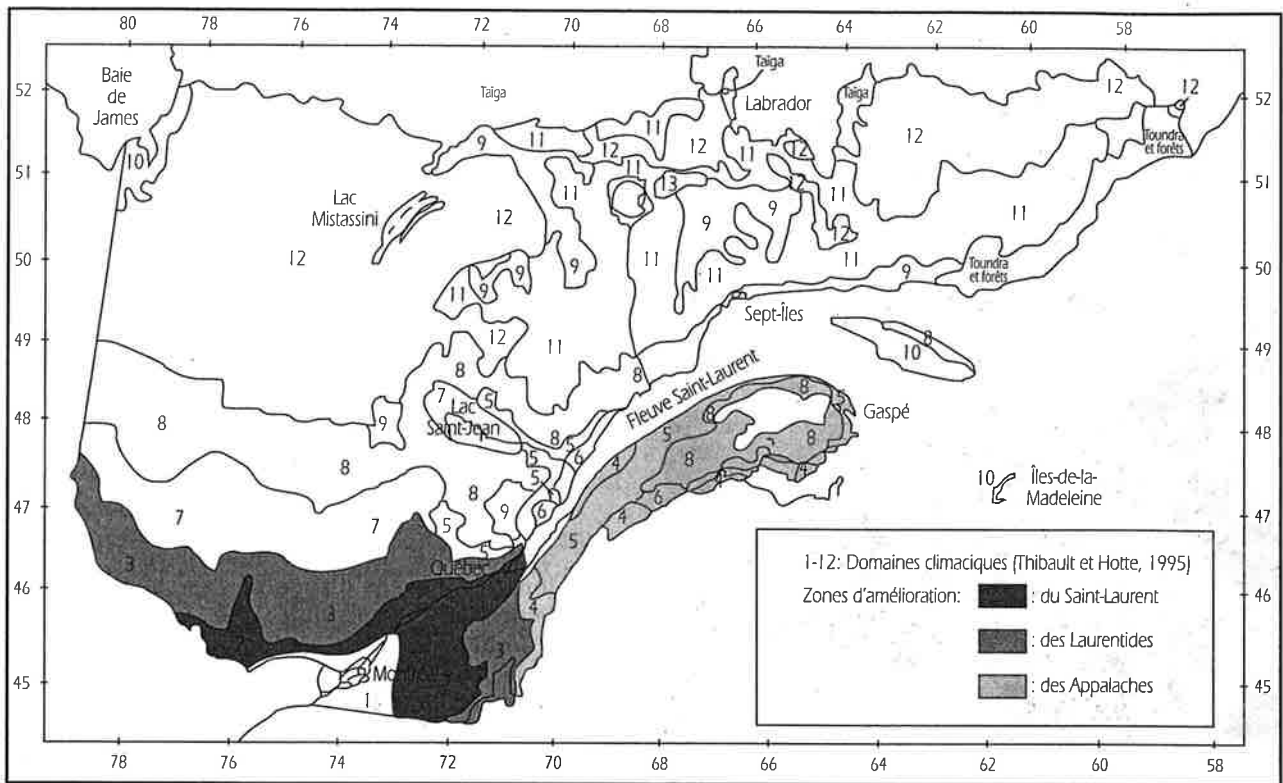
b) Tests génécologiques

L'évaluation en milieu homogène des descendances récoltées lors de l'échantillonnage du bassin génique est réalisée dans les tests génécologiques établis dans différentes régions d'utilisation de l'espèce. L'évaluation de la variabilité génétique à partir de descendances permet d'obtenir davantage d'information sur la part qui est contrôlée par les gènes et sur l'interaction génotype-milieu, d'évaluer l'héritabilité des caractères, leur corrélation génétique et de calculer les gains génétiques attendus d'une sélection.

2.3.3 Sélection

La performance des descendances détermine le choix des arbres élités. C'est à partir de cette information que s'effectue la troisième étape, la sélection, qui vise à ne retenir qu'une certaine proportion d'individus qui se montrent supérieurs à la moyenne pour un ou plusieurs caractères. Ces individus sélectionnés forment la population d'amélioration. Les gains obtenus de la sélection (performance de la population d'amélioration moins performance de la population d'évaluation) dépendent de l'héritabilité et de la variabilité du caractère considéré, ainsi que de la pression de sélection, i.e. de la proportion relative de la population d'évaluation conservée (section 1.3.4).

Figure 5
Zones d'amélioration proposées pour l'épinette de Norvège au Québec



Source : Corriveau *et al.*, 1988.

Diverses méthodes de sélection, telles la sélection familiale, la sélection intra-familiale, une combinaison des deux premières ou la sélection sur indices, peuvent être utilisées (Bousquet *et al.*, 1994). Cette dernière est la plus efficace, car elle permet de tenir compte simultanément de plusieurs caractères lors de la sélection.

La population d'amélioration sert à former la population de production, i.e. les génotypes parentaux qui produiront les propagules génétiquement améliorées utilisées en reboisement, produites par voie sexuée (graines produites dans les vergers à graines) ou clonale (boutures, embryons somatiques). La culture, à des fins de production de graines, des génotypes parentaux sélectionnés pour constituer la variété synthétique, est la méthode généralement utilisée pour la production de propagules ; c'est ce qu'on appelle un verger à graines.

Dans le cas où le matériel sélectionné est propagé par voie sexuée, il est nécessaire d'évaluer l'aptitude des parents à transmettre leurs caractéristiques supérieures à leur descendance. Un arbre dont l'aptitude générale à la combinaison est élevée est un génotype qui, lorsqu'on

le croise avec l'ensemble des génotypes dans le verger à graines, produit une descendance au rendement égal ou supérieur à ses parents. Les génotypes supérieurs qui démontrent une faible aptitude à la combinaison ne sont pas retenus dans la composition de la population d'amélioration puisque leurs descendances, de qualité inférieure, contribueraient à diminuer la performance générale de la variété améliorée.

2.3.4 Croisements

La seconde phase d'un programme d'amélioration consiste donc à réaliser des croisements entre les arbres sélectionnés, i.e. au sein de la population d'amélioration (figure 6). Les descendances issues de ces croisements dirigés sont évaluées dans un ou des tests comparatifs construits de façon à pouvoir comparer les familles biparentales et à obtenir de l'information sur l'aptitude spécifique à la combinaison des parents. C'est sur la base de la performance des descendances que le choix définitif des génotypes parentaux se fera. Suivra alors une éclaircie du verger à graines pour ne conserver

Figure 6
Illustration d'un croisement dirigé réalisé
sur une greffe d'épinette blanche



Armand Corriveau, Ressources naturelles Canada

que les génotypes devant produire, par reproduction sexuée, la variété synthétique. Les graines obtenues sont alors récoltées, traitées et utilisées dans les programmes de production de plants forestiers pour répondre aux besoins des reboiseurs.

Ce schéma général d'un programme d'amélioration résume la marche à suivre pour la création de variétés génétiquement améliorées. Cependant, afin de gagner du temps, une sélection phénotypique qui consiste à choisir les plus beaux individus dans un peuplement naturel est généralement utilisée pour entreprendre un programme d'amélioration. Bien que cette méthode de sélection soit très peu efficace pour les caractères à faible héritabilité (généralement ceux d'intérêt économique), elle permet un gain de 1 à 5 % par rapport à un échantillonnage sans sélection. On récolte alors des graines et des greffons sur les arbres sélectionnés, alors appelés arbres-plus, graines que l'on utilisera dans l'évaluation du potentiel génétique de ces familles par le biais de tests de descendance; quant aux greffons, ils seront utilisés pour multiplier ces individus. Ces ramets seront établis dans un parc d'hybridation et l'ensemble des génotypes constitue la population d'amélioration de première génération. Ces mêmes génotypes sont égale-

ment utilisés pour constituer les vergers à graines de première génération; des vergers dits de clones. Dans d'autres cas, on plantera directement les vergers à graines à partir des semis obtenus des graines récoltées sur les arbres-plus. Ces vergers sont dits de semis. L'information tirée des tests de provenances/descendance permettra d'identifier les familles peu performantes et donc les génotypes à retirer du verger à graines.

Les caractéristiques essentielles d'un programme de sélection et d'amélioration sont donc :

- de maximiser les gains génétiques par unité de temps (% d'amélioration par rapport au témoin) tout en conservant la diversité génétique, élément de base de tout programme;
- de minimiser le temps requis pour compléter un cycle d'amélioration. Pour ce faire, on fait appel aux méthodes d'évaluation précoce ainsi qu'aux méthodes de greffage et d'induction florale, qui favorisent une production fructifère abondante et précoce des arbres retenus dans le plan de croisement;
- de minimiser les coûts économiques en utilisant tous les moyens disponibles permettant d'être le plus efficace possible;
- d'acquérir une base génétique la plus large possible, condition *sine qua non* à l'obtention de gains génétiques à chaque cycle de sélection. Il est important de reconnaître que chacun des cycles augmente les gains, mais rétrécit la base génétique.

2.4 Situation actuelle et perspectives

Plus d'une dizaine d'essences font présentement l'objet d'un programme d'amélioration génétique au Québec (tableau 1) par les généticiens du Service canadien des forêts du Centre de foresterie des Laurentides et par ceux du Service d'amélioration des arbres du ministère des Ressources naturelles du Québec. De nombreuses informations sur la génétique de ces espèces ont été recueillies au fil des années, mais il reste encore beaucoup à faire pour tirer un profit maximum des connaissances acquises. Les tests établis il y a plus de 20 ans commencent à peine à révéler la valeur de chaque famille ou provenance, à permettre d'effectuer des sélections éclairées et à mettre en place des stratégies efficaces d'amélioration génétique. Cette dernière demande un engagement à long terme et seuls des tests génécologiques bien établis et bien suivis peuvent fournir un retour intéressant sur les investissements consentis.

Auparavant, on a accordé beaucoup d'importance aux caractères de croissance dans la sélection. Sans négliger ces derniers à l'avenir, les méthodes devront être raffinées pour évaluer plus précisément la capacité de résistance ou de tolérance des génotypes à divers

facteurs biotiques et abiotiques adverses et accorder un poids grandissant à ces caractères. L'utilisation de la sélection sur indice devra être généralisée. De même, il faudra trouver les moyens de raccourcir la durée de la période d'évaluation du matériel. Quant à la phase des croisements, on a déjà réussi à diminuer sa durée chez plusieurs essences grâce à l'utilisation des techniques d'induction florale.

Tableau 1

Programmes de recherche en génétique forestière et amélioration des arbres menés au Québec en 1995

Projets	Organismes participants*
Amélioration génétique de l'épinette noire	MRNQ
Amélioration génétique du pin gris	MRNQ, UQ
Génétique et amélioration de l'épinette blanche	SCF, UL, UQ, MRNQ
Génétique et amélioration de l'épinette de Norvège	SCF, MRNQ
Génétique et amélioration du pin blanc	SCF, UL
Amélioration génétique des mélèzes	MRNQ
Amélioration génétique du pin sylvestre	MRNQ
Génétique et amélioration des peupliers	MRNQ
Génétique et amélioration des feuillus nobles	MRNQ, UL
Génétique et amélioration de l'érable à sucre	MRNQ, UL

* SCF: Service canadien des forêts – Région du Québec; MRNQ: Ministère des Ressources naturelles du Québec – Secteur Forêts; UL: Université Laval – Faculté de foresterie et de géomatique; UQ: Université du Québec.

3. PRODUCTION DE VARIÉTÉS AMÉLIORÉES

3.1 La voie sexuée

Les plants résineux utilisés dans les reboisements au Québec étaient, jusqu'à tout récemment, produits exclusivement à partir de graines récoltées sur des arbres en peuplement naturel ou en plantation. Ils étaient donc issus de la pollinisation libre entre arbres de diverses qualités. Depuis le milieu des années 1970, des efforts particuliers ont été faits pour localiser et aménager les meilleurs peuplements en éliminant les

arbres de moins bonne qualité, constituant ainsi les peuplements semenciers. Puis, vers la fin des années 1970, le Québec s'est engagé dans un vaste programme de sélection d'arbres en forêt naturelle (figure 7) dont l'objectif était d'abord de constituer le matériel de base de plantations visant à produire, par pollinisation libre, des graines de qualité supérieure et en grande quantité; ce sont les vergers à graines (figure 8). Parallèlement, on conservait des copies végétatives des arbres sélectionnés en parcs à clones dans le but de croiser artificiellement ces arbres entre eux et ainsi d'identifier les meilleurs génotypes. Par ces diverses méthodes de production de graines, on s'attend donc à ce que la qualité du matériel produit augmente avec l'intensité de sélection des arbres mères et avec le contrôle de la fécondation entre eux.

Un verger à graines est une plantation de clones ou de descendants d'arbres sélectionnés, isolée ou aménagée pour éviter ou réduire la pollinisation (par des arbres) de sources extérieures, et aménagée pour une production de graines fréquente, abondante et facilement récoltable (Feilberg et Soegaard, 1975). Dans leur définition, Lamontagne et Corriveau (1982) parlent en plus de production rapide de graines améliorées.

Les vergers à graines répondent d'abord à un premier objectif, soit de produire une grande quantité de graines pour satisfaire les besoins de reboisement. Évidemment, l'envergure du programme de reboisement au Québec peut être sujette à des fluctuations importantes entre le moment où on planifie l'établissement d'un verger et celui où il entre en production. Par contre, un surplus de production peut être vu comme une opportunité pour effectuer une récolte sélective de cônes sur certains clones ou familles plus performants, alors qu'un déficit de production peut être compensé par divers traitements de stimulation de la floraison visant à produire des graines plus rapidement, plus régulièrement et en plus grande quantité.

Le deuxième objectif des vergers à graines est la « qualité » des graines produites. Elle est fonction de la qualité génétique des arbres, de leur répartition dans le verger, des aménagements visant à réduire les facteurs néfastes externes (contamination par le pollen étranger, compétition, maladies, etc.). Elle dépend aussi de la proportion de la variation observée chez les caractères des parents transmise aux descendants et des croisements qui se feront à l'intérieur du verger. Lorsque ces facteurs sont réunis, les graines récoltées dans un verger à graines sont donc susceptibles de fournir des semis supérieurs à ceux provenant d'arbres non sélectionnés.

Figure 7
**Arbre-plus sélectionné en forêt
 pour ses caractéristiques phénotypiques**



Armand Corriveau, Ressources naturelles Canada

3.1.1 Types de vergers à graines

Il existe deux types de vergers à graines, soit le verger à graines clonal et le verger à graines de semis, tel qu'indiqué à la section 2. Le choix d'un type de verger sera influencé par les caractéristiques de l'espèce utilisée (précocité de la production surtout) et par le niveau d'amélioration de l'espèce.

3.1.1.1 Verger à graines de semis

Ce type de verger est le plus souvent établi à partir de graines provenant d'arbres sélectionnés phénotypiquement, i.e. d'après leur apparence extérieure seulement. Ces arbres sont communément appelés « arbres-plus » ou « arbres sélectionnés ».

Au Québec, ce type de verger a été adopté pour l'épinette noire et le pin gris seulement. Ces deux

espèces produisent des cônes dès l'âge de 8-10 ans après la plantation de sorte que des graines améliorées deviennent disponibles pour le reboisement dans un temps relativement court. Il est à noter que des vergers de semis peuvent être établis pour toutes les essences. Cependant, dans plusieurs cas, la production de graines sera retardée.

Ses avantages

L'établissement du verger et du test de descendances se fait simultanément. L'élimination des familles indésirables dans le verger peut donc se faire assez tôt à la suite des résultats du test.

Ses désavantages

Un grand nombre de familles est nécessaire, au départ, pour avoir une base génétique large et éviter les dangers d'endogamie après l'éclaircie génétique. L'endogamie est la réalisation de croisements entre individus apparentés dont découle une augmentation du nombre de loci à l'état homozygote chez les descendants et qui se traduit généralement chez les conifères par une diminution de la qualité des descendants.

3.1.1.2 Verger à graines de clones (verger clonal)

Dans ce type de verger, les arbres-plus sélectionnés pour leurs caractéristiques désirables sont reproduits végétativement, le plus souvent par greffage. Le bouturage peut être utilisé si les arbres à reproduire sont jeunes (section 5.2).

Il est avantageux d'utiliser ce type de verger, composé de clones, i.e. d'individus (ramets) issus végétativement d'un même arbre sélectionné (ortet), pour toutes les espèces résineuses croissant au Québec et qui ne produisent des cônes qu'à un âge avancé : épinettes blanche, rouge et de Norvège ; pins blanc, rouge et sylvestre ; mélèzes d'Europe, du Japon et leurs hybrides. Le verger clonal peut aussi servir dans le cas de l'épinette noire et du pin gris pour des générations subséquentes ou pour des vergers à caractère spécial.

Ses avantages

- L'âge physiologique des greffons étant le même que celui de l'arbre parent, la production commerciale de graines, chez les essences nommées précédemment, peut y débiter beaucoup plus tôt que dans un verger de semis.
- Il est aussi avantageux pour multiplier des arbres présentant des caractéristiques fortement héréditaires et pour reproduire les mêmes croisements dans plusieurs vergers à graines ou encore dans de nombreux blocs d'un même verger.

Figure 8

Verger à graines d'épinette blanche de première génération situé dans le canton Labrosse



Jean Beaulieu, Ressources naturelles Canada

Ses désavantages

- Des pertes de greffes dues à l'incompatibilité entre le porte-greffe et le greffon sont possibles. Ce phénomène se révèle parfois plusieurs années après le greffage.
- Les plants greffés peuvent développer des formes différentes de celle d'un arbre, par plagiotropisme, par exemple.
- En raison de nombreuses sources potentielles de pertes, il faut produire un plus grand nombre de ramets que nécessaire du même ortet.

3.2 Planification

3.2.1 Territoire desservi et nombre de semenciers nécessaires

À moins qu'il ne soit constitué de matériel ayant démontré une supériorité dans des tests faits dans plusieurs régions écologiques, chaque verger à graines est habituellement établi pour produire les graines nécessaires au reboisement d'un territoire restreint. Au Québec, ce dernier est généralement limité, pour la première génération, à une ou quelques unités de gestion dans une région écologique donnée. Dans certains cas particuliers, un verger pourra desservir partiellement deux zones adjacentes.

Pour la majorité des essences autochtones au Québec, les vergers à graines de première génération

ont été établis presque exclusivement sur une base locale, c'est-à-dire à l'intérieur du territoire où ont été sélectionnés les arbres-plus. En l'absence d'information suffisante venant des plantations comparatives, cette stratégie a permis de gagner du temps tout en minimisant les problèmes potentiels d'adaptation de la descendance produite.

Les objectifs de régénération ont été fournis par le Service de la production de plants (SPP) et la région concernée, et ont formé la base des calculs de planification des vergers. Grâce à la connaissance de la production moyenne de graines par arbre et de l'intervalle entre deux bonnes années semencières, on a pu évaluer, pour chaque région, le nombre de semenciers nécessaires (Rainville, 1990).

3.2.2 Sélection d'arbres-plus

La sélection des arbres-plus est une étape très importante des premières phases d'un programme d'amélioration. En effet, les arbres réunis constituent la première génération de parents supérieurs, producteurs des graines améliorées et fournisseurs du matériel de base pour les travaux subséquents.

Les divers critères et modalités à observer pour la sélection d'arbres-plus sont spécifiés à l'intérieur d'une brochure intitulée *Guide relatif à la sélection d'arbres-plus* (Lamontagne, 1985).

3.2.2.1 Nombre d'arbres-plus à sélectionner pour les vergers de semis

Le nombre d'arbres-plus à sélectionner pour les vergers à graines de semis a été fixé à environ 350 en fonction des contraintes d'espacement des semenciers et de superficie totale du verger.

Ce grand nombre d'arbres s'explique par le fait qu'on ne connaît pas au départ la valeur génétique des arbres sélectionnés. De plus, comme le verger à graines est constitué de descendants de ces arbres-plus dont l'origine paternelle est inconnue, il est important d'y incorporer un grand nombre de familles pour s'assurer d'une base génétique très large et pour permettre une plus grande intensité de sélection. À ces raisons s'ajoute aussi celle que, dans un verger, les strobiles femelles ne sont pas tous réceptifs en même temps; il existe en effet une variation à l'intérieur d'un même arbre, d'un arbre à un autre ainsi que d'une famille à une autre. Plus le nombre de familles introduites dans le verger est grand, plus la période de dispersion du pollen sera susceptible d'être prolongée et plus les chances de fécondation des ovules seront augmentées.

