

# La régénération de la zone de la forêt mixte

CFL-ARCHIVES

André L. D'Aoust et René Doucet  
Organisateurs

Le 19 mai 1994  
Université du Québec à Montréal  
Montréal (Québec) Canada

Compte rendu du Colloque n° 112 de l'ACFAS

# L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE ET LE REBOISEMENT

**JEAN BEAULIEU**

Ressources naturelles Canada  
Service canadien des forêts - Région du Québec  
1055, rue du P.E.P.S., C.P. 3800, Sainte-Foy (Québec) G1V 4C7

---

## RÉSUMÉ

Un bref historique des travaux d'amélioration génétique des espèces forestières au Canada et au Québec est présenté en premier lieu. Par la suite, les principales réalisations sont exposées de même que les gains résultant de la sélection des meilleures sources et individus pour certaines essences forestières d'importance économique. Finalement, une description des perspectives à moyen terme, tant au niveau des stratégies que devraient supporter le programme de reboisement qu'à celui des recherches en génétique et amélioration des arbres qui devraient être poursuivies ou entreprises, conclut l'exposé.

## ABSTRACT

First, a brief overview of forest genetics and tree breeding activities realized in Canada and in Quebec in the past is presented. This is followed by a statement of the main accomplishments in that field and examples of genetic gains obtained by the selection of the best sources and individuals for an economically important variety of species used in the reforestation program in Quebec. Finally, a description of the medium-term outlook for the strategies supporting the reforestation program and the research activities in forest genetics and tree improvement that should be either pursued or initiated concludes this paper.

---

## INTRODUCTION

Même si la recherche en génétique forestière et amélioration des arbres est relativement récente au Québec, il est difficile de résumer en quelques mots l'ensemble des travaux qui ont été réalisés. J'espère tout de même pouvoir dresser un bref historique de ce champ de recherches, faire un survol des progrès accomplis pour les principales essences qui font l'objet de tels programmes au Québec et discuter des voies de recherche possibles. Mon intervention se fait

à un moment où l'amélioration génétique et le reboisement ne reçoivent pas d'emblée l'aval de tous les spécialistes, bien que le public en général les juge nécessaires pour améliorer l'état des forêts (Ministère des Ressources naturelles du Québec, 1993). Je soulignerai le rôle important qu'ils peuvent jouer dans le maintien de la diversité génétique des espèces et d'écosystèmes forestiers variés particulièrement dans la zone de la forêt mixte, dans le développement des communautés locales et celui d'une industrie forestière régionale prospère.

## H i s t o r i q u e

Dans un passé pas si lointain, l'existence de la variabilité génétique chez les arbres forestiers et son importance dans l'expression des caractères observables étaient totalement ignorées. Ce n'est que récemment qu'on a reconnu l'importance de l'hérédité et que les caractéristiques de croissance et de qualité pouvaient être améliorées par la sélection de parents et la réalisation de croisements (Zobel et Talbert, 1984). Bien que l'essentiel de la recherche en génétique forestière n'ait été réalisé qu'au cours des dernières décennies, certaines activités remontent aussi loin qu'au début du 18<sup>e</sup> siècle (Sziklai, 1981).

Les chercheurs qui ont effectué les premiers travaux en amélioration génétique dans le sud des États-Unis, par exemple, croyaient que la meilleure approche consistait à sélectionner des arbres supérieurs et à les multiplier végétativement en vue du reboisement (Squillace, 1989). C'est pourquoi la recherche sur les techniques de multiplication végétative, et en particulier sur le bouturage, a débuté très tôt. L'introduction d'espèces exotiques susceptibles de s'avérer plus productives que les espèces indigènes a été tentée à plusieurs endroits dans le monde dès le début du 20<sup>e</sup> siècle. Le succès le plus retentissant a sans aucun doute été obtenu par la Nouvelle-Zélande avec le pin de Monterey (*Pinus radiata* D. Don). Par la suite, des efforts ont été déployés pour développer des hybrides interspécifiques. On visait, en suivant le modèle du maïs, à produire une descendance de première génération montrant une vigueur hybride, et à la multiplier par voie végétative (Wright, 1981). Un peu plus tard, la voie générative a été privilégiée. C'est ainsi qu'ont été mises en place, dans de nombreux pays, d'importantes superficies de vergers à graines. Curieusement, on assiste aujourd'hui à un retour à une plus grande utilisation des méthodes de propagation végétative. Plusieurs chercheurs travaillent à développer ces méthodes et à les rendre commercialement viables. L'avenir pourrait donc ressembler étrangement au passé.

## P r e m i è r e s   r e c h e r c h e s   m e n é e s   a u   C a n a d a

Au Canada, les essais d'introduction d'espèces exotiques ont débuté au tournant du présent siècle. Toutefois, à cette époque, l'origine des semences n'était pas notée. Les rendements exceptionnels obtenus avec certaines espèces ont tout de même démontré le potentiel qui existait dans ce domaine (MacArthur, 1964). Ils ont servi de base à l'installation de tests de provenances au cours des années 50. Les travaux de recherche en génétique forestière et en amélioration ont, quant à eux, débuté à la fin des années 30. Le but visé était de développer

les meilleurs semences et plants possibles pour les fins de reboisement (Heimburger, 1958). De 1939 à 1952, les chercheurs étaient regroupés dans un sous comité du Conseil national de la recherche. À partir de cette dernière année, un comité d'amélioration des arbres était créé et il relevait du directeur de la division des forêts au ministère fédéral des Affaires du Nord et des Ressources naturelles. Déjà, à cette époque, des recherches étaient menées en plusieurs endroits au Canada. En Colombie-Britannique, on travaillait, entre autres, sur la résistance du pin blanc de l'ouest à la rouille vésiculeuse et sur la floraison du Douglas taxifolié. C'est dans cette province qu'a été installé en 1963 le premier verger à graines au Canada (Schooley et Mullin, 1987). Au cours de la même période, le développement de variétés devant servir de brise vent était initié en Saskatchewan. À la station forestière de Petawawa de même qu'à celle d'Acadia, on étudiait la variabilité génétique d'origine géographique, principalement chez les épinettes et les pins durs, et on y travaillait au développement de variétés d'espèces forestières résistantes aux maladies ou aux insectes. Pendant ce temps, le ministère des Terres et Forêts de l'Ontario réalisait des travaux d'amélioration génétique chez le pin blanc, les peupliers et les pins durs. Au Québec, une première était créée. Des notions de génétique forestière étaient données aux étudiants en génie forestier à l'Université Laval.

## **R e c h e r c h e   e t   d é v e l o p p e m e n t   a u   Q u é b e c**

Avant les années 60, tous les travaux d'amélioration génétique au Québec étaient réalisés sous la supervision des généticiens forestiers de l'Institut forestier national de Petawawa (SCF), et en particulier de M. Mark Holst, sommité en son domaine. Les organismes québécois qui collaboraient au développement de ce champ de recherche comprenaient le ministère des Terres et Forêts, la Faculté de foresterie et de géodésie de l'Université Laval et quelques compagnies forestières. Par suite d'une régionalisation des efforts de recherche au sein du Service canadien des forêts au milieu des années 60, deux généticiens forestiers, les D<sup>rs</sup> Laurence Roche et Émile Falkenhagen, étaient engagés au Centre de foresterie des Laurentides. Cela constituait, de concert avec les efforts de recherche déployés par le D<sup>r</sup> Louis Parrot de l'Université Laval, la première étape de la prise en charge des programmes d'amélioration génétique des arbres par les organismes de recherches localisés au Québec. L'échantillonnage génique des espèces forestières a été instauré à cette époque sur le territoire québécois et l'étude de la variabilité génétique s'est poursuivie à l'aide des tests de provenances mis en place précédemment.

En 1969, une demande de création d'un programme général d'amélioration des arbres forestiers était présentée aux autorités du ministère des Terres et Forêts de l'époque par le D<sup>r</sup> Gilles Vallée (1969). Il devait être mis en oeuvre par les chercheurs du Service de la recherche du même ministère. Les objectifs principaux de ce programme étaient de préciser le choix des espèces et des provenances à planter selon les stations et les régions écologiques, d'améliorer la qualité génétique des plants destinés au reboisement et de diversifier les espèces utilisées dans les reboisements pour accroître leur production et leur rentabilité (Vallée, 1975). De plus, en 1970, un comité d'amélioration génétique des arbres forestiers, rassemblant tous les chercheurs impliqués, était constitué. Au milieu des années 70, le D<sup>r</sup> Armand Corriveau prenait en main les destinées du groupe de recherches en génétique forestière et amélioration des arbres au

Centre de foresterie des Laurentides et une entente était établie entre les organismes fédéral et provincial de manière à empêcher toute duplication.

L'intérêt pour les travaux de génétique forestière et d'amélioration des arbres a été long et difficile à susciter au Québec, à cause de l'abondance et de l'omniprésence de la forêt (Corriveau et Vallée, 1981). Toutefois, l'augmentation croissante de la demande mondiale de produits forestiers, la nécessité de hausser le rendement de nos forêts pour pouvoir soutenir la compétition étrangère, l'augmentation des coûts de récolte consécutifs à un éloignement des sources d'approvisionnement des usines, la surexploitation de certaines zones, particulièrement dans la partie méridionale du Québec, et l'insuffisance de la régénération dans de nombreuses régions ont conduit les gestionnaires de la forêt à proposer d'intensifier considérablement les efforts de reboisement. Encore là, malgré l'acceptation par les autorités du MRN de quintupler le nombre de semis mis en terre entre 1972 et 1977, l'objectif de production n'avait été atteint qu'à moitié en 1976, et ce pour un ensemble de raisons (Vallée, 1979). Quelques années plus tard, l'objectif annuel a été porté à 300 millions de semis, à la suite du constat que quelque 3 millions d'hectares étaient mal régénérées et que ce nombre allait grandissant (Leblanc, 1977). Ce dernier objectif n'a, à son tour, jamais été complètement atteint. Depuis quelque temps, on assiste à un virage vers une plus grande utilisation de la régénération naturelle. Ainsi, les prévisions de reboisement ont été révisées à la baisse, telle que le démontrent les nombres présentés au tableau 1. Toutefois, le programme de reboisement demeure encore très important et on ne peut maximiser sa rentabilité que par l'utilisation de stocks génétiquement améliorés couplée à une sylviculture intensive assurant un contrôle de la compétition (Zobel, 1989). Bien que la recherche en génétique forestière et amélioration soit relativement récente, de nombreuses espèces en font l'objet (tableau 2), et les accomplissements à ce jour sont nombreux et remarquables (tableau 3). De plus, les travaux en amélioration génétique ont eu le mérite de sensibiliser les reboiseurs à l'importance de l'origine des semences.

## RÉSULTATS

Je voudrais maintenant vous présenter de façon un peu plus précise les activités de recherche et de développement réalisées à ce jour et les résultats obtenus pour quelques espèces d'importance. Je ne pourrai malheureusement pas traiter des résultats pour l'ensemble des espèces. J'aimerais tout de même faire une revue la plus large possible.

Dans tout programme d'amélioration, il est essentiel que des essais d'introduction et des études de la variation géographique chez une espèce soient réalisés avant d'entreprendre le programme de sélection et de croisements. L'information recueillie est indispensable à la délimitation de zones d'utilisation des semences, à la recommandation du stock génétique le plus performant pour chaque zone et à l'identification des critères à utiliser pour la sélection et l'amélioration. Ainsi, peu importe le degré de sophistication des techniques utilisées, les gains génétiques les plus grands, les plus rapides et les moins onéreux dans la plupart des programmes d'amélioration génétique sont obtenus en s'assurant d'abord de l'emploi de la bonne espèce et des meilleures sources de l'espèce pour un site donné (Zobel et Talbert, 1984).

**Tableau 1.** Objectifs de reboisement à partir de 1996 dans la zone de la forêt mixte (domaines écologiques 1 à 8), selon la consultation des régions d'août 1993 (en milliers de plants)<sup>a</sup>

Espèces	Domaines écologiques <sup>b</sup>								Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Épinette blanche	112	4 895	7 400	3 102	4 626	2 318	1 975	4 637	29 065
Épinette noire	4	1 430	2 503	2 254	7 855	1 590	6 041	13 233	34 910
Autres épinettes	20	816	1 453	741	1 623	55	50	641	5 399
Mélèze	19	284	266	107	134	53	5	60	928
Pin blanc	27	376	577	71	72	100	188	4	1 415
Pin gris		476	1 751			1 767	1 859	7 771	13 624
Autres résineux	44	843	566	110	151	88	30	9	1 841
Bouleau jaune		30	90		12	12	55	2	201
Chêne rouge	16	98	39	13	7		5		178
Érable à sucre	16	27	31	29	18	9		2	132
Frêne blanc	5	77	57	16	12			4	171
Autres feuillus	16	80	9			14			119
<b>Toutes essences</b>	<b>279</b>	<b>9 432</b>	<b>14 742</b>	<b>6 443</b>	<b>14 510</b>	<b>6 006</b>	<b>10 208</b>	<b>26 363</b>	<b>87 983</b>

<sup>a</sup> Source : Ministère des Ressources naturelles du Québec, Service de la production de plants.