Finalement, il faut prévoir qu'une éclaircie génétique du verger entraînera l'élimination d'environ 75 % des familles. Pour réduire les dangers d'endogamie, consécutifs à cette éclaircie et assurer un niveau acceptable de diversité dans la composition finale du verger, il est aussi primordial d'établir une population de base de grande taille et de base génétique large.

3.2.2.2 Nombre d'arbres-plus à sélectionner pour les vergers de clones

Le nombre moyen d'arbres-plus sélectionnés pour constituer un verger à graines clonal au Québec est de 225. Ce nombre est inférieur à celui d'un verger à graines de semis parce que les greffes rassemblées dans ce type de verger à graines sont des copies génétiquement identiques aux arbres déjà sélectionnés. Ainsi, la valeur génétique du matériel que l'on retrouve dans le verger à graines clonal est plus sûre que celle du matériel issu de pollinisation libre constituant des vergers à graines de semis. Pour cette raison, on ne prévoit pas *a priori* y effectuer d'éclaircie génétique.

Par ailleurs, il faut sélectionner suffisamment d'arbres pour tenir compte de divers facteurs telles la perte de greffes due à l'incompatibilité entre le porte-greffe et le greffon – phénomène qui se révèle parfois plusieurs années après la réalisation de la greffe – et une faible production de strobiles mâles et femelles; ces facteurs risquent d'avoir un effet négatif sur la population initiale du verger.

À cela s'ajoutent les possibilités d'autofécondation; chaque arbre-plus étant représenté par plusieurs ramets

dans le verger, les croisements entre ceux-ci produisent des descendants appauvris, en perte de vigueur. Un nombre insuffisant de clones, jumelé à une faible distance entre deux ramets d'un même clone, augmente les chances d'autofécondation.

3.2.3 Dispositif utilisé

La qualité génétique de la graine produite dans un verger à graines dépend de la provenance, de la qualité et du nombre d'arbres-plus représentés dans le verger, du nombre de ramets par clone ou de semis par famille et de la distribution spatiale des ramets ou semis (Anonyme, 1987).

Dans le cas de vergers dits classiques, on cherchera à favoriser des croisements uniformément répartis entre les individus de toutes les familles ou clones présents. On favorisera ainsi la panmixie et la minimisation de l'endogamie en contrôlant la disposition des géniteurs dans le verger. Dans les cas où la valeur en croisement de chaque géniteur du verger est connue, on peut favoriser les croisements entre les meilleurs d'entre eux pour créer une élite. Il existe également une autre classe de vergers; les vergers évolutifs (Nanson, 1986). Ceux-ci sont habituellement constitués d'arbres greffés placés dans des récipients de grand volume. Il est alors possible de changer à volonté la position de chaque arbre dans le verger de façon à favoriser certains croisements. De plus, avec ce type de verger, on peut également remplacer facilement des géniteurs par d'autres plus performants. À ce jour, seuls les vergers du premier type ont été installés; les autres en sont à l'étape de la recherche et du développement.

3.2.3.1 Verger à graines de semis

Les vergers à graines de semis ont été établis au Québec selon un dispositif en blocs aléatoires complets. Chacun des blocs est subdivisé en quatre unités identiques, appelées répétitions (A-B-C-D), qui contiennent chacune un représentant de chaque famille issue des arbres sélectionnés. Disposés en groupes de quatre, ils regroupent ainsi des semis appartenant chacun à une famille différente, plantés à un mètre du point central (fiche métallique); leur position est identifiée par les quatre points cardinaux (nord, sud, est, ouest) (figure 9). Ce dispositif à quatre semis de familles différentes par emplacement se justifie par le fait que dans le cas d'une éclaircie génétique d'une intensité de 75 %, il y a une plus grande probabilité qu'un des quatre arbres appartienne à l'une des 25 % de familles supérieures. Si alternativement on avait décidé d'utiliser quatre semis d'une même famille à chaque emplacement, il y aurait eu davantage de

chances de créer de grandes trouées en effectuant l'éclaircie génétique.

3.2.3.2 Verger à graines clonal

Contrairement au verger à graines de semis, les blocs des vergers à graines clonaux n'ont pas été subdivisés en répétitions; de plus, une seule greffe a été mise en terre par emplacement. Par contre, à l'intérieur de chaque bloc du verger, on peut retrouver un ou plusieurs ramets du même clone. Des programmes informatiques ont été développés pour assurer une répartition aléatoire conditionnée ou non par les liens de parenté des ramets (Beaulieu *et al.*, 1985).

3.2.4 Localisation

3.2.4.1 Localisation géographique

Lorsqu'il s'agit de choisir le site où sera installé un verger à graines, une des premières questions auxquelles il faut répondre, c'est: «L'environnement favorise-t-il la production de strobiles?» (Zobel et Talbert, 1984). Au Québec, nous avons choisi de localiser chaque verger à l'intérieur de la zone d'utilisation de la graine, c'est-à-dire le territoire desservi par le verger. Cette pratique assure en effet que la vigueur de l'arbre est maintenue et que la production de graines ne sera pas affectée. Une autre question dont la réponse est tout aussi cruciale est: «Y a-t-il un danger élevé de contamination pollinique par des sources exogènes?» S'il existe dans le voisinage des peuplements naturels de la même essence que celle du verger que l'on désire établir, il se peut que le site envisagé ne soit pas approprié.

3.2.4.2 Choix de l'emplacement

Il faut à tout prix éviter les sites avec présence de zones d'accumulation de froid où les dangers de gelées tardives sont élevés. On doit donc chercher à établir les vergers à graines aux endroits où il y a une bonne circulation d'air, ce qui permet d'évacuer rapidement l'air froid situé dans les dépressions. Quant à la topographie, un terrain plat ou ayant une légère pente vers le sud est recherché. La texture du sol consiste idéalement en un loam sableux en surface, à dominance de sable en sous-sol favorisant le drainage de l'excès d'eau. Un sol modérément fertile ne favorisera pas la croissance végétative aux dépens de la production de graines (comme le ferait un sol très fertile) et n'induit pas non plus de carences chez les plants (comme les sols sableux). Finalement, puisque la contamination des vergers à graines par du pollen étranger entraîne une perte de gain génétique chez les descendants – causant ainsi des pertes économiques qui

peuvent être considérables (Snieszko, 1981) –, il est préférable d'établir les vergers à graines sur un territoire où il n'existe pas de grandes concentrations de la même espèce, à défaut de quoi il est essentiel d'aménager un coupe-pollen (section 3.4.5.1). En dernier lieu, il faut considérer les facteurs pratiques pour l'aménagement tels que l'accessibilité des lieux et la proximité de la main-d'œuvre et du matériel requis.

3.3 La préparation de terrain

La préparation de terrain sera plus intensive pour les vergers à graines clonaux que pour les vergers à graines de semis. Les raisons sont les suivantes:

- les vergers clonaux ont un seul semencier par emplacement, au lieu de quatre dans le cas des vergers de semis; il est donc important que chaque arbre survive pour contribuer au «pool génétique» total et produire la quantité de graines nécessaire;
- chaque semencier est une greffe dont la valeur est importante, autant parce qu'elle représente une copie génétique de l'arbre mère qu'en raison de son coût élevé.

La préparation intensive des terrains, qui vise à favoriser la croissance et le développement des plants, a pour effet de:

- mélanger l'humus au sol minéral,
- rendre les éléments nutritifs disponibles plus rapidement,
- permettre l'incorporation des engrais prescrits (chaux, engrais verts, etc.),
- faciliter la circulation des véhicules lors de la plantation et des travaux d'aménagement subséquents.

Pour les vergers à graines clonaux établis en terrains forestiers, on procédera d'abord à la coupe de bois et au nettoyage du terrain pour éliminer les déchets de coupe, ensuite le sol sera labouré et hersé; même si ces opérations sont plutôt difficiles en milieu forestier, elles permettent de bien mélanger le sol minéral et l'humus et d'incorporer des éléments nutritifs au sol ou d'en rééquilibrer l'acidité (pH) à la suite des analyses d'échantillons prélevés sur le terrain.

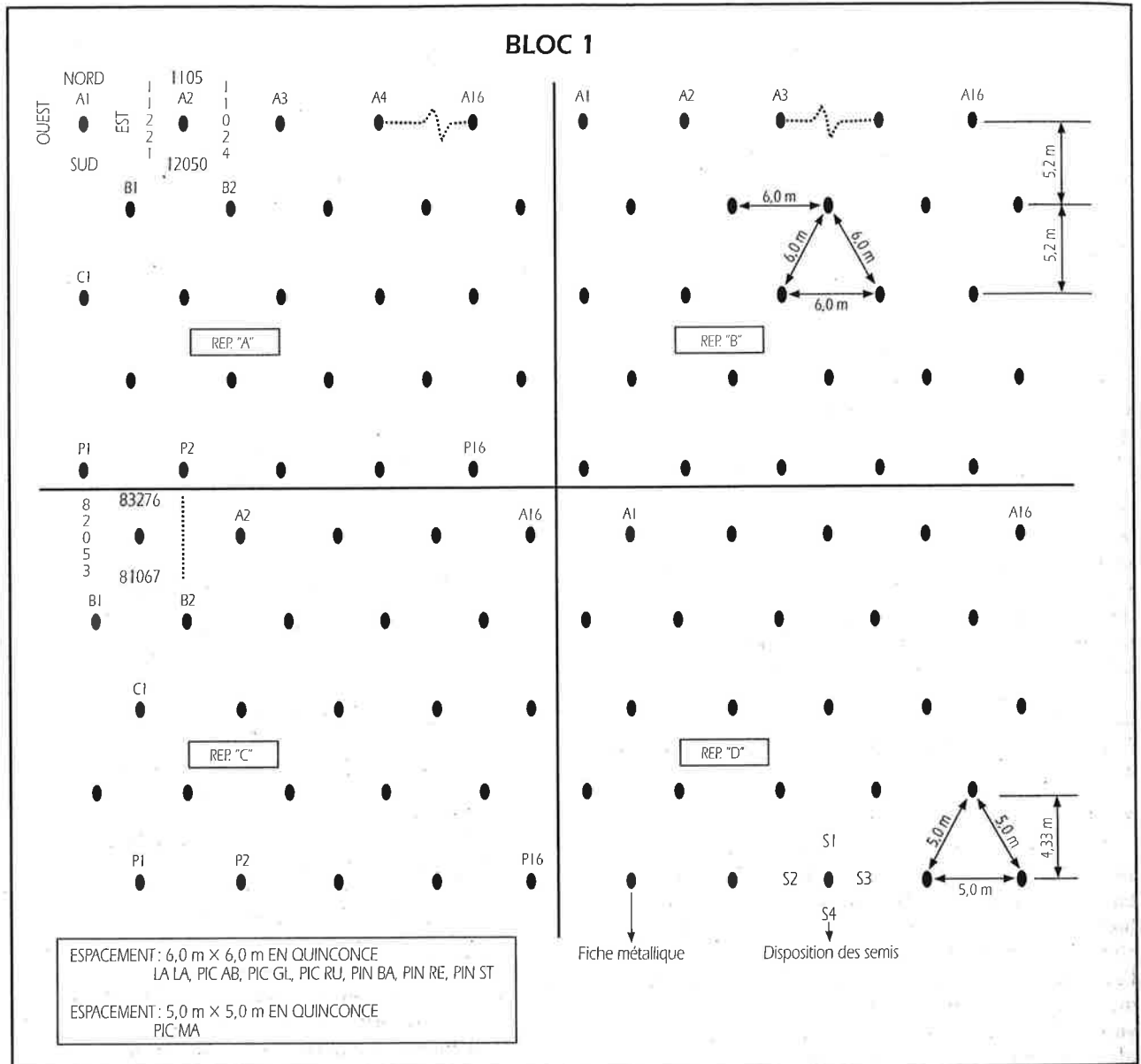
La plupart des vergers à graines de semis sont établis sur des terrains forestiers. La préparation de terrain après la coupe de bois consiste donc principalement à ramasser les débris ligneux (en andains ou en tas) pour nettoyer le mieux possible le terrain, et à les brûler.

3.4 Aménagement

Après la plantation et la mise en plan du verger à graines, les plants (greffes ou semis) ont besoin de

Figure 9

Disposition des groupes de quatre semis dans un bloc d'un verger à graines de semis



La position de chaque semis est indiquée par le numéro de la famille et définie par les points cardinaux.

soins pour leur permettre de croître le plus rapidement possible. Ils peuvent consister en des interventions directes, comme la taille, ou indirectes telles la fertilisation, la protection contre les agents pathogènes, etc. Plus tard, quand ces plants ont acquis une certaine maturité et sont aptes à se reproduire, les interventions

dans le verger ont pour objectif principal d'optimiser la quantité et la qualité des graines.

3.4.1 Espacement des semenciers

L'espacement final entre les semenciers dans un verger à graines doit être déterminé en tenant compte,

entre autres, des considérations suivantes : la production de cônes, la configuration de la cime des diverses essences, la position normale des cônes sur la cime, l'utilisation de machinerie dans le verger.

Un des principaux facteurs favorisant la production de cônes est la lumière. L'espacement doit être tel qu'il permette aux branches porteuses de strobiles de recevoir le plus de lumière possible dès que l'arbre commencera à produire. Les épinettes ont, de façon générale, une cime plus étroite que celle des pins et des mélèzes. Ce facteur doit aussi être pris en considération dans le choix d'un espacement. En général, l'épinette noire porte la majorité de ses cônes dans le tiers supérieur de la cime vivante. L'espacement pourra être plus étroit pour cette essence que pour les pins gris, rouge et sylvestre ainsi que pour les mélèzes qui peuvent produire des cônes jusque sur les premiers verticilles près du sol lorsqu'ils croissent en pleine lumière. Enfin, il faut prévoir un espacement final suffisant entre les semenciers de façon à faciliter l'usage d'équipement ou de machinerie pour entretenir le verger et récolter les cônes.

Compte tenu de ces considérations, l'espacement retenu au Québec est de 5 mètres entre les plants dans le cas de l'épinette noire, et de 6 mètres pour toutes les autres essences. Il faut, en dernier lieu, mentionner que la superficie totale d'un verger à graines ne dépasse jamais 25 hectares.

3.4.2 Répression de la compétition

Afin d'éviter que les arbres du verger ne subissent une diminution de croissance causée par la compétition pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs, de réduire au minimum les habitats propices aux animaux nuisibles (mulots, lièvres, porcs-épics) et de permettre une meilleure circulation dans le verger, il est important de réprimer toute végétation susceptible de nuire aux arbres du verger.

Puisque le Québec s'est donné comme objectif d'éliminer complètement l'utilisation des pesticides chimiques d'ici l'an 2001 (Anonyme, 1994), la répression de la végétation dans les vergers à graines devra se faire par des moyens mécaniques à l'avenir. Dans cette optique, on peut discerner deux types d'intervention, soit celles en milieu agricole – pour les vergers clonaux principalement – et celles en milieu forestier – surtout les vergers de semis.

3.4.2.1 Vergers clonaux

Une fois la plantation des greffes réalisée, on applique un paillis de plastique de 1 m² de surface à la base de chacun des semenciers, pour garder à distance la végétation compétitrice et préserver l'humidité

du sol à proximité de la greffe même par temps sec. La distance entre les paillis permet le passage d'une tondeuse agricole (tirée par un tracteur).

3.4.2.2 Vergers de semis

L'emploi du paillis de plastique dans les vergers de semis n'est pas recommandé en raison des coûts trop élevés (très grand nombre de plants par rapport au verger clonal) et de la difficulté d'installation (moins bonne préparation de terrain). La végétation plutôt ligneuse – cerisiers, trembles, bouleaux – nécessite l'utilisation d'une débroussailleuse tirée par un tracteur.

3.4.3 Soins aux greffes (vergers clonaux)

Une fois mises en terre, les greffes ont besoin de beaucoup de soins et de précautions. Le tuteurage et la taille des greffes sont les principales opérations à effectuer dans les vergers à graines clonaux au cours des premières années.

3.4.3.1 Tuteurage

La pose d'un tuteur est essentielle dans les vergers à graines clonaux seulement. Elle vise à soutenir une greffe qui paraît fragile, à prévenir les dommages dus à la neige ou encore à lui redonner une forme érigée. Toutes les greffes sont tuteurées systématiquement dès la première année. Le tuteurage peut cesser lorsqu'elles sont robustes et ont une forme érigée, et dès que l'union du greffon et du porte-greffe s'est bien cicatrisée et est solide.

3.4.3.2 Taille des greffes

Cette opération a deux objectifs : soit de favoriser la dominance apicale des greffes, auquel cas on doit faire attention de ne pas éliminer trop rapidement les branches compétitrices puisque la survie même de la greffe pourrait en dépendre (une réduction drastique de la masse foliaire diminuerait la capacité de photosynthèse de la greffe), soit l'élimination complète des branches du porte-greffe. Dans les deux cas, il faut agir avec beaucoup de discernement puisque chaque greffe représente un cas particulier ; la taille des greffes est donc une opération qui doit être réalisée sur une base annuelle par des ouvriers qualifiés.

3.4.4 Analyses foliaires et fertilisation

3.4.4.1 Analyses foliaires

Les analyses foliaires permettent de diagnostiquer toute carence nutritive susceptible de nuire à la croissance et à la production des arbres du verger à graines. Ces analyses sont faites à partir d'échantillons de

pousses annuelles récoltées à l'automne de la 3^e, 4^e et 5^e année de plantation du verger. Les éléments minéraux déterminés au laboratoire sont l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca) et le magnésium (Mg). Les concentrations ainsi obtenues sont analysées en tenant compte de divers facteurs susceptibles d'expliquer le niveau de fertilité obtenu (type de végétation de surface; nature du sol et de la préparation de terrain; dégagements et fertilisations antérieurs, etc.), et sont comparées à des standards de fertilité par espèce.

Étant donné que les concentrations en éléments minéraux présents dans le feuillage sont influencées par plusieurs facteurs (précipitations, sécheresses, travaux de dégagement, etc.), des recommandations basées sur les résultats d'une seule année ne refléteraient pas l'état général de fertilité du verger. C'est pourquoi les résultats d'analyses des tissus sont compilés sur une période de trois ans. La fertilisation *spécifique* à partir des résultats d'analyses foliaires n'aura donc lieu qu'au printemps de la 6^e année suivant l'établissement, soit lorsque le verger a cinq ans (cinq années de croissance).

3.4.4.2 Fertilisation

L'objectif premier des vergers à graines étant de produire aussi rapidement que possible une quantité appréciable de graines améliorées, le niveau de fertilité du sol doit être optimisé par l'apport de fertilisants. La nature du traitement variera selon divers facteurs, dont le stade de développement des plants et l'objectif de production visé.

3.4.4.2.1 Période juvénile du verger

L'analyse de sol effectuée lors de la préparation du terrain aura permis d'évaluer sa fertilité pour en corriger les carences nutritives, s'il y a lieu, par l'apport de fertilisants appropriés. Ainsi, pendant les trois premières années d'établissement du verger, si la préparation de terrain et les premiers amendements ont été bien faits, les conditions de fertilité du sol ne devraient pas limiter la croissance des plants. De plus, ces plants (semis ou greffes) ont des besoins nutritifs assez restreints durant cette période; le développement de leur système racinaire subit un court retard, consécutif au choc de la transplantation. Leur croissance dépend en grande partie du taux d'humidité du sol et des conditions de culture qui ont existé en pépinière. Par la suite, le système racinaire se développe graduellement; il est donc inutile d'appliquer à nouveau des fertilisants puisque les éléments nutritifs profiteraient davantage aux espèces compétitrices qu'aux plants du verger eux-mêmes.

Pour ces raisons, il est recommandé de les fertiliser lorsqu'ils sont bien établis et que le taux de mortalité s'est stabilisé. Le but de la fertilisation est de pourvoir à la croissance des plants. En effet, il est généralement reconnu que les gros arbres produisent des graines plus tôt, en plus grande quantité et de meilleure qualité que les arbres de moindre taille (Simpson et Smith, 1988). On doit donc chercher à accélérer la croissance des plants et à accroître ainsi la masse foliaire susceptible de porter des cônes. Il sera bon de fertiliser tôt au printemps, après la fonte de la neige et avant le débourrement des plants. À ce moment-là, le sol est gorgé d'eau (meilleure dilution du fertilisant) et le système racinaire, très actif. L'application peut se faire ou bien par pied d'arbre de façon manuelle ou bien par bandes à l'aide d'un épandeur tiré par un tracteur.