<sup>b</sup> Selon Thibault et Hotte (1985).

Les premiers essais d'introduction et tests de provenances effectués au Québec remontent aux années 50. Les deux plus vieux tests de provenances ont été installés sur la base militaire de Valcartier en 1954 et 1955 et ils regroupent respectivement 12 populations de pins gris originaires de l'Ontario et 16 des États du Michigan et du Wisconsin. Depuis ce temps, quelque 1 000 dispositifs expérimentaux ont été mis en place pour étudier la variabilité génétique chez les espèces concernées et pour assurer le succès des programmes d'amélioration.

Il est vite apparu nécessaire, à cause de l'ampleur que prenaient les programmes d'amélioration génétique, que des sites de bonne dimension soient délimités et préservés pour l'installation de plantations comparatives. Ainsi, dès 1969, 19 arboretums et 2 populeturns, couvrant une superficie d'au-delà de 6 000 hectares et dont les conditions pédoclimatiques sont représentatives des zones à reboiser, étaient créés. Ce réseau s'est avéré un outil de choix pour regrouper les tests génétiques et pour créer des sites privilégiés de conservation *ex situ* de la diversité génétique des espèces sous programme d'amélioration. De plus, le regroupement des tests génétiques permet de comparer la performance et la phénologie des espèces, populations et individus croissant dans des environnements communs (Corriveau et Vallée, 1981). Plus de 750 dispositifs expérimentaux rassemblant des individus, familles et populations de 157 espèces exotiques et indigènes ont été établis à ce jour dans les arboretums (Beaudoin, 1993).

**Tableau 2.** Principaux projets de recherche en génétique forestière et amélioration des arbres menés au Québec en 1994

Projets	Organismes concernés <sup>a</sup>
Tests de provenances	SCF, MRN, U.L.
Introduction d'espèces exotiques et banque de semences	MRN, U.L., SCF
Amélioration génétique de l'épinette noire	MRN
Amélioration génétique du pin gris	MRN, U.Q.
Génétique et amélioration de l'épinette blanche	SFC, U.L., U.Q.
Génétique et amélioration de l'épinette de Norvège	SCF, MRN
Génétique et amélioration du pin blanc	SCF
Amélioration génétique des mélèzes	MRN
Amélioration génétique du pin sylvestre	MRN
Génétique et amélioration des peupliers	MRN
Génétique et amélioration des feuillus nobles	MRN, U.L.
Génétique et amélioration de l'érable à sucre	MRN, U.L.
Sélection d'espèces pour l'ornementation et la réalisation de brise-vent sur les abords des route et autoroutes	MRN
Culture <i>in vitro</i> des conifères	SCF, U.L., U.Q.
Induction florale	SCF, MRN
Transformation génétique chez l'épinette blanche	MRN, U.L., SCF
Développement de variétés supportant la compétition en plantation chez <i>Picea mariana-rubens</i>	MRN, U.L.
Génétique des populations des épinettes et du pin blanc	SCF
Variabilité génétique de la rouille vésiculeuse du pin blanc	SCF
Variabilité génétique du <i>Nectria galligena</i>	MRN, U.L.
Biologie du charançon du pin blanc et résistance des hôtes	SCF
Réalisation du réseau de vergers à graines	MRN
Réseau de secteurs expérimentaux pour l'amélioration des arbres forestiers	MRN

<sup>a</sup> SCF : Service canadien des forêts - Région du Québec; MRN : Ressources naturelles Québec; U.L. : Université Laval - Faculté de foresterie et de géomatique; U.Q. : Université du Québec

**Tableau 3.** Principales réalisations en recherche et développement en génétique forestière et amélioration des arbres au Québec

---

**Principales réalisations**

---

- 1- Délimitation de zones semencières pour les principales essences résineuses.
  - 2- Création d'un réseau de 19 arboretums, de 2 populeturns et de 150 secteurs expérimentaux.
  - 3- Établissement de plus de 1 000 dispositifs expérimentaux.
  - 4- Création d'un réseau de peuplements semenciers.
  - 5- Mise en place d'infrastructures de recherche et de développement comprenant des serres, des pépinières, un centre de greffage et un centre de bouturage.
  - 6- Établissement d'un réseau de 81 vergers à graines de semis et clonaux pour 12 essences résineuses. La capacité de production est de 266 millions de plants.
  - 7- Installation de 75 tests de descendance accompagnant les vergers de semis de *Larix decidua*, *Larix X eurolepis*, *Larix laricina*, *Larix leptolepis*, *Picea mariana*, *Pinus banksiana*.
  - 8- Recommandation de 42 clones de peupliers hybrides et développement de techniques d'inoculation et d'évaluation de la sensibilité à la maladie.
  - 9- Recommandation de clones de peuplier, d'aulne et de saule pour la production de biomasse.
  - 10- Recommandation des meilleures provenances pour les principales essences résineuses.
  - 11- Délimitation de zones d'amélioration pour les épinettes blanche, noire et de Norvège.
  - 12- Installation de parcs d'hybridation et de banques clonales.
  - 13- Développement de méthodes de propagation végétative (greffage, bouturage, culture *in vitro*).
  - 14- Mise au point de méthodes d'induction florale pour accélérer les programmes d'amélioration.
  - 15- Développement de méthodes de conservation et d'évaluation de la qualité physiologique du pollen.
  - 16- Instauration de banques de semences pour la conservation *ex situ* des ressources génétiques.
  - 17- Développement de marqueurs moléculaires pour la certification des hybrides et pour assister la sélection.
- 

La vaste majorité des tests génétiques y ont été installés. Toutefois, pour diverses raisons, certains tests ont été établis hors arboretum. Ils sont au nombre d'environ 150 et ils font l'objet d'une protection par le MRN.

L'information recueillie au fil des années dans ces dispositifs expérimentaux, au niveau de l'adaptation et du rendement des espèces testées, a permis de faire de recommandations d'utilisation en fonction des régions et des sites à reboiser (Beaudoin et collab., 1994; Comité



d'amélioration génétique des arbres forestiers du Québec, 1983), de recommander une délimitation provisoire des zones d'amélioration et de sélectionner des individus supérieurs à l'intérieur de ces provenances supérieures pour constituer les populations d'amélioration de base. De plus, l'intérêt des résultats de ce type de recherche réside dans le fait que la supériorité des meilleures provenances par rapport aux provenances locales peut se traduire en rendements accrus sans efforts supplémentaires de la part des améliorateurs.

### Épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.)

Les premiers tests de provenances, incluant 100 provenances d'origine pan-domaniale, ont été établis à six endroits au Québec en 1974 et 1975 par le Service canadien des forêts (SCF). Par suite des résultats obtenus, à l'âge de 16 ans, et en s'appuyant sur les domaines écologiques proposés par Thibault et Hotte (1985), cinq zones d'amélioration ont été proposées par Beaulieu et collab. (1989). Une version modifiée de celles-ci (figure 1) a été adoptée par Michel Villeneuve, améliorateur de l'épinette noire au Québec (Michel Villeneuve, communication personnelle). Des provenances supérieures ont été recommandées pour ces zones. L'utilisation des quelque 25 meilleures provenances dans chaque zone se traduit par des gains respectif en hauteur par rapport aux provenances locales, de 6, 10 et 15 % pour les zones B, N et D, à l'âge de 16 ans. Celles proposées pour la zone D, soit la zone couvrant l'essentiel des Appalaches, sont présentées au tableau 4. On peut constater que plusieurs des meilleures provenances viennent de l'extérieur du Québec.

Des individus supérieurs ont été sélectionnés dans ces provenances et sont actuellement utilisés par l'améliorateur pour réaliser son plan de croisements et pour développer des variétés multifamiliales destinées au reboisement. Des tests en pépinière et en forêt ont été établis à partir de boutures prélevées sur des semis issus de ces croisements dirigés et produites au Centre de bouturage de Saint-Modeste. Les résultats à quatre ans en pépinière montrent une supériorité de 34 % en hauteur des 10 meilleures variétés multifamiliales sur celles issues de semis de source locale (M. Villeneuve, communication personnelle).

Au début des années 80, une proposition de mise en place d'un réseau de vergers à graines a été faite aux autorités du MRN de l'époque (Lamontagne, 1981). Le but visé était d'assurer le plus rapidement possible un approvisionnement en semences améliorées pour l'ensemble du reboisement en résineux au Québec. Compte tenu que les programmes d'amélioration génétique de la plupart des essences forestières n'en étaient qu'à leurs premières étapes, que les interactions génotypes-milieus et les héritabilités des caractères qu'on désirait améliorer étaient peu connus, il a été décidé de développer ces premiers vergers sur une base régionale, c'est-à-dire à partir de sélections d'arbres-plus en forêt naturelle dans chaque région. Ainsi, 24 vergers de semis ont été établis et accompagnés de 42 tests de descendance (Lamontagne, 1992). Ces derniers serviront à déterminer la valeur en croisement des parents et à effectuer des éclaircies génétiques dans les vergers sur cette base.

Au début du 21<sup>e</sup> siècle, le matériel supérieur sélectionné dans les essais de provenances et dans les tests de descendance accompagnant les vergers à graines sera regroupé et utilisé pour

constituer la base génétique à partir de laquelle seront effectués les travaux d'amélioration de la prochaine génération.

**Tableau 4.** Liste des provenances d'épinette noire recommandées pour la zone d'amélioration D couvrant le territoire des Appalaches et supériorité par rapport aux provenances locales

Numéro	Nom de la provenance	Hauteur moyenne à 16 ans (m)	Supériorité (%) sur la moyenne des provenances locales
S.321	Perthuis, Portneuf, Qc	2,81	20,3
S.333	Matagami, Abitibi-Est, Qc	2,74	17,3
S.347	Rivière-aux-Rats, Laviolette, Qc	2,77	18,5
S.352	Péribonka, Roberval, Qc	2,73	16,8
S.442	Chute-aux-Galets, Chicoutimi, Qc	2,74	17,3
S.1534	Madawaska, N.-B.	2,77	18,5
S.1538	Rivière Caraquet, N.-B.	2,85	22,0
S.1539	R. Tweedie, N.-B.	2,73	16,8
S.6907	Timmins, Ogden, Ont.	2,76	18,1
S.6922	Tour, Sioux, Ont.	2,84	21,5
S.323	Parc Chibougamau, Roberval, Qc	2,54	8,7
S.326	Parc Chibougamau, Lac-Saint-Jean, Qc	2,68	14,7
S.348	Bas-Mattawin, Saint-Maurice, Qc	2,64	13,0
S.349	Saint-Michel-des-Saints, Berthier, Qc	2,52	7,8
S.351	Normandin, Roberval, Qc	2,56	9,6
S.353	Mars Ha! Ha!, Chicoutimi, Qc	2,60	11,3
S.356	Lac Parent, Abitibi-Est, Qc	2,57	10,0
S.372	Lac Doré, Maskinongé, Qc	2,62	12,1
S.1531	Base Gagetown, N.-B.	2,70	15,5
S.4360	Penobscot Co., Maine, USA	2,57	10,0
S.6901	Bancroft, Hastings, Ont.	2,53	8,3
S.6903	Chalk River, Renfrew, Ont.	2,65	13,4
S.6917	Ipsala, Ont.	2,68	14,7
S.6927	Minaki, Ont.	2,61	11,7
S.6975	Whiteshell Prov. Park, Man.	2,71	16,0
	Moyenne des provenances recommandées	2,68	14,7