3.4.4.2.1.1 Vergers à graines de semis

Les vergers à graines de semis seront fertilisés à partir du printemps de la quatrième année d'établissement, soit lorsque le verger a profité de trois années de croissance sur le terrain; on les fera ensuite à intervalles de deux ans. La première fertilisation consistera en un amendement général ne tenant pas compte du résultat des analyses foliaires faites à l'automne précédent (pour les raisons déjà évoquées), et la seconde aura lieu au printemps de la sixième année d'établissement du verger, soit lorsque le verger est âgé de cinq ans. Cette fertilisation tiendra compte des recommandations spécifiques basées sur les analyses foliaires des trois années précédentes.

3.4.4.2.1.2 Vergers à graines clonaux

Dans les vergers à graines clonaux du Québec, on ne prévoit pas de fertilisation avant le printemps de la sixième année d'établissement. Le paillis de plastique qui entoure les greffes rend difficile l'opération de fertilisation au cours des cinq premières années. Au printemps de la sixième année, la fertilisation devra tenir compte des résultats des analyses foliaires; elle cherchera principalement à favoriser une meilleure croissance végétative.

3.4.4.2.2 Période productive du verger

Au moment où l'arbre a atteint une maturité suffisante pour produire des strobiles mâles et femelles, la fertilisation vise à stimuler une plus grande production de structures florales. Dans un verger à graines, par contre, même si quelques familles ou clones commencent à fleurir très tôt, il ne vaut probablement pas la peine de fertiliser immédiatement le verger pour induire une plus grande floraison; chaque clone ou famille n'ayant pas le même rythme de

développement, il est préférable d'attendre que la majorité des arbres du verger aient un nombre suffisant de branches susceptibles de porter des cônes.

En pratique, la fertilisation minérale est le seul traitement d'induction florale qui soit accessible et réalisable aux points de vue opérationnel et budgétaire dans les vergers à graines de première génération. Lorsqu'elle est réalisée une à deux semaines avant la différenciation des bourgeons, son effet est d'augmenter la proportion de bourgeons floraux par rapport au nombre total de bourgeons (floraux et végétatifs) (adapté de Puritch, 1972). Cette différenciation des bourgeons s'effectue chez les épinettes, par exemple, au moment de la formation des bourgeons, l'été précédant la saison de production des cônes, tandis que chez les pins elle s'effectue au cours de la même période, mais dans ce cas-ci deux ans avant la maturité des cônes (Owens et Blake, 1986).

L'engrais utilisé doit avoir l'efficacité désirée sur l'espèce à traiter. Par exemple, dans les cas de l'épinette blanche et de l'épinette noire, le nitrate d'ammonium contribue à stimuler avec plus de succès la production de strobiles mâles et femelles que les autres types d'engrais (telle l'urée).

3.4.5 Protection

3.4.5.1 Contre le pollen étranger

Lorsqu'on établit un verger à graines à l'intérieur de l'aire de distribution de l'espèce, il est essentiel de procéder à l'installation d'un coupe-pollen pour réduire au minimum la contamination par le pollen étranger. Même si la plupart des auteurs mentionnent que ces bandes de protection sont insuffisantes pour obtenir un isolement complet du verger (Wang *et al.*, 1960; Squillace, 1967; McElwee, 1970), les coupe-pollen dissipent une bonne partie du pollen de source étrangère (Zobel et Talbert, 1984). Ils sont surtout essentiels au cours des premières années de production du verger puisque les arbres du verger produisent peu de pollen à ce moment-là. À mesure que le verger vieillit, la contamination devient moins importante puisque le pollen extérieur est dilué par la production interne du verger (Faulkner, 1975).

Il y a deux façons de concevoir un coupe-pollen : par élimination des arbres de même espèce dans les environs du verger, ou par plantation d'arbres à croissance rapide autour du verger. Ainsi, McElwee (1970) a établi que chez les pins du sud la plus grande partie du pollen se dépose sur une distance de 30 à 76 m dans les peuplements denses et de 150 m dans les peuplements ouverts. Compte tenu de l'absence de ce type d'information pour nos espèces au moment de

l'établissement des vergers à graines au Québec, il a été décidé d'utiliser une bande d'une largeur minimale de 100 m pour isoler les vergers à graines du pollen étranger.

Lorsqu'on a recours à la plantation, les essences recommandées sont les peupliers hybrides, le pin sylvestre et les mélèzes. Elles sont choisies selon la nature du verger à protéger pour éviter qu'il y ait croisement entre les arbres du coupe-pollen et ceux du verger.

3.4.5.2 Contre le vent

Lorsqu'un terrain possède les propriétés nécessaires à l'établissement d'un verger à graines sans toutefois bénéficier de protection naturelle contre les forts vents (terre agricole), on peut songer à établir un brise-vent en même temps qu'on installe le verger à graines.

Selon des expériences réalisées en terrain agricole pour la protection des cultures (Institut de technologie agricole, La Pocatière), un brise-vent doit avoir une porosité d'environ 40%. La vitesse du vent est dès lors réduite, sans être annihilée, et l'air circule sans turbulence. La protection du verger est ainsi assurée sur une distance de 10 à 20 fois la hauteur du brise-vent, comparativement à un brise-vent imperméable qui n'est efficace que sur une distance de deux fois cette hauteur, sans compter qu'il se crée des tourbillons néfastes aux arbres du verger après cette distance.

Les arbres utilisés doivent pousser plus vite que ceux du verger et ne pas être de la même espèce ou d'une espèce qui s'hybride de façon naturelle avec celle du verger. Les peupliers hybrides et les mélèzes d'Europe et du Japon sont souvent recommandés.

3.4.5.3 Contre les insectes et les maladies

On peut prévenir l'apparition de problèmes entomologiques et pathologiques en choisissant bien le site où sera établi un verger : une bonne connaissance de la susceptibilité, de la fréquence d'apparition et de l'ampleur des dégâts pour un territoire donné sont des outils qui permettent de faire un choix éclairé.

Par contre, quand un insecte est présent dans un verger à graines, le gestionnaire doit d'abord identifier le pathogène et évaluer l'ampleur des dégâts : Selon son comportement (virulence, rapidité de propagation), les parties affectées de l'arbre (tronc, branches, cônes, racines) et l'étendue des dégâts, le gestionnaire doit décider de la pertinence d'intervenir pour lutter contre l'agent pathogène. Sa décision sera aussi basée à la fois sur la capacité totale de production du verger et sur les besoins réels de graines pour les reboisements. S'il décide d'intervenir, l'aménagiste aura recours à des moyens mécaniques de répression, de préférence aux moyens chimiques.

3.4.5.4 Contre les animaux

Les mulots et les lièvres sont les principales sources de problèmes dans plusieurs vergers à graines; ils peuvent causer des dommages considérables aux arbres, soit en broutant les rameaux et les bourgeons, ce qui nuit à la croissance et à la forme des arbres, soit en annelant le tronc, ce qui peut ainsi causer leur mort.

Pour prévenir l'apparition de dégâts dus aux mulots et aux lièvres, il suffit de tenir le verger très propre, d'abord en fauchant le foin, pour ensuite le ramasser ou le déchiqeueter avant l'hiver, sans oublier les branches coupées et l'élimination des tas de pierres. Quand les mulots sont présents dans un verger à graines, il est facile d'observer les nids et chemins qu'ils laissent sur le sol au printemps, ainsi que les dégâts causés aux arbres. Un premier inventaire visuel donnera un aperçu de l'ampleur des dommages. On devra alors penser à utiliser un rodenticide sous forme d'appâts placés dans des récipients adaptés à cette fin et déposés sur les chemins de passage des rongeurs près des arbres et au pourtour du verger. Pour les lièvres, mise à part la chasse à l'automne, on peut installer un grillage métallique autour de chaque arbre dans les vergers à graines.

3.4.5.5 Contre la neige et le verglas

Les dommages causés par la neige et le verglas se produisent à des périodes différentes. Le verglas qui se dépose sur l'arbre en hiver alourdit les branches et, accompagné de forts vents, peut causer des bris considérables. Les bris par la neige se produisent plutôt au printemps et affectent particulièrement les jeunes greffes. Divers types de protections hivernales ont été mis à l'essai pour empêcher la perte de greffes au printemps. La plus efficace est la jute qui sert à former un genre de cylindre autour du plant.

Dans le cas des vergers à graines de semis, la protection contre la neige et le verglas est généralement plus simple que dans le cas des vergers à graines clonaux, et ce, en raison des risques moins élevés de bris, car il n'existe pas de point de faiblesse créé par la jonction du greffon et du porte-greffe.

3.4.5.6 Contre le feu

La proximité d'une source d'eau telle qu'un lac ou une rivière est essentielle dans le choix d'un site pour un verger à graines. Elle représente une assurance en cas de feu dans le verger. Il faudra donc entretenir adéquatement les chemins d'accès à ces points d'eau.

Pour éviter qu'un feu ne se déclare autour du verger et ne s'y propage, on peut aménager un coupe-feu autour de ce dernier. Il s'agit d'éliminer toute la végétation inflammable sur une bande de 15 à 20 mètres

de largeur; le sol minéral devra donc être exposé en permanence.

3.4.6 Éclaircie génétique

L'éclaircie génétique est une opération qui vise à éliminer une partie des arbres du verger à graines. Elle a pour but:

- d'améliorer la qualité génétique de la descendance produite;
- de réduire la compétition entre les arbres pour la lumière, l'eau et les éléments nutritifs;
- de permettre un meilleur développement des branches, des strobiles et des cônes;
- de faciliter la circulation dans le verger lors du transport d'équipement ou autre matériel avec ou sans équipements motorisés.

Les éclaircies sont prévues uniquement dans les vergers de semis, et normalement vers la dixième année chez le pin gris et l'épinette noire. Elles sont basées en priorité sur les mesures prises à l'intérieur des tests de descendance qui y sont rattachés.

3.4.7 Autres techniques d'aménagement

Les diverses méthodes d'aménagement proposées auparavant peuvent être qualifiées de « techniques de base », en ce sens qu'on les utilise de façon courante depuis plusieurs années et dans différents pays, sauf peut-être l'induction florale à l'aide de fertilisants.

Si on veut déployer des efforts (financiers et humains) plus intensifs pour amener un verger à graines à sa production optimale – autant en qualité qu'en quantité de graines – on peut recourir à d'autres outils d'aménagement. Nous ne ferons que les énumérer ici en y ajoutant, si nécessaire, une brève description.

- La prise d'observations: une meilleure connaissance de l'évolution de la production de strobiles et de cônes, de la contribution de chaque clone ou famille, de la susceptibilité aux agents pathogènes et de l'ampleur de la contamination peuvent permettre d'intensifier les efforts aux bons endroits pour obtenir de meilleurs résultats.
- L'induction florale (par des moyens autres que la fertilisation minérale).
- La pollinisation artificielle, pour améliorer la qualité génétique des graines produites, surtout dans la phase juvénile du verger, et potentiellement augmenter la quantité de graines par cône.
- L'étêtage, pour faciliter la récolte de cônes.

Le lecteur pourra obtenir plus de détails dans le *Guide d'établissement et d'aménagement des vergers à graines au Québec* (Rainville, 1990).

3.5 Programme d'établissement des vergers à graines au Québec

Un programme global d'implantation de vergers à graines de première génération et de tests de descendance qui doivent les accompagner a été proposé en 1980, pour les espèces résineuses, par le Service de la régénération forestière et a été accepté par les autorités du ministère de l'Énergie et des Ressources de l'époque. Il a connu une période d'activité intense entre 1984 et 1988 durant laquelle plus de 30 vergers ont été établis. Le dernier verger a été établi en 1992.

Au total, 83 vergers à graines de première génération, d'une superficie totale de 1 083,9 ha, ont été établis au Québec pour 12 espèces résineuses. De ce nombre, 42 sont du type « de semis » ou de familles, 38 sont des vergers de clones et trois sont constitués de provenances. Ils peuvent assurer la production de près de 236 millions de plants par année, quantité largement suffisante pour subvenir aux besoins actuels du programme de reboisement du ministère des Ressources naturelles du Québec. Les détails concernant la localisation géographique de chaque verger à graines, le territoire d'utilisation des graines et leur capacité de production ont été publiés par Lamontagne (1992).

De façon générale, chaque verger a été planifié pour répondre aux besoins locaux du reboisement d'un territoire bien défini, tel qu'indiqué plus haut, mais comme les objectifs fluctuent couramment, il peut arriver que la production de certains vergers dépasse les besoins, alors que pour d'autres elle pourrait s'avérer insuffisante. Dans ce dernier cas, des techniques mises au point récemment, dont une simple fertilisation appropriée, permettent d'augmenter sensiblement le potentiel de production.

De plus, tous les calculs de superficie ou du nombre de semenciers nécessaires dans un verger ont été estimés en supposant que quatre graines viables étaient nécessaires pour produire un plant livrable. Là encore, les techniques s'améliorent et on peut prévoir que, dans un avenir rapproché, seulement deux graines viables, ou même une seule, seront nécessaires pour produire un plant livrable. Si la demande excédait encore la production, il serait toujours possible de multiplier végétativement, par bouturage, les semis issus de graines génétiquement améliorées produites dans les vergers à graines (Lamontagne, 1992).

Les premiers vergers de semis d'épinette noire et de pin gris n'ont été éclaircis que très récemment. Le suivi des tests de descendance accompagnant les vergers intacts devra donc se prolonger pendant quelques années encore, puisque les dernières éclaircies génétiques ne sont prévues que vers l'an 2005. En

ce qui a trait aux vergers à graines clonales, les graines n'ont pas été récoltées en même temps que les greffons. Aussi, aucun test de descendance pour l'évaluation des géniteurs des vergers à graines n'a été établi. Si l'on veut éventuellement évaluer ces vergers pour y effectuer une récolte sélective ou encore, compte tenu de la baisse des objectifs de reboisement, y effectuer une éclaircie pour hausser les gains génétiques attendus, il faudra mettre en place de tels tests à partir des graines récoltées dans les vergers ou issues de croisements avec du pollen composé. C'est l'option qui est présentement envisagée.

Un vaste réseau de moyens de production de graines améliorées a donc été mis en place au Québec. Les vergers à graines produiront pleinement dans la première décennie du troisième millénaire et assureront un approvisionnement continu en graines de qualité. Cette étape ne constitue toutefois pas la fin des travaux en ce domaine. En effet, nous avons vu à la section précédente que le processus d'amélioration génétique était récurrent. À chaque génération, la sélection permet de hausser les gains génétiques. Ainsi, pour concrétiser les gains attendus des travaux des améliorateurs, il faudra mettre en place d'autres moyens de production dans un avenir prochain. Il est probable que ces derniers prendront une autre forme que celle qui a été retenue pour la première génération et qu'ils seront en nombre plus limité.

3.6 La voie clonale

La voie clonale consiste à utiliser la propagation végétative pour transférer à un nouvel arbre (ramet) tout le bagage génétique de l'arbre donneur (ortet). L'ensemble des ramets issus du même ortet sont des copies génétiquement identiques et constituent un clone. En nature, les clones se forment spontanément par drageonnage (les peupliers) ou par marcottage (l'épinette noire). De la même façon que la voie clonale est utilisée en horticulture pour la reproduction de variétés présentant des caractéristiques précises, comme la couleur, le port, la forme et la résistance aux pathogènes, une analogie peut être faite avec des clones d'arbres forestiers qui possèderaient une productivité forestière améliorée, des caractéristiques du bois déterminées, une résistance à la rouille vésiculeuse, une résistance à la tordeuse des bourgeons de l'épinette ou une adaptation aux sols pauvres. Pour reproduire ces clones, comme en horticulture, les techniques de multiplication végétative utilisées permettent de faire des copies génétiquement conformes et de reproduire en grand nombre le matériel qui possède les qualités recherchées. La multiplication végétative

est utilisée sur une base régulière et opérationnelle chez plusieurs espèces des genres *Populus*, *Salix*, *Eucalyptus* et *Cryptomeria*, et est en développement pour des espèces des genres *Sequoia*, *Picea* et *Pinus*.

Au Canada, l'utilisation de la voie clonale en foresterie a débuté dans les années 1940; Carl Heimburger effectuait alors des travaux sur les peupliers en Ontario. Chez les conifères, cette approche a été empruntée à partir des années 1970. L'utilisation de la voie clonale pour les conifères aurait débuté bien avant, n'eût été la présence de barrières de nature biologique. Ces dernières, aujourd'hui mieux contrôlées, comprennent l'état de maturation des ortets, les conditions physiologiques des boutures, les phases menant à l'embryogenèse ainsi que les conditions de survie et de croissance des ramets (Libby, 1983). Au Québec, l'utilisation de la voie clonale pour la production de variétés améliorées de conifères est récente. Elle découle principalement du développement du concept de bouturathèque mis en place au Centre de bouturage de Saint-Modeste, système qui combine les technologies du bouturage en serre et de la culture *in vitro* (Vallée et Noreau, 1990). Des bancs lumineux et des casiers quasi fermés hermétiquement renferment des récipients de culture dans lesquels sont placées les boutures. Des traitements hormonaux et des pulvérisations aqueuses sont appliqués pour faciliter leur enracinement.

Il existe deux grandes classes d'utilisation des clones en foresterie. Ce sont le clonage d'arbres forestiers et la foresterie clonale. Les lignes qui suivent en donnent une description succincte.

3.6.1 Le clonage d'arbres forestiers

Le clonage d'arbres forestiers s'est étendu un peu partout dans le monde depuis quelques décennies. Toutefois son utilisation remonte à beaucoup plus loin dans le temps, i.e. à plusieurs siècles dans le cas du *Cryptomeria* sp. au Japon, par exemple. Libby et Ahuja (1993) en décrivent neuf exemples, parmi lesquels on retrouve :

- le clonage d'arbres sélectionnés pour la création de vergers à graines, dans le but de les multiplier et de redistribuer leurs gènes dans la génération suivante. Au Québec, le clonage d'arbres forestiers sélectionnés dans des peuplements naturels ou dans différentes plantations comparatives ou non a été utilisé pour la mise en place des vergers à graines clonaux d'épinette blanche, d'épinette de Norvège, de mélèze d'Europe et de pin blanc. Dans la majorité des cas, le clonage des arbres sélectionnés a été effectué par greffage ;
- l'amplification des gains génétiques par la multiplication végétative (propagation massale)

d'un nombre limité de graines ou de clones issus de provenances spécifiques, de vergers à graines ou de croisements contrôlés pour réaliser des plantations commerciales ;

- la production de matériel clonal pour des études de génétique et de physiologie. Les clones multipliés par bouturage pour évaluer les interactions génotype-milieu ou par greffage pour les études d'induction florale sont deux exemples précis ;
- la conservation *ex situ* du matériel génétique. Les banques clonales ont été créées par multiplication végétative afin d'archiver et d'assurer la conservation des génotypes sélectionnés dans les peuplements naturels et dans les essais de provenances.

3.6.2 La foresterie clonale

Les caractéristiques distinctives de la foresterie clonale ont été décrites en détail par Libby et Ahuja (1993). Essentiellement, selon Kleinschmit *et al.* (1993), ce concept mise sur l'utilisation, dans le reboisement, de clones présentant de grandes qualités autant pour la production ligneuse que pour des caractéristiques de résistance aux insectes et aux maladies. Dans sa forme la plus avancée, les clones sélectionnés ont fait l'objet de tests clonaux et sont déployés selon leurs résultats en regard des particularités écologiques des sites à reboiser.

Selon Zobel et Talbert (1984), les principaux avantages de la foresterie clonale sont :

- la possibilité d'obtenir un gain génétique plus élevé, notamment par l'exploitation de la composante non additive de la variabilité génétique (due à la dominance et à l'épistasie) qui peut être importante pour certaines caractéristiques de croissance et de qualité du bois ;
- la possibilité de produire du matériel d'une plus grande uniformité, pour des caractéristiques comme la densité du bois, l'accroissement en diamètre et la branchaison ;
- une utilisation plus rapide du matériel sélectionné pour ses qualités génétiques.