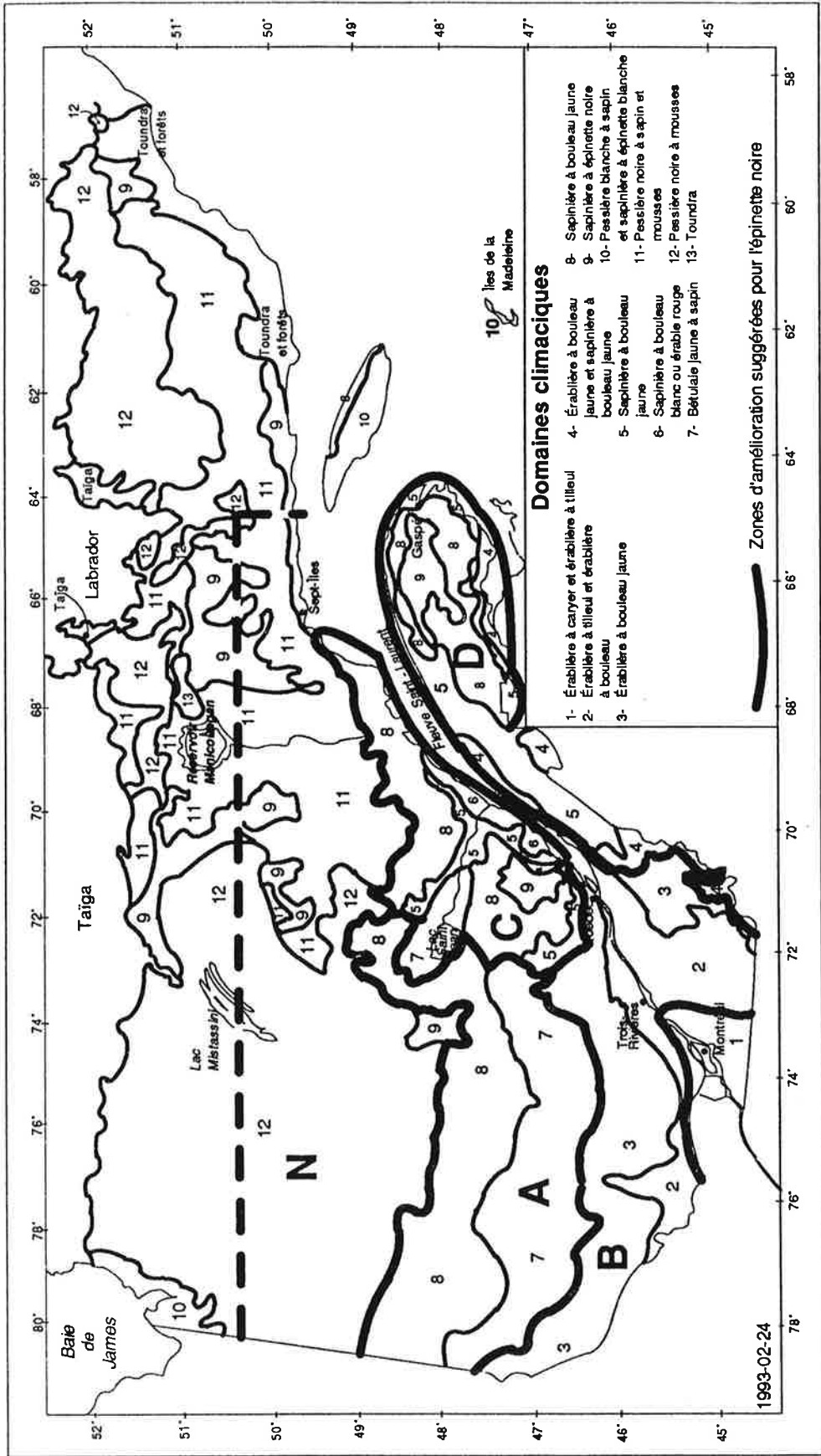


Figure 1. Zones d'amélioration suggérées pour l'épinette noire au Québec.

Épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss)

L'épinette blanche, qui possède un fort potentiel d'amélioration génétique (Beaulieu et Corriveau, 1985; Corriveau et Boudoux, 1971; Niensteadt et Teich, 1971), est la deuxième essence résineuse, en ordre d'importance, la plus plantée dans la zone de la forêt mixte au Québec. Entre 1972 et 1990, plus de 360 millions de plants ont été mis en terre. Ce sont des taux de survie élevés après la plantation, un rendement élevé, une grande plasticité et des qualités de bois supérieures qui font la popularité de cette essence.

Une dizaine de tests de provenances établis à la fin des années 50 et au milieu des années 60 ont permis de démontrer la présence d'une variabilité génétique de nature géographique. Les résultats obtenus depuis indiquent la présence d'un bassin génique de qualité supérieure dans une zone couvrant le sud-ouest du Québec et la pointe sud de l'Ontario. Un grand nombre des provenances de cette zone ont en effet démontré une grande adaptabilité et un rendement supérieur dans la majorité des tests établis. Ainsi, certaines ont été recommandées pour le reboisement au Québec. Les résultats des deux tests de provenances de la première série sont présentés au tableau 5. On peut y noter des supériorités respectives des provenances recommandées de 33 à 53 % en volume à 25 ans. La seconde série de tests en comprenait sept (Harrington, Baskatong, Casey, Saint-Jacques-des Piles, Grandes-Piles, Saint-Raymond et Saint-Appolinaire). Les dispositifs expérimentaux étaient constitués de blocs aléatoires complets et les arbres étaient espacés de 1,8 m. Cinq provenances ont démontré de bons rendements sur chacun des sites et ont été recommandées pour le reboisement. Ces provenances sont S.2438 Peterborough, S.2444 Beachburg, S.2445 Cushing, S.2446 Beloeil et S.2447 Grandes-Piles. Elles ont démontré en moyenne une supériorité variant de 19 à 32 %, en volume total à l'hectare selon le site, par rapport à la moyenne des provenances d'origine québécoise. Les meilleurs rendements ont été obtenus sur le site de Grandes-Piles, avec un volume total de 203 m<sup>3</sup>/ha en tenant compte du taux de survie de chaque provenance recommandée. Les résultats indiquent également qu'il est possible de sélectionner des phénotypes supérieurs dits généralistes et donc de développer des variétés à grande amplitude écologique. Ainsi, quelque 100 phénotypes supérieurs ont été sélectionnés dans ces provenances et greffés. Ils sont actuellement dans un parc d'hybridation et sont utilisés dans le programme de croisements dirigés pour constituer la seconde génération d'amélioration et pour approvisionner le Centre de bouturage de Saint-Modeste en semences améliorées.

Dans les premières phases des programmes d'amélioration, les caractéristiques de productivité volumique, de qualité de la tige et de résistance aux insectes et maladies étaient celles qui étaient privilégiées pour la sélection des phénotypes supérieurs. Depuis, on a pris conscience de l'importance de tenir compte dans la sélection des caractéristiques du bois, telle la densité, compte tenu de la plus grande proportion de bois juvénile qu'on retrouve dans du bois de plantation et cultivé sur courte rotation. Aussi, des études visant à estimer la densité du bois de l'épinette blanche en forêt naturelle et en plantation ont été réalisées (Beaulieu et Corriveau, 1985; Corriveau et collab., 1987; Corriveau et collab., 1990). Elles ont démontré qu'il existait des différences significatives entre les populations et qu'environ 15 % de la variation totale était expliqué par les populations. Cette variation ne peut toutefois être liée à aucun gradient

**Tableau 5.** Supériorité des provenances d'épinette blanche recommandées pour le reboisement au Québec par rapport à la moyenne des provenances québécoises testées à Drummondville et à Harrington<sup>a</sup>

Origine des provenances	Drummondville		Harrington		
	Hauteur <sup>b</sup> à 20 ans (m)	Volume <sup>c</sup> à 25 ans (m <sup>3</sup> /ha)	Hauteur à 20 ans (m)	Volume d'éclaircie (m <sup>3</sup> /ha)	Volume à 25 ans (m <sup>3</sup> /ha)
<b>Provenances recommandées</b>					
Parc Algonquin 1			6,28	137,89	161,67
Parc Algonquin 2			6,53	160,94	124,98
Carnavon	6,48	158,26	4,26	98,29	83,33
Sundridge	6,53	149,11	5,93	127,44	112,04
Monaghan			6,24	180,42	168,28
Rama Tp	6,27	142,53	5,64	135,00	119,72
Petawawa F.E.S.	7,00	165,75	6,35	171,61	159,13
Moyenne	6,57	153,91	5,89	144,51	132,74
<b>Provenances québécoises</b>					
Maniwaki	5,23	108,75	5,30	80,60	76,94
L'Annonciation	5,73	108,40	4,80	68,44	96,63
Saint-Donat	5,90	118,36	5,19	75,89	88,70
Harrington	5,37	127,78	4,02	60,37	49,32
Saint-Zénon	5,17	97,72	5,04	71,90	75,55
Saint-Charles-de-Mandeville	5,75	123,66	4,98	89,44	70,56
Saint-Maurice	5,75	120,94	4,93	89,39	77,82
Rivière aux Rats			5,16	100,48	117,76
Moyenne	5,58	115,57	4,93	85,01	86,87
<b>Supériorité (%) des provenances recommandées</b>	<b>17,8</b>	<b>33,18</b>	<b>19,53</b>	<b>70,00</b>	<b>52,80</b>

<sup>a</sup> Ces tests de provenances ont été installés en 1958. Ils sont constitués de trois blocs aléatoires complets. Chaque parcelle carrée comprenait initialement 144 et 81 arbres espacés de 1,2 m respectivement à Drummondville et à Harrington. Une éclaircie systématique consistant à enlever une rangée sur deux a été effectuée dans chaque site en 1979. Les volumes ont été estimés à partir des tables de Popovich (1972).

<sup>b</sup> La sélection des phénotypes supérieurs pour constituer la population d'amélioration a été effectuée à partir de la hauteur des arbres observée en 1974.

<sup>c</sup> Les volumes présentés sont les volumes totaux reportés à l'hectare et tenant compte du taux de survie de chaque provenance, après une éclaircie systématique d'une rangée sur deux.

géographique. De façon générale, la densité du bois de l'épinette blanche est liée négativement à la croissance radiale. Il est toutefois possible d'identifier des individus qui ont à la fois une densité du bois et une croissance radiale élevées et de les sélectionner pour le programme d'amélioration. Sur la base de ces résultats, nous recommandons de sélectionner, dans un premier temps, les populations à croissance rapide et, dans un second temps, les individus à densité du bois élevée dans ces populations.

Nous avons aussi estimé le degré de transmissibilité de la densité du bois chez l'épinette blanche à partir d'un test de 39 descendances uniparentales, 19 ans après la plantation (Corriveau et collab., 1991). Ce caractère est sous un contrôle génétique élevé ( $h^2_i = 0,49$ ;  $h^2_f = 0,59$ ) et un gain de près de 12 % est attendu d'une sélection d'une famille sur 10 et d'un arbre sur 100 à l'intérieur de la famille retenue.

Comme les essais de provenances mis en place à la fin des années 50 et au début des années 60 ne renfermaient qu'un échantillon restreint de populations d'épinettes blanches, non suffisant pour servir de base au programme québécois d'amélioration génétique de cette espèce, il fut décidé par le D<sup>r</sup> Armand Corriveau, améliorateur de cette espèce à l'époque et dont j'ai pris la relève à son décès, d'entreprendre un programme intensif de recherche sur la génétique de l'épinette blanche. Ce programme de recherche débuta ainsi en 1978, en collaboration avec d'autres chercheurs du Canada et des États-Unis. Des semis de plus d'une centaine de populations représentées par un nombre variable de familles furent cultivés au Centre de foresterie des Laurentides (SCF) et à la pépinière de la Station forestière de Valcartier (SCF), près de la ville de Québec, avant d'être transférés sur huit sites d'expérimentation dont les conditions sont représentatives des zones à reboiser en épinette blanche. Ils sont situés en Gaspésie, au Lac-Saint-Jean, en Mauricie, en Estrie, au nord de Montréal et en Outaouais. Les informations tirées de ces tests de provenances-descendances nous ont permis de proposer deux zones d'amélioration (Li et collab., 1994). La première couvrira essentiellement les domaines écologiques de l'érablière alors que la seconde couvrira les domaines de la sapinière. Une population d'amélioration a été constituée pour chaque zone d'amélioration. Les valeurs en croisement des parents des familles testées ont été calculées à partir des hauteurs observées à l'âge de 13 et 17 ans selon les tests. Une sélection en aval des plus beaux phénotypes à l'intérieur des familles permettant les gains génétiques les plus élevés a été effectuée. Ainsi, quelque 300 génotypes supérieurs ont été sélectionnés et greffés. Certains seront utilisés dans les deux zones d'amélioration alors que d'autres sont spécifiques à chaque zone. Un groupe d'élites a été formé et des croisements assortis positivement seront réalisés pour accroître les gains génétiques. Les gains génétiques attendus en empruntant une telle stratégie sont de l'ordre de 25 % en hauteur à l'âge d'environ 15 ans. Des croisements seront aussi réalisés entre individus d'un groupe dit de développement. La population d'amélioration de la génération subséquente sera alors constituée d'arbres sélectionnés parmi les descendants du groupe d'élites et du groupe de développement. De cette façon, nous pourrions contrôler le niveau de diversité génétique dans la population d'amélioration à chaque génération.

Pour la première génération d'amélioration, les 100 phénotypes supérieurs sélectionnés au cours des années 70 et 80 dans les tests de provenances seront utilisés dans les deux zones, de

concert avec les arbres sélectionnés dans les tests de descendance. La sélection des géniteurs pour la seconde génération d'amélioration sera effectuée indistinctement dans les descendants des deux groupes.

Plusieurs centaines de croisements dirigés ont été réalisés à ce jour. Des lots ont été ensemencés au cours des dernières années. Les premiers tests de descendance seront établis à partir de 1996. Ils nous permettront d'identifier les meilleurs croisements à effectuer pour approvisionner le Centre de bouturage de Saint-Modeste. De plus, ils nous permettront de choisir les géniteurs qui devraient faire parti d'éventuels vergers de croisement visant à hausser les gains génétiques attendus.