Plusieurs problèmes restent encore à résoudre sur les plans économique, technique et éthique pour que la foresterie clonale prenne définitivement son essor. Toutefois, il semble que la préoccupation majeure réside dans les risques biologiques qui sont à craindre, c'est-à-dire une diminution de la variabilité génétique normalement présente et souhaitable dans les stocks reboisés, et une plus faible capacité d'adaptation qui en découlerait (Kleinschmit *et al.*, 1993). Cette diminution de la variabilité génétique pourrait se produire dans le cas où certains aménagistes décideraient d'utiliser un nombre très faible de clones pour reboiser de grandes superficies. Pour éviter les problèmes qui pourraient découler d'une

telle pratique, de nombreux pays ont imposé une législation qui fixe des règles strictes concernant le nombre de clones, leurs répartitions et déploiements. Selon les connaissances actuelles, il semble qu'entre 7 et 30 clones seraient suffisants pour constituer une population artificielle dont la diversité génétique serait équivalente ou supérieure à celle d'une population semblable constituée de semis (Libby, 1982).

3.6.3 La situation actuelle au Québec

Au Québec, le clonage d'arbres est employé pour bénéficier rapidement des gains génétiques obtenus des programmes d'amélioration en cours. Il est appliqué principalement à trois essences: l'épinette noire, l'épinette blanche et l'épinette de Norvège. Le choix des essences tient compte du fait que la technique de propagation utilisée, le bouturage de semis, est une réussite et qu'elle est adaptée à ces essences. De plus, les programmes d'amélioration sont suffisamment avancés pour que les bénéfices escomptés dépassent les coûts supplémentaires de production des plants pour le reboisement.

La méthode utilisée vise la production de variétés multifamiliales à partir de graines issues de croisements dirigés faits sur des arbres sélectionnés dans les meilleures provenances. Ces dernières ont été identifiées dans les essais de provenances et sont bien adaptées aux conditions prévalant dans les zones d'amélioration délimitées par les améliorateurs. On attend davantage de ces variétés multifamiliales que de celles issues de pollinisation libre dans les vergers à graines ou dans les peuplements semenciers. Après la multiplication des semis, des tests sont réalisés afin d'évaluer les performances familiales en croissance et rhizogenèse. Les résultats permettent de raffiner les recommandations des améliorateurs.

Chez l'épinette noire, par exemple, les variétés multifamiliales développées pour la zone d'amélioration des Appalaches (zone D), ont montré, chez des plants de quatre ans en pépinière, une supériorité en croissance en hauteur de 16 % par rapport à des provenances témoins utilisées couramment dans le programme de reboisement (Michel Villeneuve, MRNQ, comm. pers.). La sélection des dix meilleures familles permettrait de hausser ce gain de croissance juvénile jusqu'à 35 % (figure 10).

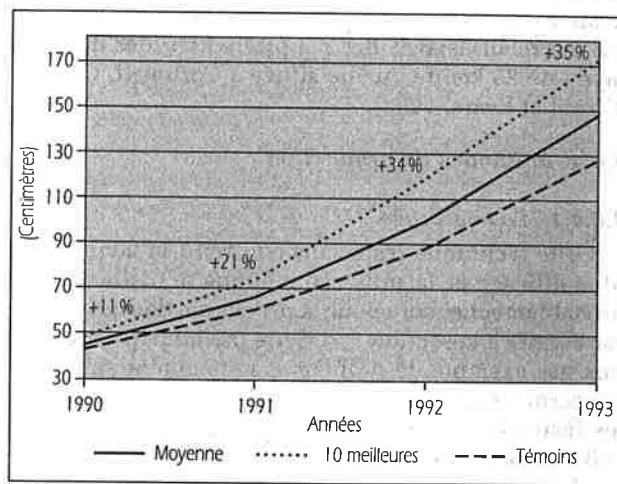
En 1994, la production totalisait 2,25 millions de boutures, dont près de 2 millions en épinette noire. Ce nombre représente moins de 2 % des plants reboisés annuellement. Au fur et à mesure que les connaissances sur les variétés multifamiliales et les possibilités de leur déploiement s'accroîtront, la production de boutures s'orientera vers l'utilisation de clones dont

les résultats vont dans le sens véritable de la foresterie clonale.

Un tel programme de foresterie clonale a été instauré au Québec uniquement pour les peupliers hybrides. Les caractéristiques de croissance et de résistance aux maladies des clones testés sont connues et plusieurs de ces clones ont été recommandés pour utilisation dans diverses régions écologiques (tableau 2). Un programme de foresterie clonale des peupliers est aussi en opération, sur une grande échelle, dans l'est de l'Ontario depuis 1975. Les facteurs qui ont permis l'implantation d'un tel programme sont une croissance supérieure démontrée par les clones de peupliers améliorés dans les tests en champs, l'anticipation d'un manque de fibres ligneuses par une usine locale de pâtes et papiers, et la disponibilité de vastes superficies agricoles abandonnées et présentant les caractéristiques propices à la culture du peuplier hybride.

Figure 10

Rendement comparatif de variétés multifamiliales d'épinette noire issues de croisements dirigés



Source: M. Villeneuve, MRNQ.

Tableau 2

**Clones de peuplier hybride créés au Québec
et recommandés pour les reboisements
dans les régions écologiques 3i, 3j, 3k, 7a₁,
7a₂ et 8c₂ du Québec (sud de la région
Abitibi-Témiscamingue)**

N° clone	Type d'hybride
22	<i>P. deltoides</i> x <i>P. balsamifera</i>
1078	<i>P. deltoides</i> x <i>P. balsamifera</i>
1079	<i>P. deltoides</i> x <i>P. balsamifera</i>
1080	<i>P. deltoides</i> x <i>P. balsamifera</i>
1081	<i>P. deltoides</i> x <i>P. balsamifera</i>
1082	<i>P. deltoides</i> x <i>P. balsamifera</i>
1083	<i>P. deltoides</i> x <i>P. balsamifera</i>
4418	<i>P. balsamifera</i> x (<i>P. x jackii</i> x <i>P. grandidentata</i>)
4435	<i>P. balsamifera</i> x <i>P. x euramericana</i>

Source: Vallée et al., 1994.

Quelque 300 000 boutures tirées de 25 clones sélectionnés pour leur productivité sont plantées annuellement. Depuis 1975, approximativement 2 260 hectares ont été reboisés avec des peupliers hybrides dans un rayon de 25 km de l'usine située à Cornwall, Ontario (Strobl et Evers, 1993).

3.6.4 Méthodes de production

3.6.4.1 Le bouturage

Cette technique reste sans contredit la méthode la plus efficace et la plus économique actuellement et probablement encore pour la prochaine décennie. Elle est décrite à la section 5.2. Cette méthode n'est toutefois pas exempte de problèmes notamment en ce qui concerne la maturation des ortets (pieds mères) chez les résineux. Ainsi, pour que le succès du bouturage soit satisfaisant (plus de 80 % en moyenne), les ortets ne doivent pas dépasser trois ou quatre ans. Après cette période le taux de racinement des boutures et la qualité du système racinaire diminuent et des phénomènes de direction de croissance horizontale ou oblique (plagiotropie) prennent place. Plus les arbres d'où proviennent les boutures sont âgés, plus ces phénomènes deviennent suffisamment majeurs pour rendre le bouturage totalement inefficace.

Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour contrer le phénomène de vieillissement. Dans le cas où les ortets sont constitués de semis issus de croisements dirigés, ils peuvent n'être utilisés que pendant quelques années et les croisements peuvent être répétés pour produire de nouveaux ortets. Dans le cas où les ortets proviennent de sélection massale dans des pro-

venances ou dans des descendance recommandées, la juvénilité des ortets peut être favorisée par leur maintien sous forme de haies ou par leur propagation en série tous les trois ans, par exemple. De cette façon, les clones peuvent conserver leur juvénilité plus longtemps. En Allemagne, par exemple, les plus vieux clones d'épinette de Norvège en sont maintenant à leur septième cycle de propagation et présentent encore des caractéristiques suffisamment juvéniles pour que la propagation végétative commerciale se poursuive (Bentzer, 1993).

3.6.4.2 Culture in vitro et biotechnologie

Ces techniques sont très récentes et font présentement l'objet de plusieurs travaux de recherche dans le monde entier. Elles offrent un potentiel considérable pour la propagation de masse des génotypes sélectionnés, pour les transformations génétiques des arbres forestiers et pour la conservation des méristèmes (Ahuja, 1993). La section 5.2 présente les principales techniques utilisées présentement pour la culture *in vitro*. Elles permettent actuellement la multiplication de variétés horticoles sur une base commerciale et d'un certain nombre de clones résineux et feuillus sur une base expérimentale. Toutefois, dans ce dernier cas, le nombre de plants mis en terre jusqu'à maintenant reste faible. Les principaux facteurs qui limitent leur utilisation en foresterie sont les suivants :

- la majorité des explants produits proviennent de matériel juvénile, c'est-à-dire d'embryons, de cotylédons, de semis ou de jeunes plants. Cela est dû à l'impossibilité de mettre en culture des méristèmes d'arbres matures ayant démontré leur plein potentiel. Ainsi, leur qualité anticipée à l'âge adulte n'est pas connue au moment de leur multiplication. L'identification de marqueurs moléculaires liés génétiquement aux loci responsables des caractéristiques souhaitées pourrait permettre de contourner cette difficulté. Ces marqueurs moléculaires sont détectés à l'aide de techniques de laboratoire et correspondent à des fragments d'ADN;
- le faible nombre de génotypes répondant aux techniques actuelles d'embryogenèse;
- les coûts élevés dus aux nombreuses manipulations que le matériel cultivé *in vitro* exige;
- les difficultés du transfert des explants à des conditions de croissance normales;
- le peu de connaissances sur les variations génétiques induites par les techniques de culture.

La transformation génétique (génie génétique) concerne quant à elle le transfert d'un gène ou d'un groupe de gènes désirables d'un donneur à un receveur

afin que ce dernier puisse exprimer à son tour les caractéristiques découlant de la présence de ces gènes. L'emploi de cette technique implique pratiquement celle de la culture *in vitro* pour produire en grand nombre des individus possédant le nouveau gène. À ce jour, des plants transgéniques ont été régénérés chez les feuillus, mais non chez les conifères. Cette technique offre énormément de potentiel pour la foresterie, mais demandera encore de nombreux efforts de recherche.

La cryo-conservation des méristèmes (conservation à des températures très basses) est un autre champ d'activité qui offrira beaucoup de potentiel puisqu'elle permettra de conserver à long terme des méristèmes avec tout leur potentiel de multiplication. Elle permettra de tester les nombreux clones produits à l'aide de la technique de la culture *in vitro*, de sélectionner les meilleurs et les mieux adaptés et de les mettre en production à partir du tissu juvénile cryo-conservé sans que ceux-ci soient altérés par les problèmes reliés au phénomène de vieillissement du matériel.

4. CONSERVATION DES RESSOURCES GÉNÉTIQUES CHEZ LES ARBRES FORESTIERS

La conservation des ressources génétiques et de la biodiversité est une des préoccupations mondiales de l'heure. Le déclin des forêts sur plusieurs continents, de même que la disparition de milliers d'hectares de forêts, particulièrement dans la zone tropicale, ont alerté les spécialistes et le grand public. Une des plus grandes appréhensions a trait aux pertes de ressources génétiques susceptibles de favoriser l'adaptation des espèces à des changements rapides de conditions environnementales.

La biodiversité est un terme qui fait référence à divers niveaux d'organisation biologique, des gènes aux écosystèmes, et concerne aussi bien les nombres que les fréquences d'éléments ou ensembles (Boyle, 1992). Une discussion sur la conservation de la biodiversité dépasse donc le cadre du présent chapitre. Aussi, il ne sera traité que de l'importance de la conservation de la diversité génétique chez les espèces forestières.

4.1 Que sont les ressources génétiques forestières?

Chaque individu dispose d'un ensemble de gènes qui déterminent, dans une large mesure, son état actuel et son devenir. Sa composition génétique spécifique peut lui permettre de survivre dans un environnement hostile, de résister à des attaques de la part de facteurs biotiques adverses et de posséder des caractéristiques de croissance désirables. Toutefois, l'individu ne possède qu'une faible fraction de la diversité génétique présente chez son espèce. En effet, il ne possède qu'une des combinaisons alléliques parmi la multitude possible, considérant que, chez les conifères par exemple, il pourrait exister au-delà de 10 000 loci (Namkoong, 1991). Cette diversité, constituée de différences d'organisation et de contenu du matériel héréditaire, se révèle aussi bien au niveau des gènes eux-mêmes qu'à celui de l'individu, de la population ou de l'écosystème. Sa présence est essentielle puisqu'elle permet les changements adaptatifs ou évolutifs nécessaires à la survie de l'espèce et à son introduction dans de nouveaux habitats (Schaal *et al.*, 1991). De plus, cette diversité n'est pas distribuée au hasard dans l'espace. Il y a donc présence d'une structure qui complique les stratégies d'échantillonnage nécessaire à sa quantification et à sa conservation. De même, les liens existant entre les gènes et les caractères observables sont pour la plupart inconnus. Aussi, les conservateurs sont-ils placés devant le défi de préserver, pour les besoins futurs, un échantillon représentatif de gènes essentiellement inconnus.

4.2 Comment estime-t-on les niveaux de diversité génétique?

Trois grandes catégories d'estimateurs de la diversité génétique ont été utilisées à ce jour. Ils sont basés sur les caractères morphologiques, les marqueurs alloenzymatiques (formes alléliques distinctes de gènes codant des enzymes) et les marqueurs d'ADN (Li *et al.*, 1992a). L'estimation du degré de contrôle génétique chez les premiers nécessite la mise en place de tests de descendance, tel qu'indiqué à la section 2. Les résultats qui en découlent sont très importants pour la conservation génétique puisque, en plus de fournir une information pertinente sur la variabilité génétique intra et inter-populations, ils permettent de prédire le comportement des génotypes dans des conditions environnementales différentes de leur lieu d'origine (Corriveau *et al.*, 1991; Li *et al.*, 1993).

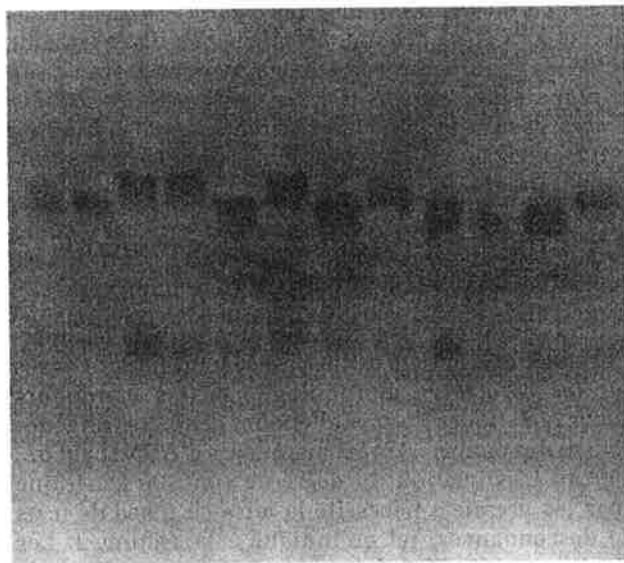
Les marqueurs alloenzymatiques (figure 11) ont aussi été très largement employés, au Québec comme

ailleurs, au cours des dernières décennies pour estimer la diversité génétique des espèces d'arbres (Beaulieu et Simon, 1994; Bousquet *et al.*, 1987; Despouts et Simon, 1987; Gauthier *et al.*, 1992; Li *et al.*, 1992a; Tremblay et Simon, 1989). Il est possible, pour cette classe de gènes, d'inférer les formes alléliques différentes que possède un individu. Partant de là, il est aisé d'estimer les niveaux de diversité génétique chez un individu, dans une population, et les différences entre les populations.

Enfin, la diversité génétique peut être mesurée à partir de la variation de l'ADN. Puisque, dans ce dernier cas, le matériel génétique est lui-même caractérisé, la diversité génétique est alors mesurée plutôt qu'estimée. Les méthodes utilisées dans ce dernier cas sont relativement nouvelles; elles fournissent des résultats plus précis que les autres méthodes, mais sont suffisamment complexes et onéreuses pour limiter encore aujourd'hui leur application (Li *et al.*, 1992a).

Figure 11

Illustration de patrons électrophorétiques obtenus chez le pin blanc pour l'enzyme phosphoglucose isomérase



Claude Moffet, Ressources naturelles Canada

4.3 Conséquences des pratiques forestières sur la diversité génétique

Les impacts humains sur les forêts remontent à l'Antiquité et même à la Préhistoire (Behre, 1988). Toutefois, en raison de l'explosion démographique actuelle,

ils deviennent de plus en plus majeurs et répandus. Trois menaces principales en découlent: la surexploitation, la destruction d'habitats ou leur fragmentation et les changements environnementaux rapides, comme le réchauffement global et la pollution atmosphérique (Kitzmillier, 1991). On reconnaît cependant qu'il est difficile de quantifier leurs conséquences réelles, car les données pour le faire sont rares (Ledig, 1992). En effet, peu d'études ont été menées pour mesurer les changements de fréquences géniques et génotypiques dues aux interventions humaines. Ce type de recherche est cependant appelé à s'intensifier dans un avenir prochain. Plusieurs des actions humaines ne sont pas directement liées à l'exploitation de la ressource forestière. Toutefois, seuls les effets des méthodes de la récolte de la matière ligneuse sur la diversité génétique seront mentionnés. De plus, l'évaluation des effets réels des pratiques sylvicoles sur la diversité génétique des essences forestières, au Québec comme ailleurs dans le monde, reste à faire dans sa quasi-globalité. Aussi, on ne présentera que les influences déductibles de modèles théoriques de la génétique des populations.

La méthode d'exploitation forestière employée à la fin du siècle dernier et au début du présent siècle, et qui consistait à effectuer des coupes à blanc pour ne laisser en place qu'un faible nombre de tiges généralement chancrées, déformées et plus ou moins isolées, pourrait avoir été très dommageable. Elle peut être assimilée à une sélection en faveur des individus médiocres. Lorsqu'effectuée de façon récurrente, elle devrait théoriquement mener à une dégradation de la qualité des générations subséquentes par rapport à celle de la génération récoltée (figure 12). Seule la sauvegarde de la régénération préétablie pourrait réduire ces effets dysgéniques, i.e. de détérioration des qualités génétiques de la population. Un tel type de récolte est également susceptible de causer une augmentation du taux d'endogamie dans la descendance. Les conifères sont reconnus pour souffrir d'une forte dépression consécutive à des croisements endogames (Stern et Roche, 1974). Elle se traduit par une plus faible viabilité des descendants et par des caractéristiques médiocres chez ceux qui survivent.

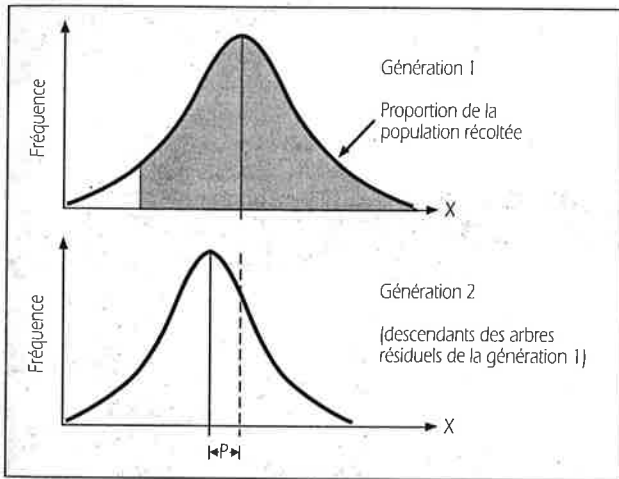
D'autres méthodes sylvicoles, comme la coupe rase avec semenciers et la coupe progressive, occasionnent des changements démographiques majeurs. D'une part, la méthode de régénération par coupe rase avec un faible nombre de semenciers laissés en place fait passer la population par un goulot susceptible d'affecter négativement le niveau de diversité génétique, au moins transitoirement. La plus faible diversité génétique risque de se traduire par une plus grande vulnérabilité du peuplement mis en place et de créer des conditions

favorables au déclenchement d'épidémies d'insectes (Ledig, 1992). D'autre part, la coupe progressive est une méthode sylvicole plus douce qui pourrait permettre de maintenir un niveau élevé de diversité génétique dans la population, tel que démontré chez le douglas taxifolié (Neale, 1985). La supériorité de cette dernière méthode, par rapport à la précédente, viendrait du fait qu'un plus grand nombre de géniteurs participent à la reconstitution de la population.

La coupe de jardinage devrait aussi assurer le maintien d'un niveau élevé de diversité génétique dans une population. Cependant, toutes les espèces ne se prêtent pas à cette méthode de récolte. De plus, elle n'est sans doute pas aussi efficace que la coupe progressive dans la minimisation des croisements endogames. En effet, il est plus probable que des croisements endogames se réalisent dans un peuplement dense, où le pollen se déplace moins facilement malgré les trouées créées par la récolte de quelques tiges, que lorsque des superficies plus ou moins vastes sont libérées.

Figure 12

Illustration de l'effet théorique des coupes rases sur la constitution génétique d'une population



Le symbole P correspond à la perte observée au niveau de la moyenne chez le caractère X.

4.4 Maintien de la diversité génétique dans les programmes d'amélioration génétique

L'homme peut influencer plus ou moins consciemment la diversité génétique chez une espèce par les pratiques sylvicoles qu'il emploie. Il peut cependant la modifier sciemment par des programmes de domesti-

cation. La connaissance du niveau de diversité génétique existant chez une espèce et de sa structuration est à la base de toute stratégie efficace d'amélioration et de conservation de cette diversité. Aussi, les premières activités des programmes d'amélioration des espèces forestières au Québec, i.e. la mise en place d'essais de provenances et de tests génécologiques, visaient, tel qu'indiqué à la section 2, à acquérir cette connaissance (Beaudoin, 1993; Beaulieu et Corriveau, 1985; Beaulieu *et al.*, 1989a, b; Beaulieu *et al.*, 1990; Corriveau et Boudoux, 1971; Corriveau *et al.*, 1987; Corriveau *et al.*, 1990; Corriveau *et al.*, 1991; Li *et al.*, 1992b; Li *et al.*, 1993; Morgenstern *et al.*, 1981; Vallée et Chamberland, 1979).

Comme les travaux de recherche en ce domaine sont relativement récents au Québec, toutes les essences forestières, importantes au point de vue économique, n'en sont qu'à leurs premières étapes de domestication. Les populations développées devraient, à long terme, diverger des populations naturelles en raison des sélections effectuées. La sélection dirigée ne doit toutefois pas être interprétée comme un facteur causal d'une réduction inéluctable de la diversité génétique chez l'espèce améliorée, et ce, à son détriment. En fait, la sélection naturelle elle-même contrôle le nombre et la qualité des génotypes qui accèdent à la maturité sexuelle. De plus, la sélection artificielle en faveur des individus possédant des caractères à haute valeur économique ne se traduit pas nécessairement par une réduction de la diversité génétique chez d'autres caractères, telles l'adaptabilité et la résistance aux insectes et aux maladies.

Les responsables des travaux d'amélioration cherchent d'une part à développer au Québec des variétés améliorées issues de familles qui ont démontré une grande plasticité et qui possèdent les caractéristiques de croissance désirées. Les progrès sont plus lents qu'avec l'utilisation d'une stratégie visant les génotypes adaptés à des conditions environnementales particulières, mais ils sont plus sûrs devant les changements environnementaux globaux appréhendés. D'autre part, la conservation de la diversité génétique est une préoccupation continuelle des généticiens forestiers. Par exemple, des marqueurs alloenzymatiques ont été utilisés pour comparer le niveau de diversité génétique de la population d'amélioration d'épinière blanche par rapport à celui observé dans les populations naturelles. Les résultats ont démontré que la sélection ne s'était pas traduite par une perte d'allèles, à l'exception d'un très rare cas, susceptible d'être éliminé par sélection naturelle, et que le niveau d'hétérozygotie, i.e. la proportion des gènes d'un individu à l'état hétérozygote, était même plus élevé dans le

groupe sélectionné que dans sa contrepartie naturelle (Despouts *et al.*, 1993). De tels travaux de recherche sont appelés à se multiplier à l'avenir.

4.5 Méthodes de conservation

Les activités de recherche liées aux programmes d'amélioration génétique permettent donc de mieux connaître les ressources génétiques des espèces forestières autochtones. L'information recueillie permet de développer des stratégies de conservation (Li *et al.*, 1992a). Il existe deux méthodes distinctes de conservation, soit *in situ* et *ex situ*. La conservation *ex situ* peut être réalisée grâce à l'établissement de jardins botaniques, de secteurs d'expérimentation (arboretums), d'essais de provenances, de tests génécologiques, de vergers à graines, de banques clonales, de banques de graines (figure 13), de tissus cryo-conservés et de chaînes d'ADN. Ces méthodes de conservation hors du milieu naturel sont très largement utilisées au Québec (tableau 3). Elles ne sont toutefois pas exemptes de désavantages, principalement la nécessité d'un soutien financier à long terme et les changements dans le temps de la composition génétique du matériel conservé à la suite de l'action de la sélection naturelle opérant dans un milieu différent de celui de son origine et de celui dans lequel il pourrait être réintroduit (Ledig, 1989).

Tableau 3
Sommaire des formes de conservation
ex situ au Québec en 1992

Type	Nombre (unités ou sources)	Superficie (ha)
Arboretums	21	5 325
Tests de provenances	3 876	337
Vergers à graines de semis et tests de descendance	13 204	1 333
Vergers à graines clonaux	7 101	193
Banques de clones	18 088	185
Banques de graines	15 474	—
Lots de pollen	130	—

Source: Boyle (1992), tableau 3 mis à jour.

La méthode de conservation *in situ* des ressources génétiques consiste à préserver des territoires sous forme de parcs, de réserves naturelles et autres où les activités humaines sont restreintes. Dans le cadre des activités d'amélioration génétique, des peuplements semenciers et des aires de récolte ont été préservés; au nombre de 136, ils couvrent 2 975 hectares. L'avantage conféré par cette méthode de conservation est que l'espèce continue à vivre dans son milieu d'origine

en co-évolution avec les autres espèces. On vise par une telle méthode à conserver des complexes géniques co-adaptés et des communautés biologiques entières. Certains désavantages lui sont également inhérents. Ainsi, si le réchauffement global se réalisait à la vitesse anticipée, par exemple, les forêts naturelles pourraient ne pas être aussi bien adaptées aux nouvelles conditions créées. Par contre, les forêts qui se trouvent dans les réserves et parcs actuels seraient alors susceptibles de fournir du matériel génétique raisonnablement bien adapté aux nouvelles conditions qui prévaudraient dans les latitudes plus nordiques (Fowler et Loo-Dinkins, 1992). L'utilisation des variétés créées à partir des génotypes reconnus comme étant les mieux adaptés aux conditions les plus chaudes et les plus sèches seraient alors, de concert avec l'utilisation des génotypes sous conservation *in situ* et *ex situ*, les meilleurs moyens d'assurer la préservation des espèces et, de là, un développement durable de la société.

Figure 13

Banque de graines forestières du Service canadien des forêts



Enfin, la création de variétés à rendement élevé permet d'envisager le développement de la ligniculture au Québec et de jouer indirectement un rôle majeur dans la conservation des écosystèmes forestiers naturels. L'obtention d'un meilleur rendement par unité de surface et la concentration des zones de production de matière ligneuse dans les régions habitées réduiraient possiblement les pressions humaines sur une bonne partie du territoire forestier. Cette concentration de la production de la matière ligneuse dans des plantations à haut rendement donnerait plus de flexibilité dans l'utilisation des forêts et permettrait d'augmenter les superficies protégées sous forme de parcs et de réserves (Gladstone et Ledig, 1990; Li et al., 1992a).

5. PRODUCTION DE PLANTS

5.1 Production et traitement des graines

Les travaux de recherche en amélioration génétique et en reboisement ont depuis longtemps démontré l'importance de l'origine des graines dans le succès du reboisement. Aussi, une identification doit être attribuée à chaque lot de graines récoltées de manière à pouvoir déterminer sa zone d'utilisation et à effectuer un suivi à long terme. Le système de codification des lots utilisé au Québec (Masse, 1992) est le suivant.

5.1.1 Source des graines

5.1.1.1 Numéro de la source des graines

Le numéro de la source des graines est formé de six codes correspondant respectivement :

1. à l'essence: première colonne des tableaux 4 et 5,
2. au type de source: tableau 6,
3. au numéro séquentiel de la source: 1 à 9, pour différencier des sources de même type mais de qualité génétique différente ou pour identifier des projets spéciaux,
4. au territoire d'utilisation :
 - une seule région écologique pour les sources des types N, P, A et F,
 - un code numérique :
 - 001 à 299 pour les sources de type V, T et R,
 - 300 à 899 pour les sources de type C, L et X,
 - 900 à 999 pour les sources extérieures au Québec,
5. au code des cantons: numéro attribué au canton dans le *Répertoire des cantons et des seigneuries*,

6. au numéro de l'unité de gestion: de 011 à 112, selon l'organigramme du MRN.

Il suffit d'ajouter les deux derniers chiffres de l'année de récolte au numéro de la source de graines pour identifier un projet de récolte.

Ainsi, un lot de graines qui porterait le numéro EPB-P1-7a2-B71-43-95 pourrait être décrit comme suit: 1) lot constitué de graines d'épinette blanche; 2) provenant d'un peuplement semencier et faisant partie du projet de récolte numéro 1; 3) peuplement semencier situé dans la région écologique 7a2; 4) dans le canton B71; 5) dans l'unité de gestion 43; 6) récolté en 1995.

5.1.1.2 Déplacement des provenances

Dans l'attente d'un approvisionnement continu des vergers à graines mis en place au Québec, la priorité est accordée aux provenances recommandées. Lorsqu'on ne peut pas obtenir les graines nécessaires des « provenances recommandées », on doit alors utiliser des « provenances locales ». Cette norme s'applique lors de l'élaboration des plans de récolte de graines ainsi qu'au moment de distribuer des lots de graines et de plants. Si l'on ne peut la respecter, on devrait observer les règles suivantes, par ordre de priorité :

1. limiter les déplacements des jeunes plants à la région écologique d'où provenaient les graines dont ils sont issus;
2. à l'intérieur d'un domaine, restreindre les déplacements des plants aux régions écologiques adjacentes à celle d'où provenaient les graines;
3. limiter les déplacements à des domaines voisins, qui ne sont pas éloignés des sites d'origine de plus de 1° de latitude (une altitude de 300 mètres correspond à 1° de latitude) ou de 2° de longitude.

5.1.2 Planification de la récolte

La récolte de graines est une activité complexe dont le succès repose sur une bonne planification. Les principales étapes à réaliser pour la mener à bien sont décrites dans les sections qui suivent.

5.1.2.1 Prévision de la récolte

Les tableaux 4 et 5 décrivent la production et le rendement estimés pour la majorité des arbres résineux et feuillus utilisés dans le reboisement au Québec.

5.1.2.2 Suivi du développement des cônes et fruits

Le suivi du développement des cônes et fruits permet à la fois de prédire l'importance d'une récolte et d'évaluer l'état ainsi que le taux probable de survie des fruits et des graines. Les principales étapes du programme de suivi sont :

Tableau 4
Facteurs concernant les cônes et les graines chez les résineux

Nom des essences	Code	Graines			Cônes			Taux moyen de germination %	
		Nombre moyen par kilogramme	Nombre moyen par hectolitre	Nombre moyen par cône	Volume moyen pour obtenir 1 kg de graines (hl)	Nombre moyen par hectolitre	Nombre moyen par semencier		Volume moyen par semencier (litre)
Épinette blanche	EPB	386 010	573 710	28	0,67	20 750	1 870	9	75
Épinette noire	EPN	844 600	433 330	17	1,95	31 630	320	1	89
Épinette de Norvège	EPO	106 950	84 190	100	1,27	690	60	9	82
Épinette rouge	EPR	358 610	425 040	20	0,84	13 700	820	6	79
Mélèze hybride	MEH	164 840	60 220	13	2,74	4 500	180	4	69
Mélèze japonais	MEJ	240 000	116 000	20	1,11	5 000	150	3	45
Mélèze laricin	MEL	497 970	342 750	5	1,45	112 750	4 510	4	90
Mélèze d'Europe	MEU	164 840	60 220	15	2,74	4 000	120	3	69
Pin blanc	PIB	57 570	37 640	25	1,53	1 650	260	16	61
Pin gris	PIG	303 090	145 210	24	2,09	7 550	230	31	82
Pin rouge	PIR	110 500	52 550	20	2,10	4 250	300	7	72
Pin sylvestre	PIS	187 270	116 310	18	1,61	4 680	420	9	94

1. Cette donnée représente le volume d'une année de fructification.

Tableau 5
Facteurs concernant les fruits et les graines chez les feuillus

Nom des essences	Code	Graines			Fruits			Taux moyen de	
		Nombre moyen par kilogramme	Nombre moyen par hectolitre	Nombre moyen par fruit	Nombre moyen par hectolitre	Nombre moyen par semencier	Volume moyen par semencier (litre)	germination %	rayons-X %
Bouleau jaune	BOJ	724 550	1 897 200	150 ¹			75	44	
Bouleau à papier	BOP	3 040 000	6 434 700				75	16	
Caryer cordiforme	CAC		8 000	1	9 940	7 450	75		81
Cerisier tardif	CET		139 810	1	167 000	83 500	50		84
Chêne blanc	CHB		17 500	1	21 000	26 250	125		83
Chêne bicoloré	CHE		17 500	1	21 000	21 000	100		83
Chêne à gros fruits	CHG		13 500	1	16 140	20 180	125		89
Chêne pédonculé	CHO		9 000	1	11 000	11 000	100		81
Chêne rouge	CHR		12 910	1	15 210	26 620	175		86
Érable argenté	ERA		34 380	1-2 ²	20 730	25 910	125		84
Érable rouge	ERR		416 670	1-2 ²	2 12 500	212 500	100		98
Érable à sucre	ERS		47 730	1 ²	63 100	78 880	125		42
Frêne d'Amérique	FRA		178 410	1	322 900	242 180	75		66
Frêne noir	FRN		164 130	1	209 950	157 460	75		80
Frêne de Pennsylvanie	FRP		91 350	1	256 410	256 410	100		43
Noyer cendré	NOC		1 800	1	1 850	9 230	500		90
Noyer noir	NON		900	1	1 000	5 000	500		88
Orme d'Amérique	ORA	209 990	660 850	1	660 850	165 210	25	64	
Tilleul d'Amérique	TIL		83 440	1-4	184 480	46 120	25		54

1. BOJ : nombre de nucules (graines) contenues dans le strobile femelle.

2. ERA et ERR : peuvent contenir une graine par samare, mais chez l'érable à sucre il n'y a qu'une graine par disamare.

Tableau 6

Description des codes représentant les différents types de source

Source	Code
1. Croisement dirigé	C
2. Verger à graines	V
3. Parc à clones	L
4. Tests de descendances	T
5. Tests de provenances	R
6. Arbre semencier feuillu	F
7. Peuplement semencier	P
8. Aire de récolte de semences	A
9. Non classée	N
10. Autres	X

Classés par ordre de valeur génétique.

- la sélection des arbres,
- le dénombrement des inflorescences dans la totalité ou une partie de la cime et l'évaluation du nombre de cônes, de graines et de plants qui seront produits (voir tableau 7),
- la sélection et le marquage des branches et des inflorescences pour faciliter l'examen périodique,
- l'examen périodique des cônes et des fruits marqués (au moins deux à trois fois durant leur développement), l'enregistrement du nombre de fleurs ou de cônes sains et endommagés,
- l'évaluation de la maturité des graines,
- la cueillette des cônes ou des fruits parvenus à maturité,
- la dissection des cônes suivie de l'extraction des graines,
- l'évaluation du pouvoir germinatif des graines de manière à connaître leur potentiel.

5.1.2.3 Évaluation de la maturité des graines

Avant de commencer la récolte sur un site, il est tout aussi important d'établir le degré de maturation des graines. Le test de coupe est la technique la plus courante, car il permet de déterminer le moment où la récolte devrait être effectuée et de vérifier la qualité de la graine lors de la cueillette et de la manutention. On pratique le test de coupe sur 10 à 20 graines choisies de façon aléatoire dans un échantillon. Chacune des graines est sectionnée en deux parties égales, au moyen d'une lame de rasoir. Chez les résineux, les graines sont suffisamment mures pour la cueillette lorsque l'embryon remplit au moins 90 % de sa cavité et que le tissu nutritif des sections de graines exposées à l'air pendant plusieurs heures ne se rétrécit pas. En

Tableau 7

Estimation de la production de cônes et de fruits

Estimation de la fructification	Description (des arbres dominants et co-dominants seulement)
1. Aucune	Aucun cône ou fruit.
2. Très faible	Quelques cônes ou fruits sur moins de 25 % des arbres.
3. Faible	Quelques cônes ou fruits sur plus de 25 % des arbres.
4. Moyenne	Ou beaucoup de cônes ou de fruits sur moins de 25 % des arbres.
5. Abondante	Beaucoup de cônes ou de fruits sur 25 % à 50 % des arbres.
6. Très abondante	Beaucoup de cônes ou de fruits sur plus de 50 % des arbres.
	Beaucoup de cônes sur presque tous les arbres.

ce qui concerne les graines des feuillus, compte tenu de la diversité des cas possibles, nous suggérons de consulter le guide intitulé *La récolte de semences forestières* (Morissette et al., 1995).

5.1.3 Cueillette

5.1.3.1 Méthodes de cueillette

Il existe un certain nombre de techniques pour la récolte des cônes et des fruits. Le choix de la méthode est dicté par l'essence, la quantité recherchée, les caractéristiques des arbres porteurs, du peuplement et du site de récolte. Il est aussi fonction de l'expérience du personnel, du budget et de l'équipement disponible.

5.1.3.1.1 Cueillette au sol

Les cônes et les fruits de certaines essences (EPØ, PIB, CAC, CHG, CHR, ERS, NOC et NON) tombent sur le sol où ils peuvent être recueillis. Ces chutes, souvent provoquées par les écureuils, sont plus abondantes après les gelées automnales ou les grands vents. La cueillette au sol est peu coûteuse et ne demande pas un personnel entraîné. Elle est particulièrement indiquée pour les essences à gros fruits. Si l'on a recours à ce type de récolte, il est très important de vérifier la qualité des cônes ou des fruits et de s'assurer qu'aucune saleté n'y adhère. Toutefois, cette technique permet difficilement de connaître la date de dissémination (souvent cruciale pour obtenir un pourcentage de germination satisfaisant) et d'identifier l'arbre mère

avec certitude. Les différentes techniques de cueillette au sol sont :

- les toiles ou filets étendus sur le sol (par exemple l'ERS),
- la chute provoquée des fruits (à l'aide d'un sécateur fixé à une perche ou d'une corde en secouant la branche (NOC et NON), ou encore à l'aide d'un fusil (PIB) (figure 14),
- le « pillage » des caches d'écureuils (généralement à déconseiller).

Figure 14

Récolte de cônes de pin blanc à l'aide d'un fusil



René Paquet, Ressources nature/les Canada

Une branche est abattue à l'aide d'un fusil de calibre 12 avec une cartouche à plomb unique et les cônes sont recueillis.

5.1.3.1.2 Cueillette sur des arbres abattus

Les cônes ou les fruits peuvent être récoltés sur des arbres abattus lors d'une coupe. Cette méthode est répandue pour EPN, EPR, EPB, PIG, PIB et MEL. Les cônes doivent être récoltés entre un et quatre jours après la coupe et uniquement sur des arbres ayant un phénotype intéressant. Peu coûteuse, cette technique permet de maximiser la récolte chez les espèces dont les cônes sont bien répartis dans la cime. Néanmoins, il faut coordonner la cueillette et la coupe pour ne pas entraîner la perte d'une partie des graines lors de la chute des arbres.