Un premier réseau de 17 vergers à graines, dont la majorité est de type clonal, a été constitué par le MRN pour assurer à court terme un approvisionnement continu en semences améliorées. Ils ont été pour la plupart réalisés sur une base régionale à partir d'arbres-plus sélectionnés en forêt naturelle. Des copies du matériel sélectionné par le SCF ont été intégrées dans plusieurs de ces vergers. Les vergers de deuxième génération, créés à partir des descendants de la population d'amélioration de première génération, devraient venir plus tard prendre la relève de ces vergers.

### Épinette de Norvège (*Picea abies* [L.] Karst)

L'épinette de Norvège est l'espèce exotique qui a été la plus utilisée à ce jour dans le reboisement au Québec, faisant suite à la démonstration de rendements parfois supérieurs aux épinettes indigènes (MacArthur, 1964). Près de 175 millions de plants ont été mis en terre entre 1972 et 1991. Une centaine de provenances ont été testées sur le territoire méridional québécois. Les données recueillies dans les tests de provenances ont permis de proposer de subdiviser le territoire québécois en trois zones d'amélioration (figure 2) (Corriveau et collab., 1988). Une douzaine de provenances supérieures ont été recommandées pour le reboisement dans chacune de ces zones. La supériorité du matériel recommandé par rapport à l'ensemble testé est d'environ 12 % en hauteur et de 25 à 30 % en volume à 20 ans, dans chaque zone (tableau 6). Les meilleurs rendements obtenus étaient de 6,4 m<sup>3</sup>/ha/an. Des tests génécologiques comprenant quelque 250 descendance issues des provenances recommandées et de provenances non testées à ce jour mais susceptibles de montrer du potentiel ont été établis ou sont sur le point d'être établis dans chaque zone. Les buts visés sont de valider les zones d'amélioration proposées et de constituer à partir des meilleurs individus sélectionnés une population d'amélioration pour chaque zone. Ce travail est réalisé conjointement par le SCF et le MRN. M. Ante Stipanovic du MRN est responsable de son amélioration. On vise, pour cette espèce, à produire des variétés multifamiliales en propageant végétativement les semences issues de croisements entre individus à forte productivité et démontrant une résistance ou tolérance au charançon du pin blanc. Des recherches sont actuellement menées au SCF par M. Gaétan Daoust sur la génétique de l'espèce et on espère pouvoir comprendre les mécanismes à la base de la résistance à l'insecte et pouvoir sélectionner les arbres possédant les caractéristiques recherchées. Des recherches connexes portant sur le comportement du charançon du pin blanc sont menées par le D<sup>r</sup> Robert Lavallée du SCF.





**Tableau 6.** Supériorité, à l'âge de 16 ans, des provenances d'épinette de Norvège recommandées pour le reboisement dans les zones d'amélioration des Laurentides et des Appalaches

Zone d'amélioration		Laurentides				Appalaches	
		Valcartier		Guigues		Lac Saint-Ignace	
Dispositif de :		Hauteur (m)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	Hauteur (m)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)	Hauteur (m)	Volume (m <sup>3</sup> /ha)
Provenances recommandées							
<b>Série E.277</b>							
S.5404	Gorodokskii	7,85	91,6	4,57	24,0	5,73	58,2
S.5406	Minskii	7,65	83,8	4,77	22,1		
S.5397	Auce	7,58	86,6			5,81	40,5
S.5400	Skede	7,49	72,7			6,03	56,0
S.5405	Glubokskii	7,41	80,0	5,00	27,0		
S.5401	Tukums					5,82	52,9
S.5399	Jelgava					5,63	56,4
S.4027	Proulx					5,85	65,2
S.5407	Carlsfeld					5,87	64,2
Moyenne générale		6,75	68,6	4,30	19,3	5,35	48,6
Supériorité (%)		12,5	20,9	11,1	26,2	8,7	15,6
<b>Série E.310</b>							
S.5428	Bialowieza	8,81	100,9				
S.5427	Augustow	8,59	103,7	3,74	14,5		
S.5421	Myszyniec	8,59	95,8	3,82	13,7		
S.5413	Rycerka	8,53	92,2				
S.5423	Borki	8,51	86,1	3,80	12,9		
S.5426	Suwalki					5,18	27,0
S.5410	Kowary					5,53	44,2
S.5411	Istebna	8,04	88,9			5,80	48,1
S.5420	Sadlowo					5,68	43,4
S.5431	Stronie					5,87	48,9
Moyenne générale		7,96	82,6	3,34	11,0	5,08	31,6
Supériorité (%)		9,50	37,4	10,50	24,5	17,00	33,9

Une étude portant sur la variabilité d'origine géographique de la densité du bois a aussi été réalisée chez l'épinette de Norvège originaire d'Europe centrale et plantée à la Station forestière de Valcartier (Blouin et collab., 1994). La présence d'une interaction provenances-blocs n'a pas permis de démontrer l'existence de différences significatives au niveau de la densité du bois entre les 22 provenances testées. Toutefois, il a été possible d'identifier un groupe de provenances faisant partie des meilleures provenances dans chaque bloc. Les provenances originaires du nord-est de l'Europe, poussant dans des conditions climatiques similaires à celles observées au Québec, présentaient une densité du bois plus homogène de la moelle vers l'écorce que celle du sud-ouest. Les résultats de cette étude suggèrent qu'il soit possible de sélectionner du matériel supérieur permettant de conserver le niveau actuel de la densité du bois, de réduire de moitié la variation entre la densité du bois juvénile interne et externe et de doubler le volume par rapport au volume moyen des provenances testées.

En attendant les résultats de la recherche sur la résistance au charançon du pin blanc, un premier réseau de cinq vergers à graines clonales a été établi à partir du matériel recommandé pour ses caractéristiques supérieures de rendement, de qualité de la tige, de branchaison et de minimum de défauts dûs aux attaques d'insectes et maladies.

### Pin blanc (*Pinus strobus* L.)

Le programme d'amélioration génétique du pin blanc a été initié en 1976 (Corriveau et Lamontagne, 1977) et est conduit aujourd'hui par la D<sup>re</sup> Ariane Plourde du SCF. Le nouvel engouement pour le reboisement du pin blanc au milieu des années 70 faisait suite aux espoirs suscités par les nouvelles connaissances acquises sur la biologie de la rouille vésiculeuse et du charançon du pin blanc. Entre l'arrêt du reboisement du pin blanc au cours des années 50 et sa reprise au cours des années 70, on avait montré que l'utilisation de zones de moindre susceptibilité à la rouille vésiculeuse (Lavallée, 1986) et de pratiques sylvicoles minimisant les attaques du charançon (Lavallée et Benoît, 1989) aiderait à la production de pins blancs de qualité.