5.1.3.1.3 Cueillette sur arbre debout

La cueillette sur arbre debout présente l'avantage d'être efficace lorsque les arbres sont dispersés; elle

permet de mieux choisir les arbres porteurs et elle minimise les dommages qui leur sont infligés par les travaux de récolte; elle est recommandée pour les faibles quantités de graines à récolter. Par contre, ce type de cueillette est plus coûteux que les modes de cueillette précédents et il est souvent difficile de recruter des cueilleurs. Lorsque la faible hauteur des cimes le permet, la cueillette sur des arbres debout peut être faite depuis le sol. Si les arbres sont plus hauts, on peut utiliser différentes techniques, par exemple :

- l'échelle lorsque les arbres sont de faibles dimensions. Ce moyen est facile, rapide et n'endommage pas les cimes;
- les plates-formes hydrauliques dont la rentabilité est largement influencée par le nombre de cônes et de graines ainsi que l'habileté du cueilleur;
- les éperons de grimpe portatifs, peu coûteux et qui peuvent s'adapter à une grande variété d'arbres.

5.1.3.2 Standards de qualité d'une récolte

Le responsable local doit suivre de près la cueillette et inspecter tous les lots de cônes et de fruits reçus avant de les accepter. Il doit s'intéresser aux standards suivants :

- la provenance doit correspondre au lieu désigné à l'avance;
- les graines doivent provenir d'arbres droits ayant une belle forme, éviter les arbres isolés;
- les cônes et les fruits doivent être récoltés durant l'année de leur formation. Seuls les cônes de pin gris peuvent être récoltés jusqu'à l'âge de six ans sur l'arbre;
- l'inspecteur doit refuser les cônes partiellement ouverts, immatures ou verts (même partiellement); il doit aussi rejeter les cônes et les fruits récoltés hors de la période prévue, ainsi que les cônes et les fruits difformes ou trop petits;
- les cônes et les fruits endommagés par les insectes ou les maladies doivent être rejetés, tout comme ceux qui ont « chauffé » lors de l'entreposage (ce que l'on remarque par la présence de moisissures ou par une température trop élevée), de même pour les glands de chêne qui flottent lorsqu'on les dépose dans l'eau;
- la récolte ne doit renfermer ni débris, ni cailloux, ni morceaux de branches ou d'aiguilles. Il est cependant tolérable qu'un certain nombre d'aiguilles demeurent collées aux cônes de PIB. Les pédoncules des graines de ERS et de FRA doivent être égrappés et éliminés. Enfin, les glands doivent être séparés de leur cupule.

5.1.4 Manutention et entreposage des cônes

Les cônes et les fruits devraient être cueillis sur les branches, puis nettoyés et déposés le plus tôt possible dans des sacs de jute ou des casiers de plastique, et une attention particulière devrait être apportée aux fruits des feuillus et aux cônes qui perdent leurs graines.

Dès leur récolte, les cônes et les fruits devraient idéalement être disposés en couches minces (n'excédant pas 10 cm d'épaisseur) dans des casiers de plastique. On remuera le contenu de ces casiers de 50 litres tous les jours; ils s'emboîtent les uns dans les autres et il est possible de les empiler jusqu'à un maximum de dix. Pour les cônes, il faut un entreposage dans un endroit sec, abrité, ventilé et dont la température se situe idéalement entre 0 et 10°C. En l'absence de casiers, on peut disposer les cônes et les fruits dans des sacs de jute couchés sur le sol, mais jamais empilés plus de deux à la fois. Les sacs de plastique sont fortement déconseillés.

5.1.5 Traitement des graines

5.1.5.1 Petits lots de cônes

On peut sécher de petits lots de cônes dans une étuve à convection à une température de 55°C (70°C pour le PIG) durant 8 à 16 heures, i.e. jusqu'à l'ouverture des cônes. L'extraction des graines peut se faire à l'aide d'une tarare circulaire (tambour rotatif) durant quelques minutes ou par brassage manuel des cônes dans des sacs de papier lorsqu'il s'agit de faibles volumes. Le désailage s'effectue en mélangeant les graines avec un fin brouillard d'eau ou encore en les frottant entre elles dans des sacs de coton durant une à deux minutes; leur nettoyage se fait à l'aide d'une colonne d'air à vitesse réglable, suivi au besoin d'un triage par vibration sur une plaque de plastique. Les graines de conifères peuvent être conservées durant de nombreuses années à une température de -18°C à condition que leur teneur en eau soit abaissée à un niveau inférieur à 8%. C'est le traitement généralement appliqué aux lots de graines récoltées et conservées par les organismes de recherche forestière au Québec.

5.1.5.2 Grands lots de cônes

Les grands lots de cônes sont traités au Centre de semences forestières du ministère des Ressources naturelles du Québec, à Berthier. On y retrouve une usine de traitement des graines, trois immenses séchoirs à cônes et deux chambres froides pour la conservation des graines traitées (Brault et Campagna, 1992). Les cônes sont d'abord acheminés dans de vastes entrepôts où ils complètent leur préséchage et leur mûrissement pendant environ huit semaines. Pour ce faire, ils sont

déposés dans de grands casiers en plastique qui restent ouverts de manière à éviter l'échauffement des cônes.

Après mûrissement, les lots de cônes sont transférés à l'usine et traités séparément, selon leur origine et identification distinctes. Ils sont ensuite introduits dans l'un des huit tarares disponibles pour en extraire les graines. Les cônes tournent dans ces tarares durant une période de 4 à 20 heures sous température et humidité contrôlées. Lorsque l'extraction des graines est terminée, les cônes vides sont acheminés à l'extérieur et ils sont utilisés comme combustible.

L'étape suivante consiste à nettoyer les graines pour en permettre l'entreposage. Les graines sont donc d'abord nettoyées de leurs impuretés grâce à l'action de tamis vibrants. Ensuite, elles sont débarrassées de leurs ailes, désailage effectué dans un cylindre rotatif pendant 20 à 60 minutes selon la grosseur des graines, donc selon l'essence. Les graines sont ensuite entraînées dans un réservoir de lavage, séparées des débris par flottation, puis asséchées en traversant sur un convoyeur trois chambres d'air chaud dont le degré d'humidité va en diminuant et, enfin, triées selon leur grosseur. Un séparateur par gravité permet ensuite de séparer les pleines des vides; puis vient le contrôle de qualité effectué par test d'écrasement et par radiographie. Quant à la conservation, elle se fait en chambre froide à -3°C dans des contenants d'une capacité de 20 litres. Ces conditions permettent de préserver la viabilité des graines sur une période de plus de dix ans.

5.1.5.3 Contrôle de qualité des graines

Avant d'entreposer les graines en chambre froide, on prélève un échantillon dans chaque contenant pour effectuer un contrôle de qualité en laboratoire. Ainsi, le nombre de graines par kilogramme est évalué et un test de germination est réalisé, en accord avec les recommandations de l'International Seed Testing Association (1985), dans des germoirs où on peut contrôler l'éclairage, la température et l'humidité. Quatre échantillons de 100 graines sont généralement utilisés.

5.1.5.4 Graines de feuillus

Les graines des feuillus ne demandent aucun traitement particulier, si ce n'est l'égrappage des samares de frêne et d'érable et le tri des glands de chêne dans l'eau dès leur récolte. Sur réception, des échantillons sont prélevés pour déterminer le nombre de graines au litre. De plus, la qualité des embryons est vérifiée à l'aide de tests de coupe et de radiographies. Les graines des feuillus sont habituellement semées le plus tôt possible, car il est difficile de les conserver sur une longue période.

5.2 La production par voie végétative

5.2.1 Le bouturage

Le bouturage des plantes ligneuses consiste à prélever des fragments de tiges ou de racines et à les placer dans des conditions favorables à l'enracinement et au développement de la pousse (Girouard, 1979). Son but ultime est de produire de nouveaux plants autotrophes génétiquement identiques (ramets) au plant mère (ortet). Quelques lignes directrices de réalisation d'une expérience de bouturage sont présentées au tableau 8. Divers types de boutures peuvent être prélevées et elles sont classées en fonction de l'endroit de la cueillette sur la plante mère et de leur stade de lignification (Hartmann et Kester, 1968):

- boutures de rameaux: elle sont ligneuses (de bois durs), demi-ligneuses ou non ligneuses (de bois tendres);
- boutures de racines.

Les boutures ligneuses sont prélevées sur des tiges ou des rameaux aoûtés. Dans le cas d'essences à feuilles caduques, elles sont récoltées après la chute des feuilles. Les peupliers et les saules, qui font partie de

cette catégorie, s'enracinent facilement; leurs boutures peuvent provenir de rameaux, rejets ou gourmands sains, âgés généralement d'un an et naissant sur des tiges non taillées, ou de pieds mères traités en têtard ou en haies (Girouard, 1979). Il existe deux types de boutures ligneuses non feuillées, soit les boutures longues ou plançons qui peuvent mesurer de 1,5 à 3,0 m et les boutures courtes qui ne dépassent guère 25 cm. Parmi ces dernières, ce sont surtout les boutures dites simples ou ordinaires qui sont utilisées. On les prépare en effectuant à la base une coupe perpendiculaire à l'axe principal des rameaux. Les procédures d'entreposage de ce type de boutures sont décrites par Girouard (1971). La plantation se fait au printemps, par enfouissement en terre des boutures à l'exception d'une petite section sur laquelle se retrouvent un ou deux bourgeons.

Les boutures ligneuses d'espèces à feuilles persistantes, tels les épinettes et les pins, peuvent être produites avec des rameaux courts ou longs. Toutefois, ces espèces sont plus difficiles à bouturer que les espèces à feuilles caduques. Les boutures doivent rester plusieurs mois dans un environnement favorable à la

Tableau 8
Conseils pour la production de boutures ligneuses ou demi-ligneuses*

Élément	Conseils
Période de récolte	Utiliser, pour les conifères, des boutures ligneuses ou demi-ligneuses et, pour les espèces feuillues, des boutures demi-ligneuses.
Manipulation	Utiliser des boutures terminales et des sections de rameaux selon le mode de propagation choisi. Les boutures non racinées peuvent être conservées jusqu'à quatre mois dans des sacs de plastique à des températures de 0 à -2 °C.
Milieu d'enracinement	Utiliser un mélange de mousse de tourbe et de perlite grossière ou de vermiculite dans un rapport 1:1. L'ajout d'un agent mouillant peut être utile pour maintenir le milieu uniformément humide.
Hormones d'enracinement	Appliquer certaines hormones comme l'acide indole-butyrique ou l'acide naphthalèneacétique, ou un mélange des deux dans un rapport 2:1 par trempage rapide (5 secondes).
Eau	Vérifier le pH et la conductivité (contenu en sels) de l'eau utilisée dans la brumisation. Une analyse chimique de l'eau peut être nécessaire. Fournir une bonne irrigation.
Fongicides	Appliquer lorsque nécessaire. Utiliser différents fongicides en rotation.
Éclairage	Utiliser l'éclairage naturel en hiver. Installer une ombrière en été.
Température	Garder l'air ambiant frais (5 à 15 °C). Chauffer le substrat (20 °C).
Nutrition	Ne pas appliquer de fertilisants avant que les racines ne soient formées.
Brumisation	Utiliser un humidistat plutôt qu'une minuterie pour contrôler la brumisation.
Cal	La formation d'un cal à la base de la bouture n'est pas nécessairement l'indication d'un racinement prochain.

* Adapté de Thompson (1992).

rhizogénèse avant que les racines ne se forment. L'aptitude au bouturage varie selon les espèces et elle diminue avec l'âge de l'ortet (Daoust *et al.*, 1987).

Les boutures, qui sont généralement des pousses latérales ou terminales d'une longueur de 10 à 15 cm, sont recueillies dans la partie inférieure de la cime de l'arbre avant que les bourgeons n'éclatent. Au moment de la récolte, chaque lot de boutures est soigneusement identifié et placé dans un sac de polyéthylène, puis entreposé à une température de 4 °C jusqu'au moment du piquage. Les boutures trop longues sont raccourcies à la base avant leur mise en milieu de racinement. Ensuite, elles sont généralement plongées dans une solution fongicide pour éviter l'apparition de champignons qui diminuent les chances de succès. De plus, dans certains cas, on appliquera des auxines pour favoriser la rhizogénèse. Finalement, on insère les boutures dans un substrat d'enracinement stérilisé et bien humecté. Une fois le piquage terminé, le tout est copieusement arrosé afin d'assurer un contact ferme entre les boutures et le substrat.

Généralement, on préparera une couche de propagation à l'intérieur de laquelle on placera les récipients dans lesquels ont été piquées les boutures (figure 15). Cette couche de propagation sera habituellement maintenue ombragée et à une température basse pour éviter la dessiccation de la partie aérienne de la bouture et pour retarder le débourrement. Lorsque ce sera possible, on installera également des câbles chauffants au fond de la couche, de façon à maintenir la température du substrat à 20 °C et ainsi accélérer le racinement. Des arrosages fréquents par brumisation doivent être effectués au cours des premiers mois, puis leur fréquence est réduite lors de l'apparition et du développement des racines. À ce moment-là, on procède à des fertilisations pour assurer une bonne vigueur aux boutures.

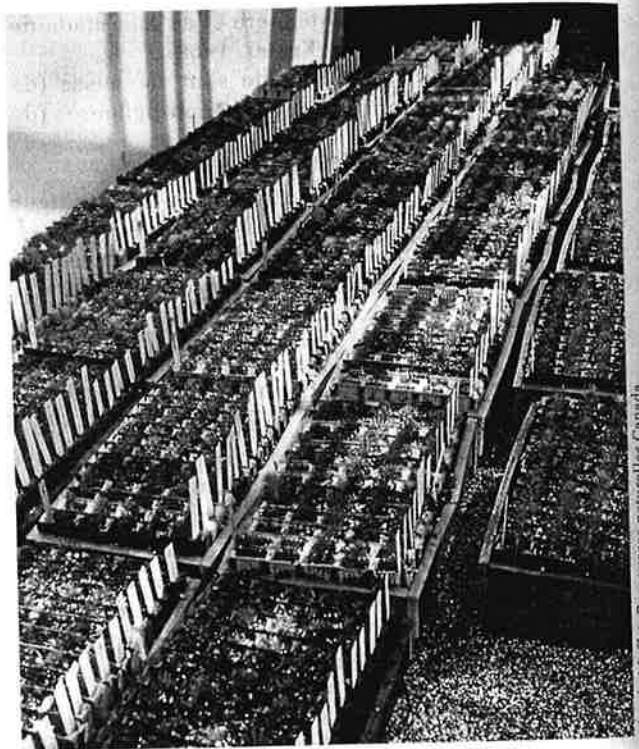
Chez certaines essences comme les érables et certains peupliers, la propagation végétative peut être réalisée à l'aide de boutures demi-ligneuses ou de boutures non ligneuses, soit à partir de pousses partiellement lignifiées récoltées à l'extrémité des pousses durant l'été ou de rameaux non lignifiés récoltés à la fin du printemps (Girouard, 1971). Quant aux boutures de racines, elles sont surtout utilisées en horticulture.

Au Québec, on a développé une méthode originale de production de boutures pour les essences résineuses. Elle est mise en application au Centre de bouturage de Saint-Modeste, Québec, un des plus importants au monde (Bousquet *et al.*, 1995). On y réalise le bouturage dans un complexe d'enceintes presque hermétiquement fermées et munies de bancs lumineux appelé la « boutu-

rathèque » (Vallée et Noreau, 1990). Les boutures sont prélevées à l'état non ligneux sur des plants produits en serre et âgés de quatre mois à deux ans. Elles sont piquées dans des récipients de culture, tels les multipots 67 placés dans les enceintes. On peut faire varier les conditions d'éclairage, de température et d'humidité pour tenir compte des caractéristiques de chaque essence et du degré de lignification des boutures. Le substrat utilisé est un mélange de tourbe et de vermiculite imprégné d'une solution fertilisante.

Figure 15

Illustration d'une couche de bouturage



Claude Moffet, Ressources naturelles Canada

5.2.2 La culture *in vitro*

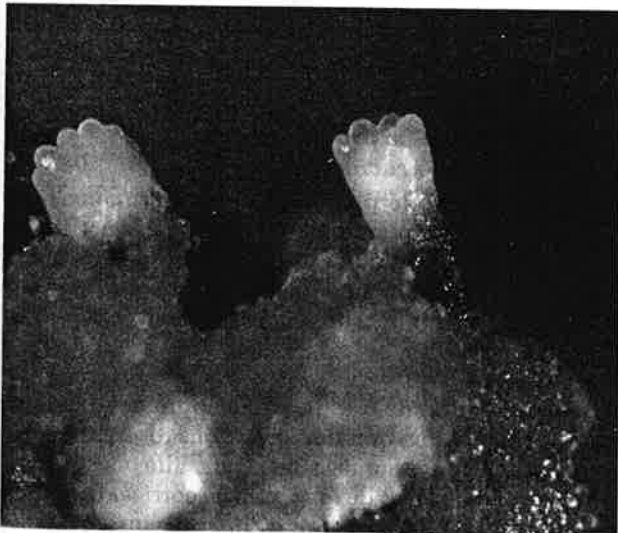
La culture *in vitro* rassemble plusieurs stratégies de multiplication végétative qui ont en commun l'utilisation de conditions stériles et artificielles (Bousquet *et al.*, 1995). On reconnaît deux grandes stratégies pour réaliser cette culture. Ce sont la micropropagation et l'embryogénèse somatique. La première permet de multiplier végétativement un génotype donné à partir de bourgeons chez les essences feuillues ou de tissu chez de très jeunes semis d'essences résineuses. Quatre étapes, décrites par Cornu et Boulay (1986), doivent être respectées. Ce sont : 1) la stérilisation des tissus et la mise en culture, 2) la multiplication des tigelles,

3) la phase d'enracinement des tigelles et, 4) le transfert en sol de ces dernières. Entre le moment de la mise en culture et celui du transfert en sol, les milieux de culture doivent être adaptés à chaque étape en ajustant les concentrations de minéraux et de régulateurs de croissance. De plus, des conditions environnementales spécifiques doivent être mises en place à chaque étape. Finalement, pour que le transfert en sol soit couronné de succès, les tigelles doivent être maintenues dans des conditions d'humidité très élevée pendant quelques jours et ce niveau d'humidité doit ensuite être ramené à environ 50 % sur une période de 10 à 20 jours.

Plusieurs essences résineuses répondent assez bien à l'embryogenèse somatique (figure 16). C'est le cas en particulier des épinettes blanche et noire. Le matériel de base utilisé pour obtenir des embryons somatiques, c'est-à-dire non issu d'une fécondation, est l'embryon extrait de la graine, donc l'embryon zygotique. Ce dernier est mis dans un milieu de culture *in vitro*, le plus souvent dans des plats de Pétri avec milieu gélosé et, par divisions cellulaires successives, un amas de tissu filamenteux apparaît. C'est de ce tissu que des embryons se développent à la suite de la différenciation des cellules. Tous les embryons somatiques ainsi formés sont génétiquement identiques à l'embryon zygotique de départ et ils peuvent être produits par milliers. Cette méthode offre donc un potentiel intéressant pour opérer un virage vers la foresterie clonale (Tremblay et Tremblay, 1991; Isabel *et al.*, 1993).

Figure 16

Embryons somatiques d'épinette blanche dérivés d'une masse de tissu embryogène



Claude Moffet, Ressources naturelles Canada

5.3 La production à partir de graines

5.3.1 Introduction

La production de plants de reboisement est réalisée au Québec depuis le début du siècle (Berthier en 1908). Initialement, et jusqu'en 1980, tous les plants étaient produits à racines nues, et ce, uniquement dans des pépinières gouvernementales. Au début des années 1980, la culture de plants en récipients a été instaurée en vue de diversifier les produits et pour répondre aux besoins du programme de reboisement qui connaissait alors une expansion très importante. L'arrivée de la production de plants en récipients a été accompagnée par la mise en place de plusieurs entreprises privées spécialisées dans ce type de culture. En 1994, le réseau de production comprenait six pépinières gouvernementales et environ 25 centres de production du secteur privé.

Le programme actuel de production de plants repose sur un objectif annuel de l'ordre de 140 millions de plants résineux et d'un million de plants feuillus (tableau 9).

Tableau 9

Répartition de la production de plants au Québec selon les ensemencements réalisés en 1994 (millions de plants)

	Racines nues		Récipients		
	Rég.	PFD	Serres	Tunnels	PFD
Pép. publiques	10	15	—	5	10
Pép. privées	—	5	35	60	—
TOTAL	10	20	35	65	10

Les besoins en plants de reboisement sont d'abord établis par les différents utilisateurs, c'est-à-dire les bénéficiaires de contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) et les intervenants en forêt privée. Ces besoins doivent être établis plusieurs années à l'avance, étant donné que les calendriers de production varient de 1 à 4 ans, selon le type de plants. De plus, la récolte de graines doit être orientée le mieux possible en fonction de ces besoins. Généralement établis dans les plans généraux d'aménagement forestier (PGAF) et, par la suite, dans les plans quinquennaux (PQAF), ces besoins doivent être révisés annuellement.

5.3.2 Description du stock de reboisement

Les plants sont produits soit en récipients à multicellules, soit à racines nues en pleine terre. Dans les

deux cas, on retrouve des productions dites conventionnelles et des productions de plants de fortes dimensions ou PFD. Ces dernières présentent de plus gros plants dans le but de satisfaire aux exigences de la stratégie de protection des forêts, soit de réduire et même d'éliminer l'usage des pesticides pour le dégagement des plantations.

Les plants à racines nues sont généralement produits avec un calendrier de quatre ans dit 2,0-2,0, c'est-à-dire deux ans de culture pour la phase du semis et deux ans de culture après le repiquage du semis. Les plants en récipients peuvent être produits en serres avec un calendrier d'un an ou sous tunnels selon un calendrier de deux ans.

Le tableau 10 présente la liste des essences résineuses et feuillues utilisées pour le reboisement et la répartition des besoins selon les principales essences résineuses, sur la base d'une production totale annuelle de 140 millions de plants.

Tableau 10

Liste des essences résineuses et feuillues utilisées au Québec pour le reboisement et pourcentages d'utilisation pour les années 1996-2000

Résineux*	Utilisation		Feuillus
	(%)	(%)	
Épinette noire	53,0	—	Bouleau jaune
Épinette blanche	22,0	—	Bouleau à papier
Épinette rouge	2,0	—	
Épinette de Norvège	2,0	—	Chêne rouge
		—	Chêne blanc
		—	Chêne à gros fruits
Pin gris	18,5	—	
Pin blanc	1,0	—	
Pin rouge	1,0	—	
Pin sylvestre	—	—	Érable argenté
Pin noir	—	—	Érable à sucre
Mélèze laricin	0,5	—	Frêne d'Amérique
Mélèze européen	—	—	Frêne noir
		—	Frêne de Pennsylvanie
Thuja occidentale	—	—	Noyer noir
		—	Noyer cendré
		—	Orme d'Amérique
		—	Caryer cordiforme
		—	Tilleul d'Amérique
		—	Cerisier tardif

* Les essences résineuses et feuillues pour lesquelles aucun pourcentage d'utilisation n'est indiqué représentent au total moins de 1 % du reboisement prévu.

Les plants offerts au reboisement doivent répondre à certaines normes de qualité bien spécifiques. Ainsi, selon le type de production (serres, tunnels, racines nues, PFD), des normes quantitatives et qualitatives ont été fixées. Le tableau 11 présente sommairement les critères d'évaluation pour la qualité des plants, alors que les valeurs à respecter sont présentées en annexe. Des illustrations des défauts causant le rejet des plants sont fournies dans deux guides d'évaluation produits par Robert et Veilleux (1991) et Tétréault *et al.* (1990).

Tableau 11

Critères d'évaluation pour la qualité des plants

Critères mesurables (fonction des types de production)	Critères de qualité relatifs*
– Hauteur	– Au système racinaire :
– Diamètre au collet	– qualité
– Rapport hauteur/diamètre au collet	– développement
	– À la tige :
	– absence de fourche
	– absence de bris
	– absence d'inclinaison
	– absence de cimes multiples
	– À l'état physiologique des plants :
	– contenu en eau
	– contenu en éléments minéraux
	– À l'état phytosanitaire des plants :
	– absence d'insectes
	– absence de maladies

* Les valeurs minimales à respecter sont présentées en annexe.

5.3.3 Technique de production de plants à racines nues

La production de plants à racines nues consiste à faire pousser les plants en pleine terre, sans l'aide d'abris artificiels comme des serres ou des tunnels. Elle est réalisée selon certaines étapes spécifiques qui seront maintenant décrites succinctement.

5.3.3.1 La préparation de terrain

La préparation de terrain vise à apprêter adéquatement le sol en prévision des opérations futures d'ensemencement et de repiquage des semis. Elle porte autant sur des amendements de fond, afin de corriger certaines lacunes importantes de la fertilité, que sur des techniques modifiant la texture, la composition et la topo-

graphie du sol. L'ajout de matières organiques et de composts, entre autres, de même que l'ameublissement du sol et la préparation de plates-bandes sont parmi les principales étapes de cette opération.

5.3.3.2 L'ensemencement

Cette activité vise principalement à produire un semis de dimensions adéquates et bien équilibré en vue de son repiquage ultérieur. À cet effet, les graines sont déposées au sol d'une manière uniforme dans le but d'obtenir une densité variant entre 800 et 1 200 semis viables au mètre carré. Il faut donc tenir compte du taux de germination des lots de graines et du pourcentage de pertes prévu. Une fois au sol, les graines sont recouvertes d'un matériau de protection, habituellement de la silice en granules.

L'ensemencement est réalisé sur des plates-bandes d'environ 1,5 m de largeur, soit en plein (sur toute la largeur), soit en bandes. Pour le calcul de la densité d'ensemencement, il importe toutefois de ne considérer que la superficie directement couverte par les graines et non les espaces entre les bandes d'ensemencement, si ce type est retenu. La valeur réelle d'une densité exprimée en nombre de semis au m² de plate-bande n'est donc valable que s'il s'agit d'un ensemencement en plein.

5.3.3.3 L'entretien des plants

Cette activité regroupe toutes les opérations devant assurer la croissance et l'obtention d'une bonne qualité de plants: l'irrigation, la fertilisation, la lutte contre les insectes et les mauvaises herbes, la protection hivernale. Ces opérations s'appliquent autant à la période du semis qu'à la période du plant repiqué, chacune de ces périodes ayant une durée habituelle de deux ans pour un plant à racines nues.

5.3.3.4 L'extraction des semis et leur repiquage

Après deux saisons de croissance, la densité des semis devient trop forte pour leur développement. Ils sont alors extraits mécaniquement pour être repiqués un à un, en sillon, dans des plates-bandes préparées à cet effet. L'extraction se fait idéalement tôt au printemps, lorsque le semis est en dormance afin d'ameublir les effets du choc de transplantation. De préférence, l'opération bénéficiera d'un tri sévère des semis. Le but est d'éliminer les semis n'ayant pas les dimensions nécessaires pour atteindre celles prévues pour le plant de reboisement, de même que les semis présentant des défauts de la cime et du système racinaire. Le repiquage est réalisé à une densité variant idéalement entre 10 et 12 semis au mètre linéaire de sillon, à raison de 6 ou 7 sillons par plate-bande.

5.3.3.5 L'extraction des plants de reboisement

L'extraction intervient généralement au printemps de la cinquième saison lorsque les plants sont en dormance. Une attention particulière est apportée au système racinaire dans le but d'éviter son dessèchement à toutes les étapes de l'opération. Une fois extraits, les plants sont triés, comptés, emballés et mis en chambre froide dans les plus brefs délais afin de conserver le plus possible leur qualité. L'extraction d'automne peut être envisagée pour l'épinette blanche et les mélèzes. Elle permet de réduire l'intensité des activités printanières. Toutefois, l'arrivée imprévisible du gel au sol ne permet pas de bien planifier la durée de l'opération ni la quantité de plants à extraire. Les plants ainsi extraits doivent être conservés emballés et congelés à une température (-2 à -4 °C) et à une humidité contrôlées, de façon à éviter leur dessèchement et l'apparition de moisissures.

5.3.4 Techniques de production en récipients

5.3.4.1 Types de plants

On retrouve actuellement au Québec trois types de plants produits dans des récipients différents:

- des plants de 15 cm de hauteur dans des récipients de 67 cavités (multicellules) de 50 cc chacune,
- des plants de 22 cm de hauteur produits dans des récipients de 45 cavités de 110 cc chacune,
- des plants de 37 à 40 cm de hauteur produits dans des récipients dont le volume de chaque cavité est de l'ordre de 340 cc. Ces PFD sont spécifiquement requis pour le reboisement sur des terrains où les dangers de compétition sévère par la végétation concurrente sont élevés.

5.3.4.2 Modalités de culture

Deux modalités sont utilisées pour la culture des plants en récipients, soit la production en serres chauffées et la production sous tunnels.

5.3.4.2.1 Culture en serres

Ce type de culture est réalisé dans des serres dotées d'un système de chauffage et d'éclairage permettant de produire des plants en toute saison, et ce, selon un calendrier parfois très court, de l'ordre de six mois. Toutes les conditions sont bien contrôlées: température, quantité et qualité de la lumière, irrigation et fertilisation. Les plants produits sont de petite taille (12 à 18 cm), étant donné que le seul récipient utilisé pour la production en serres est celui de 50 cc.

5.3.4.2.2 Culture sous tunnels

Ce type de culture est réalisé dans des abris de polythène non chauffés. La durée de culture est généralement de 24 à 26 mois. Les récipients sont ensemencés en avril ou mai et ils sont conservés sous abris pendant les six premiers mois; on les place à l'extérieur pour l'hiver et pour toute la deuxième saison de culture. Ce calendrier de culture permet de livrer des plants robustes dont la hauteur moyenne des lots est de l'ordre de 20 à 24 cm pour ceux produits en récipients de type 45-110, et de 37 à 40 cm pour les plants de fortes dimensions produits dans des cavités de 340 cc.

5.3.4.3 Les principales opérations de la production en récipients

5.3.4.3.1 Empotage-ensemencement

L'empotage-ensemencement des récipients est exécuté mécaniquement à l'aide d'équipements spécialisés. Cette opération consiste à remplir les cavités avec un substrat approprié (mélange de tourbe et vermiculite), à y déposer les graines (environ trois par cavité) et à recouvrir la cavité d'une mince couche de silice qui servira à réduire le développement de mauvaises herbes et à protéger la graine lors de la germination.

5.3.4.3.2 Éclaircie-repiquage

L'éclaircie-repiquage se fait environ quatre semaines après l'empotage, selon les essences et les conditions favorables à la germination. L'éclaircie vise à s'assurer que toutes les cavités ne soient occupées que par un seul semis puisque le choix se portera sur le semis le mieux centré et le plus gros. Pour pallier les cavités vides, certains producteurs effectuent le repiquage des semis extraits. La période propice à cette opération est critique, et le responsable doit tenir compte du développement des racines.

5.3.4.3.3 Entretien

L'entretien des plants comprend l'irrigation et la fertilisation, ainsi qu'un contrôle phytosanitaire. Pour irriguer, on utilise des équipements variés (rampes, gicleurs). La fertilisation est ajustée selon les besoins en éléments nutritifs au cours de la saison. Le suivi est réalisé grâce à des analyses tissulaires et de substrats, et à des mesures de masses végétales produites.

5.3.4.3.4 Livraison

La livraison des plants doit être coordonnée avec les besoins des utilisateurs, tout en tenant compte du développement des plants et du type de production.

Si nécessaire, le producteur effectue un tri dans le lot afin d'éliminer les plants qui ne respectent pas les critères de qualité, de manière à livrer un lot avec au moins 85 % de plants conformes.

Un certificat phytosanitaire, délivré par la Direction de la conservation du ministère des Ressources naturelles (Québec), doit accompagner toute livraison de plants.

Les plants produits dans les récipients 67-50, 45-110 et 25-200 sont livrés directement dans leurs récipients. Les PFD produits en récipients sont livrés selon divers modes d'emballage (ballots, boîtes, bacs, sacs) choisis en fonction des distances à parcourir et des équipements disponibles.

6. TENDANCES ET DÉVELOPPEMENTS EN COURS

6.1 Amélioration génétique

Plus d'une dizaine d'essences font présentement l'objet d'un programme d'amélioration génétique au Québec (tableau 1). Toutefois, on envisage que dans l'avenir les efforts de recherche et de développement de variétés de seconde génération seront surtout concentrés sur les épinettes noire et blanche. Certes, les travaux de recherche se poursuivront également sur les autres essences. Il n'est cependant pas prévu, à l'heure actuelle, qu'une seconde génération d'amélioration soit mise en place pour ces dernières.

Le domaine de l'amélioration génétique des arbres est en constante évolution. Des modifications sont apportées aux stratégies suivies dans le but de maximiser les gains et de diminuer la longueur des rotations. Ainsi, au cours des dernières années, une aide financière plus substantielle a été accordée au développement des techniques d'embryogenèse somatique et à leur mise à l'échelle pré-industrielle pour certaines essences. Un des principaux objectifs poursuivis est de propager en de multiples copies des lots de graines issues de croisements entre des arbres sélectionnés pour leurs caractéristiques supérieures. Aussi voit-on se dessiner en parallèle le développement de vergers de croisements spécifiques (e.g. les vergers à graines composés de ramets de deux clones) et de vergers sous abri pour assurer les gains génétiques anticipés en éliminant toute contamination pollinique venant de la forêt naturelle environnante. L'utilisation de techniques permettant d'assurer une graine de qualité

contrôlée et celle des techniques de propagation végétative devraient rendre possible à moyen terme un virage de plus en plus prononcé vers la foresterie clonale. L'accélération des programmes d'amélioration génétique est aussi réalisable grâce à l'utilisation des techniques d'induction florale. La pulvérisation ou l'injection d'hormones, couplée à des stress physiologiques, permet de simuler les conditions propices à la floraison et d'effectuer des croisements dirigés hâtifs. L'emploi des techniques d'induction florale se généralisera pour la réalisation de plans de croisements.

Qui dit croisements dirigés dit aussi manipulation d'un grand nombre de lots de différentes quantités de pollen. Au Québec, des connaissances sur la récolte, le traitement et la conservation du pollen ont ainsi été acquises au cours des dernières années. Des banques de pollen ont été créées par le ministère des Ressources naturelles du Québec et par le Service canadien des forêts. La mise en place de vergers de croisements spécifiques ou le recours à la pollinisation assistée dans les vergers existants devraient contribuer à l'expansion de ces banques de pollen. Elles constituent également une forme de conservation *ex situ* de la diversité génétique pour les essences concernées (section 4.5).

Le champ de recherche propre à susciter le plus d'engouement dans un proche avenir est celui des marqueurs génétiques pour assister la sélection du matériel supérieur. Le développement de techniques biomoléculaires permettant d'échantillonner l'ensemble du génome, c'est-à-dire aussi bien la section codante que la section non codante de tout l'ADN présent chez une espèce, laisse aussi entrevoir la possibilité d'identifier des loci génétiquement liés aux gènes qui codent les caractères d'intérêt économique. Il est donc probable que, même pour des caractères polygéniques (contrôlés par plusieurs gènes) d'intérêt commercial, tel que démontré pour des essences du sud des États-Unis, la présence de ces marqueurs génétiques puisse expliquer une part non négligeable de la variation phénotypique observée. Il est alors envisageable d'effectuer, sur la base de la présence du marqueur génétique chez un individu, la sélection de ce dernier pour sa supériorité génétique immédiatement au stade du semis. On pourrait alors réduire le temps de testage ainsi que le nombre d'individus testés. De telles recherches sont déjà en cours au Québec. On s'efforce également de développer des dispositifs expérimentaux pour diminuer le temps de testage et les superficies des tests génétiques. Ces dispositifs sont généralement appelés tests au champ. Il s'agit de réduire l'espacement entre les arbres et d'exercer un contrôle strict de la végétation compétitrice. Des études

sont présentement réalisées pour vérifier leur précision par rapport aux tests conventionnels à grand espacement entre les arbres.

6.2 Production de plants

Le niveau de reboisement est présentement à la baisse par rapport à celui qui avait été prévu lors de la mise en place, au cours des années 1980, du vaste programme de mise en terre de 300 millions de semis annuellement. Cette réduction s'est traduite à son tour par une production moins importante de semis à racines nues. Toutefois, alors que la quantité de semis produits diminue, leur qualité génétique est appelée à augmenter. De même, les PFD cultivés en récipients sont appelés à occuper, dans l'avenir, une plus grande part du reboisement à la suite de la mise en place de la stratégie de protection des forêts prévoyant le non-recours aux sylvicides. La priorité est donc maintenant accordée, dans ce domaine également, à la qualité des semis produits plutôt qu'à leur quantité.

OUVRAGES CITÉS

- ANONYME, 1987. Management techniques for seed orchards, Tree seed and forest genetics unit, Forest Resources Branch, Ontario Ministry of Energy and Ressources, 68 p.
- ANONYME, 1994. Du nouveau en aménagement, dans Info-Forêt, juin 1994, Gouv. du Québec, min. Ress. nat., Dir. rel. publ., p. 4.
- AHUJA, M.R., 1993. Biotechnology and Clonal Forestry, dans Ahuja, M.R. et W.J. Libby édit., Clonal Forestry I, Genetics and Biotechnology, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 135-144.
- BARADAT, P., 1986. Variabilité génétique et systèmes de reproduction, Rev. For. Fr. XXXVIII, n° spécial 1986 : 26-38.
- BAUDOIN, R., 1993. Variabilité phénotypique et corrélations juvéniles-adultes chez le pin gris de la provenance "Briand", Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la rech., Mém. de rech. for. n° 109.
- BEAULIEU, J., 1994. L'amélioration génétique et le reboisement, dans D'Aoust, A.L. et R. Doucet (édit.), La régénération de la zone de la forêt mixte, Montréal, 19 mai, p. 107-133.
- BEAULIEU, J. et A. CORRIVEAU, 1985. Variabilité de la densité du bois et de la production des provenances d'épinette blanche, 20 ans après la plantation, Can. J. For. Res. 15 : 833-838.
- BEAULIEU, J., A. CORRIVEAU et G. DAoust, 1985. MIMOSOL – Programme informatique pour la réalisation de plans de vergers à graines réduisant l'inbreeding et favorisant l'hétérofécondation, Gouv. du Canada, Serv. can. for., Centre de foresterie des Laurentides, Rapp. inf. LAU-X-69, 16 p.

- BEAULIEU, J., A. CORRIVEAU et G. DAOUST, 1989a. Stabilité phénotypique et délimitation de zones d'amélioration de l'épinette noire au Québec, Gouv. du Canada, Forêts Canada-Région du Québec, Centre de foresterie des Laurentides, Rapp. inf. LAU-X-85.
- BEAULIEU, J., A. CORRIVEAU et G. DAOUST, 1989b. Productivité et stabilité phénotypique de l'épinette rouge au Québec, For. Chron. 65: 42-48.
- BEAULIEU, J., A. CORRIVEAU et G. DAOUST, 1990. Paramètres génétiques et gains escomptés chez le sapin baumier, Gouv. du Canada, Forêts Canada - Région du Québec, Centre de foresterie des Laurentides, Rapp. inf. LAU-X-95.
- BEAULIEU, J. et J.-P. SIMON, 1994. Genetic structure and variability in *Pinus strobus* L. in Quebec, Can. J. For. Res. 24: 1726-1733.
- BEHRE, K.-E., 1988. The Role of Man in European Vegetation History, dans Huntley, B.J. et T. Webb III (édit.), Vegetation History, Handbook of Vegetation Science, 7^e partie, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht.
- BENTZER, B.G., 1993. Strategies for Clonal Forestry with Norway Spruce, dans Ahuja, M.R. et W.J. Libby (édit.), Clonal Forestry II, Conservation and Application, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 120-138.
- BOUSQUET, J., J. BEAULIEU et M. VILLENEUVE, 1994. Diversité génétique et amélioration des arbres forestiers. Partie 1: Les bases de l'amélioration génétique. Cours de formation continue. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. Encart de L'Aubelle n° 105, 12 p.
- BOUSQUET, J., J. BEAULIEU et M. VILLENEUVE, 1995. Diversité génétique et amélioration des arbres forestiers. Partie 2: De la production des semences améliorées à la conservation des ressources génétiques. Cours de formation continue. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. Encart de L'Aubelle n° 106, 12 p.
- BOUSQUET, J., W.M. CHELIAK et M. LALONDE, 1987. Allozyme Variability in Natural Populations of Green Alder (*Alnus crispa*) in Quebec, Genome 29: 345-352.
- BOYLE, T.J.B., 1992. Activités de conservation des ressources génétiques forestières au Canada, Gouv. du Canada, Forêts Canada, Direction des sciences et du développement durable, Rapp. Inf. ST-X-4.
- BRAULT, N. et J.-P. CAMPAGNA, 1992. Le traitement des semences: de la cueillette au « frigo », dans Service de l'amélioration des arbres et Service du transfert de technologie, colloque sur les semences forestières, Gouv. du Québec, ministère des Ressources naturelles du Québec, Sainte-Foy, 12 et 13 février, p. 129-133.
- CORNU, D. et M. BOULAY, 1986. La multiplication végétative: techniques forticoles et culture *in vitro*, p. 60-68, dans Amélioration génétique des arbres forestiers, Rev. For. Fr. 28, 288 p.
- CORRIVEAU, A. et M. BOUDOIX, 1971. Le développement des provenances d'épinette blanche de la région forestière des Grands-Lacs et du St-Laurent au Québec, Gouv. du Canada, Serv. Can. For., Lab. Rech. For. Sainte-Foy, Rapp. Inf. Q-F-X-15.
- CORRIVEAU, A., J. BEAULIEU et G. DAOUST, 1988. Phenotypic stability and productivity of central european Norway spruce provenances in Québec, Canada, dans Norway spruce; Provenances, breeding and genetic conservation. Proc. IUFRO Working party S2.02-11. Sweden 1988. L.-G. Stener et M. Werner (édit.) Inst. For. Improv. Rep. n° 11, p. 28-51.
- CORRIVEAU, A., J. BEAULIEU et G. DAOUST, 1987. Wood Density of Natural White Spruce Populations in Quebec, Can. J. For. Res. 17: 675-682.
- CORRIVEAU, A., J. BEAULIEU, F. MOTHE, J. POLIQUIN et J. DOUCET, 1990. Densité et largeur de cernes des populations d'épinettes blanches de la région forestière des Grands Lacs et du St-Laurent, Can. J. For. Res. 20: 121-129.
- CORRIVEAU, A., J. BEAULIEU et G. DAOUST, 1991. Heritability and Genetic Correlations of Wood Characters of Upper Ottawa Valley White Spruce Populations Grown in Quebec, For. Chron. 67: 698-705.
- DAOUST, G., J. BEAULIEU et A. CORRIVEAU, 1987. Aptitudes au bouturage de l'épicéa commun à l'âge de la reproduction, Gouv. du Canada, Serv. Can. For., Centre de foresterie des Laurentides, Rapp. inf. LAU-X-75.
- DESPONTS, M. et J.-P. SIMON, 1987. Structure et variabilité génétique de populations d'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) dans la zone hémiaïrctique du Nouveau-Québec, Can. J. For. Res. 17: 1006-1012.
- DESPONTS, M., A. PLOURDE, J. BEAULIEU et G. DAOUST, 1993. Impact de la sélection sur la variabilité génétique de l'épinette blanche au Québec, Can. J. For. Res. 23: 1196-1202.
- FALCONER, D.S., 1974. Introduction à la génétique quantitative, Masson et cie, Paris, 284 p.
- FAULKNER, R., 1975. Seed orchards, For. Comm. Bull. n° 54, Her Majesty's Stationary Office, London, 149 p.
- FEILBERG, L. et B. SOBGAARD, 1975. Historical review of seed orchards, dans Faulkner, R., Seed orchards, For. Comm. Bull. n° 54, p. 1-8.
- FOWLER, D.P. et J.A. LOO-DINKINS, 1992. Breeding Strategies in a Changing Climate and Implications for Biodiversity, For. Chron. 68: 472-475.
- GAUTHIER, S., J.-P. SIMON et Y. BERGERON, 1992. Genetic Structure and Variability in Jack Pine Populations: Effects of Insularity, Can. J. For. Res. 22: 1958-1965.
- GIROUARD, R.M., 1971. Bouturage de certaines espèces forestières, Gouv. du Canada, Serv. Can. For., Centre Rech. For. Laur., Sainte-Foy, Rapp. Inf. Q-F-X-23.
- GIROUARD, R.M., 1979. Bouturage des plantes ligneuses, dans Cahier des journées horticoles ornementales, Institut de Technologie agricole, Saint-Hyacinthe, p. 193-208.
- GLADSTONE, W.T. et F.T. LEDIG, 1990. Reducing Pressure on Natural Forests Through High-yield Forestry, For. Ecol. Manage. 35: 69-78.
- HARTMANN, H.T. et D.E. KESTER, 1968. Plant propagation. Principles and Practices, 2^e édition, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 702 p.
- HARTL, D.L., 1988. A Primer of Population Genetics, 2^e édition, Sinauer Associates Inc., Sunderland, 305 p.

- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION, 1985. Règles internationales pour les essais de semences, *Seed Sci. and Technol.* 13 (suppl. 2): 1-236.
- ISABEL, N., L. TREMBLAY, M. MICHAUD, F.M. TREMBLAY et J. BOUSQUET, 1993. RAPDs as an aid to certify the genetic integrity of somatic embryogenesis-derived populations of *Picea mariana* (Mill.) B.S.P. *Theor. Appl. Genet.* 86: 81-87.
- KITZMILLER, J.H., 1991. Genetic Diversity and Sustaining Forests, dans *Proc. Soc. Am. For. Nat. Conv.*, San Francisco, CA, 4-7 août, p. 249-256.
- KLEINSCHMIT, D.K., D.K. KHURANA, H.D. GERHOLD et W.J. LIBBY, 1993. Past, Present and Anticipated Applications of Clonal Forestry, dans Ahuja, M.R. et W.J. Libby (édit.), *Clonal Forestry II, Conservation and Application*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 9-41.
- KREMER, A., 1986. Les variations d'expression du génotype (corrélation juvénile-adulte et interaction génotype x milieu), Approche quantitative et explicative, *Rev. For. Fr.* XXXVIII, n° spécial 1986: 40-47.
- LAMONTAGNE, Y., 1985. Guide relatif à la sélection d'arbres plus, Gouv. du Québec, min. Éner. Ress., Serv. rest. for., Québec, 21 p.
- LAMONTAGNE, Y., 1992. Vergers à graines de première génération et tests de descendances implantés au Québec pour les espèces résineuses. Bilan des réalisations, Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la rech., Mém. de rech. for. n° 106.
- LAMONTAGNE, Y. et A. CORRIVEAU, 1982. Glossaire des termes utilisés en génétique et amélioration de arbres forestiers, Gouvernement du Québec, min. Énerg. Ress., 55 p.
- LEDIG, F.T., 1989. The Conservation of Diversity in Forest Trees, *Fremontia* 16(4): 3-10.
- LEDIG, F.T., 1992. Human impacts on genetic diversity in forest ecosystems, *Oikos* 63: 87-108.
- LI, P., J. MACKAY et J. BOUSQUET, 1992a. Genetic Diversity in Canadian Hardwoods: Implications for Conservation, *For. Chron.* 68: 709-719.
- LI, P., L. PARROT et J. BOUSQUET, 1992b. Introduction of Black Walnut in Southern Quebec, *Can. J. For. Res.* 22: 1201-1204.
- LI, P., J. BEAULIEU, A. CORRIVEAU et J. BOUSQUET, 1993. Genetic Variation in Juvenile Growth and Phenology in a White Spruce Provenance-progeny Test, *Silvae Genet.* 42: 52-60.
- LIBBY, W.J., 1982. What Is a Safe Number of Clones Per Plantation?, dans Heybroek, H.M., B.R. Stephen et K. von Weissenberg (édit.), *Resistance to Diseases and Pests in Forest Trees*, Pudoc, Wageningen, p. 342-360.
- LIBBY, W.J., 1983. Potential of Clonal Forestry, dans Zuffa, L., R.M. Rauter et C.W. Yeatman, (édit.), *Clonal Forestry: Its Impact on Tree Improvement and Our Future Forests*, Toronto, Ontario, p. 1-11.
- LIBBY, W.J. et M.R. AHUJA, 1993. Clonal Forestry, dans Ahuja, M.R. et W.J. Libby (édit.), *Clonal Forestry II, Conservation and Application*, Springer-Verlag, Berlin, p. 1-8.
- MASSE, L., 1992. Manuel: l'approvisionnement en semences forestières, Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de l'assistance technique, 193 p.
- MCÉLWEE, R.L., 1970. Radioactive tracer technique for pine pollen flight studies and an analysis of short-range pollen behavior, thèse de Ph.D., N.C. State Univ., School of For. Res., Raleigh, N.C.
- MORGENSTERN, E.K., A.G. CORRIVEAU et D.P. FOWLER, 1981. A Provenance Test of Red Spruce in Nine Environments in Eastern Canada, *Can. J. For. Res.* 11: 124-131.
- MORISSETTE, T., L. MASSE et J. GRENIER, 1995. La récolte de semences forestières, 2^e édition, Les Publications du Québec, Québec, 126 p.
- NAMKOONG, G., 1991. Maintaining Genetic Diversity in Breeding for Resistance in Forest Trees, *Annu. Rev. Phytopathol.* 29: 325-342.
- NANSON, A., 1986. The Evolving Seed Orchard: A New Type, dans *The North Carolina State University-Industry Cooperative Tree Improvement Program, Breeding Theory, Progeny Testing, Seed Orchards*, Williamsburg, Virginia, p. 554-566.
- NEALE, D.B., 1985. Genetic Implications of Shelterwood Regeneration of Douglas-fir in Southwest Oregon, *For. Sci.* 31: 995-1005.
- OWENS, J.N. et M.D. BLAKE, 1986. Production de semences forestières. Revue bibliographique et suggestions de recherche, Gouv. du Canada, Serv. can. for., Inst. for. nat. Petawawa. Rapp. inf. PI-X-53F, 216 p.
- PURITCH, G.S., 1972. Cone production in conifers. A review of the literature and evaluation of research needs; with an economic analysis by Vyse, A.H., Gouv. du Canada, Environ. Can., Can. For. Serv., Pacific Forest Res. Centre, Inf. rep. BC-X-65, 94 p.
- RAINVILLE, A., 1990. Guide d'établissement et d'aménagement des vergers à graines au Québec, Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la rech., Guide de rech. for. n° 6.
- ROBERT, D. et P. VILLEUX, 1991. Guide d'évaluation de la qualité des plants de reboisement produits à racines nues, Gouv. du Québec, min. des Forêts, Serv. Prod. Plants, 57 p.
- SCHAAL, B.A., W.J. LEVERICH et S.H. ROGSTAD, 1991. A Comparison of Methods for Assessing Genetic Variation in Plant Conservation Biology, dans Falk, D.A. et K.E. Holsinger (édit.), *Genetics and Conservation of Rare Plants*, Oxford Univ. Press, New York, p. 123-134.
- SIMPSON, J.D. et R.F. SMITH, 1988. A manual for forest tree seed orchard management in the Maritimes, Gouv. du Canada, Can. For. Serv. – Maritimes. Inf. Rep. M-X-167, 47 p.
- SNIEZKO, R.A., 1981. Genetic and economic consequences of pollen contamination in Seed Orchards, dans *Proc. Southern For. Tree Improv. Conf.*, Blacksburg, VA., p. 225-233.
- SQUILLACE, A.E., 1967. Effectiveness of 400-foot isolation around a slash pine seed orchard, *J. For.* 65: 823-824.
- STERN, K. et L. ROCHE, 1974. Genetics of Forest Ecosystems, *Ecological Studies*, Volume 6, Springer-Verlag, New York.

- STROBL, S. et R.W. EVERS, 1993. Organisation and Implementation of a Clonal Forestry Program, dans Ahuja, M.R. et W.J. Libby (édit.), *Clonal Forestry II, Conservation and Application*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, p. 202-214.
- TÉTREAULT, J.-P., J.-G. BROUILLETTE et J. LORTIE, 1990. Guide d'évaluation de la qualité des plants de reboisement produits en récipients, Gouv. du Québec, min. Forêts, Serv. prod. plants, 45 p.
- THIBAUT, M. et D. HOTTE, 1995. Les régions écologiques du Québec méridional, deuxième approximation, Service de cartographie, ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.
- THOMPSON, D.G., 1992. Current State-of-the-art of Rooting Cuttings and View to the Future, dans *Production de variétés génétiquement améliorées d'espèces forestières à croissance rapide*, AFOCEL, Paris, p. 159-172.
- TREMBLAY, L. et F.M. TREMBLAY, 1991. Carbohydrate Requirements for the Development of Black Spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) and Red Spruce (*P. rubens* Sarg.) Somatic Embryos, *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 27 : 95-103.
- TREMBLAY, M. et J.-P. SIMON, 1989. Genetic Structure of Marginal Populations of White Spruce, (*Picea glauca*) at its Northern Limit of Distribution in Nouveau-Québec, *Can. J. For. Res.* 19 : 1371-1379.
- VALLÉE, G. et E. CHAMBERLAND, 1979. Recherche et développement sur le peuplier. XIII – Potentiel de production fourragère et valeur alimentaire de sept clones, Gouv. du Québec, min. Énerg. Ress., Dir. de la rech., Mém. de rech. for. n° 48.
- VALLÉE, G. et R. NOREAU, 1990. La « Bouturathèque » : système de bouturage compact hors serre, Gouv. du Québec, min. des Forêts, Dir. de la rech., Note de rech. for. n° 41, 6 p.
- VALLÉE, G., H. GAGNON et S. MORIN, 1994. Listes des clones recommandés selon les régions écologiques forestières du Québec et exemples de productions ligneuses obtenues avec ces clones, *Bulletin du Conseil du Peuplier du Canada*, vol. 4, n° 3.
- WANG, C.W., T.D. PERRY et A.G. JOHNSON, 1960. Pollen dispersion of slash pine (*P. elliotii*) with special reference to seed orchard management, *Silvae Genet.* 9 : 78-86.
- ZOBEL, B.J. et J.T. TALBERT, 1984. *Applied Forest Tree Improvement*, J. Wiley & Sons, N.Y., (réimpression, 1991, Waveland Press, Illinois), 505 p.
- BOYLE, T.J.B., 1991. Biodiversity of Canadian Forests : Current Status and Future Challenges, *For. Chron.* 68 : 444-453.
- GRENIER, J., 1992. *Petit manuel des semences forestières au Québec*, Gouv. du Québec, Min. des Forêts, Dir. de l'assistance technique, 59 p.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION, 1991. *Tree and Shrub Seed Handbook*, International Seed Testing Association. Forest Tree and Shrub Seed Committee. Zurich, 156 p.
- PRESH, R.F., 1977. *Forest Tree Seed Certification Under The OECD Scheme*, Gouv. du Canada, Fish. and Env. Canada, For. Serv., Inf. Rep. BC-X-156, 11 p.
- YOUNG, J.A. et C.G. YOUNG, 1992. *Seeds of Woody Plants in North America*, édition revue et augmentée, Dioscorides Press, Portland, Oregon, 407 p.

LECTURES COMPLÉMENTAIRES

- BEAUDRY, J.-R., 1985. *Génétique générale*, Décarie édit., Montréal, 501 p.
- COTTERILL, P.P. et C.A. DEAN, 1990. *Successful Tree Breeding with Index Selection*, CSIRO Publ., Victoria, Australia, 80 p.
- DURVEA, M.L. et T.D. LANDIS (édit.), 1984. *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publ., The Hague/Boston/Lancaster, for Forest research Laboratory, Oregon State University, Corvallis, 386 p.
- FINS, L., S.T. FRIEDMAN et J.V. BROTSCHOL, édit., 1992. *Handbook of Quantitative Forest Genetics*, (coll. Forestry Sciences), Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, 403 p.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE DE FRANCE, 1986. *Amélioration génétique des arbres forestiers*, *Rev. for. fr.* XXXVIII, n° sp. 1986, 288 p.
- NAMKOONG, G., 1979. *Introduction to Quantitative Genetics in Forestry*, U. S. Dep. Agric., Tech. Bull. n° 1588, 342 p.
- NAMKOONG, G., H.C. KANG et J.S. BROUARD, 1988. *Tree Breeding: Principles and Strategies*, Springer-Verlag (coll. Monographs on theoretical and applied genetics), New York, 177 p.
- RICHER-LECLERC, C., 1986. *Pépinière: Multiplication de plantes ligneuses ornementales*, Conseil des productions végétales du Québec, Gouv. du Québec, min. Agric. Pêch. Alim., AGDEX 270/20.
- SIMMONDS, N.W., 1988. *Principes d'amélioration génétique des végétaux*, St-Pierre, C.A. trad., Les Presses de l'Université Laval, 406 p.
- WRIGHT, J.W., 1976. *Introduction to Forest Genetics*, Academic Press, New York, 463 p.
- WRIGHT, S., 1978. *Evolution and the Genetics of Populations*, vol. 1 à 4. Univ. of Chicago Press, Chicago, 2171 p.
- ZRÛD, J.-P., 1988. *Cultures de cellules, tissus et organes végétaux, fondements théoriques et utilisations pratiques*, Presses polytechniques romandes, Lausanne, 308 p.

OUVRAGES CONSULTÉS

- AHUJA, M.R. et W.J. LIBBY édit., 1993. *Clonal Forestry I, Genetics and Biotechnology*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 277 p.
- BEAULIEU, J. et J.-P. SIMON, 1994. *Inheritance and linkage relationships of allozymes in Pinus strobus L.*, *Silvae Genet.* 43 : 253-261.

Annexe

Valeurs à utiliser en 1990 concernant la hauteur
et le diamètre au collet des plants

Plants produits dans le récipient 45-110

Si la hauteur
moyenne du lot
se situe
entre

Essences

Épinette noire
Épinette rougeÉpinette de Norvège
Pin gris

Épinette blanche

Les valeurs minimales exigées sont :

(cm)	Haut. (cm)	Diam. (mm)	Haut. (cm)	Diam. (mm)	Haut. (cm)	Diam. (mm)
18-20	12	2,0	12	2,2	12	2,4
20-22	13	2,1	13	2,3	13	2,5
22-24	14	2,2	14	2,4	14	2,5
24-26	15	2,3	15	2,5	15	2,5
> 26	15	2,5	15	2,5	15	2,5

Essences

Pin rouge

Pin blanc

Les valeurs minimales exigées sont :

(cm)	Haut. (cm)	Diam. (mm)	Haut. (cm)	Diam. (mm)
8-10	—	—	8	2,0
10-12	9	2,2	9	2,2
12-14	10	2,3	10	2,4
14-16	11	2,4	11	2,4
16-18	13	2,5	13	2,5
> 18	15	2,5	15	2,5

Plants produits dans le récipient 67-50

Essences

Épinette noire

Pin gris

Les valeurs minimales exigées sont :

(cm)	Haut. (cm)	Diam. (mm)	Haut. (cm)	Diam. (mm)
14-16	10	1,4	10	1,5
16-18	11	1,4	11	1,5
18-20	12	1,5	12	1,6
> 20	13	1,5	13	1,6

Valeurs à utiliser en 1990 concernant le rapport hauteur/diamètre au collet des plants

Plants produits dans le récipient 45-110

Essences	H/D moyen (lot)		H/D individuel (plant)*	
	Dormance	Croissance	Dormance	Croissance
Épinette noire	8	10	11	13
Épinette rouge	8	10	11	13
Épinette de Norvège	8	10	11	13
Épinette blanche	7	8,5	10	11,5
Pin gris	7	10	10	13
Pin blanc	—	—	10	13
Pin rouge	—	—	10	13

* La norme du H/D individuel ne s'applique que si le H/D moyen du lot est supérieur à la norme du H/D moyen indiquée, selon l'état des plants (dormance ou croissance).

Plants produits dans le récipient 67-50

Essences	H/D moyen (lot)		H/D individuel (plant)	
	Croissance moyenne de la pousse annuelle inférieure à 5 cm et inventaire avant le 15 juin	Autres cas	Croissance moyenne de la pousse annuelle inférieure à 5 cm et inventaire avant le 15 juin	Autres cas
Épinette noire	8	9,5	11	12,5
Pin gris	7	9	10	12

Normes minimales individuelles de hauteur et de diamètre au collet

Plants à racines nues

Essences	Normes minimales	
	Hauteur (cm)	Diamètre au collet (mm)
Épinette noire (2,0-2,0)	25	4
Épinette blanche (2,0-2,0)	20	4
Épinette de Norvège (2,0-2,0)	20	4
Épinette rouge (2,0-2,0)	20	4
Pin gris (1,0-2,0)	20	4
Pin rouge (2,0-2,0)	15	3,5
Pin blanc (2,0-2,0)	15	3,5
Mélèze laricin (1,0-2,0)	25	4
Pin sylvestre (2,0-2,0)	20	4