Depuis l'initiation du programme, l'échantillonnage génétique du territoire québécois a été réalisé et des lots de semences ont été obtenus de collaborateurs canadiens et américains. Une étude génécologique a été initiée en serre en 1982 et 1984, puis les semis ont été transférés à la pépinière de la Station forestière de Valcartier. Ils sont installés depuis 1986 ou 1988, selon le cas, dans sept sites soit en plantation mixte avec l'aulne rugueux européen, *Alnus incana*, ou sous couvert feuillu dans des bandes dégagées de 2 à 3 mètres de largeur. Les résultats en pépinière n'ont pas démontré la présence de gradients géographiques au niveau des caractéristiques de croissance et de rusticité. Des tests en laboratoire de gel des aiguilles n'ont pas non plus démontré une plus grande susceptibilité des sources méridionales. Ce résultat semble indiquer qu'il serait possible, dans le but d'accroître le rendement des plantations, de déplacer vers le nord des provenances du sud sans observer des problèmes majeurs d'adaptation. Des données sur la croissance et la qualité des tiges ont aussi été recueillies cinq ans après la plantation. Les résultats préliminaires laissent entrevoir que la sélection des

**Tableau 7.** Rendement des huit tests génécologiques de pins blancs établis au Québec et supériorité des meilleures provenances sur les provenances locales

Test génécologique	Coordonnées		Rendement		Principaux dommages (%)			
	LAT. (N)	LONG. (O)	Survie (%)	Hauteur (m)	Rouille	Charançon	Brou- tage sévère	Bris de neige
Fort Coulonge	45 58	76 42	76	1,34	9,5		15,5	
Saint-Elzéar	48 10	65 28	83	0,98	8,7		7,1	66,9
N.D.-du-Laus	46 00	76 25	88	1,95		4,3		
Grand-Mère	46 35	72 38	92	2,03	1,4			1,8
N.D.-du- Rosaire	48 54	71 27	84	1,53				
Lévis	46 47	71 10	89	1,75				18,5
Valcartier	46 57	71 28	93	2,00		4,1		
Saint-Valérien			88	1,75				6,9

Pourcentage de supériorité en hauteur des cinq meilleures provenances sur les provenances locales

Origine des provenances sélectionnées	Supériorité (%)
Québec	13
Ontario	11
États-Unis	17

meilleures provenances pourrait permettre dans un premier temps de hausser le rendement des plantations de pins blancs de l'ordre de 10 à 15 % en hauteur, à l'âge d'environ 10 ans (tableau 7).

Comme la période d'attente, avant que les résultats de telles études soient suffisamment fiables pour servir de base au programme d'amélioration, est assez longue, il a été décidé de commencer les travaux d'amélioration à partir d'individus supérieurs sélectionnés dans cinq populations cibles québécoises (Lac des Araignées, Sainte-Madeleine, Lac Brome, Lac Balsame, Rivière Schyan). Ces arbres ont été greffés et placés en parc d'hybridation à Cap Tourmente et les croisements infraspécifiques intra- et interpopulations ont été initiés de même que des croisements interspécifiques. Les descendances ainsi créées serviront aux études de la génétique de l'espèce, à l'identification des mécanismes et des gènes impliqués dans la résistance à la rouille vésiculeuse et au développement de variétés résistantes. Parallèlement à

ces travaux de nature classique, des travaux en embryogenèse somatique sont conduits de manière à préparer le matériel nécessaire pour effectuer le transfert de gènes de résistance chez le pin blanc et effectuer une sélection *in vitro* du matériel résistant.

Comme pour les autres essences, un réseau de six vergers à graines clonales a été mis en place par le MRN pour assurer un approvisionnement continu en semences améliorées de première génération. Les clones qu'on y retrouve proviennent soit de phénotypes supérieurs sélectionnés dans les cinq populations cibles ou de sélection d'arbres-plus dans d'autres populations.

### Peupliers (*Populus spp.*)

Le programme d'amélioration du peuplier a débuté en 1968 au MRN sous la direction du D<sup>r</sup> Gilles Vallée. Des sélections ont été réalisées à l'époque et des tests clonaux de ce matériel ont été installés dès 1969 (Vallée, 1975). Ceux-ci s'ajoutaient à d'autres installés quelques années plus tôt par le SCF. Aujourd'hui, par suite des résultats des 73 tests clonaux polystationnels, 23 plantations de collection et 38 tests de provenances-descendances, plus d'une quarantaine de clones de peupliers hybrides ont été recommandés pour différentes régions et domaines écologiques (Vallée et collab., 1994). Ils produisent jusqu'à trois fois plus de volume que les meilleurs clones de peupliers indigènes au Québec, c'est-à-dire environ 200 m<sup>3</sup>/ha à 20 ans pour un espacement de 3 m x 3 m. Des quartiers de pieds-mères ont été constitués pour la production de boutures. Dans le développement de variétés améliorées de peuplier, les croisements interspécifiques ont été privilégiés pour tirer partie de la vigueur hybride. Les descendances créées servent de réservoir pour constituer la population d'amélioration. Les individus supérieurs sont sélectionnés pour leurs caractéristiques de croissance, de rusticité, de qualité du fût et de résistance aux maladies qui s'attaquent aux feuilles et au tronc.

### Mélèzes (*Larix spp.*)

L'amélioration génétique des mélèzes, effectuée sous la direction de M. Ante Stipanovic du MRN, a été entreprise au début des années 70. Plusieurs tests de provenances de mélèze laricin ont été établis dans les arboretums. Les provenances les plus performantes ont été recommandées pour le reboisement. Ce sont Petawawa, Maniwaki, Saint-Jovite, Drummondville et Canton de Langevin pour les domaines écologiques 2, 3, 4, 5 et 8 (Beaudoin et collab., 1994). À l'âge de 10 ans, la hauteur moyenne de ces provenances surpasse de 9 % celle de l'ensemble des provenances testées. La production totale marchande attendue à 30 ans est de 128 m<sup>3</sup>/ha (Stipanovic, 1994). Quatre vergers à graines de semis ont été établis pour fournir la semence améliorée de première génération. Ils sont accompagnés de six tests de descendances dont les résultats serviront à orienter les éclaircies génétiques des vergers à graines.

Les mélèzes exotiques et les mélèzes hybrides, dont le plus connu est le *Larix x eurolepis* Henry, offrent un très fort potentiel de rendement sur les bons sites. En 1977, le MRN a établi huit tests de provenances-descendances comprenant 20 lots de semences de mélèzes hybrides, 11 provenances et 2 descendances de mélèze d'Europe et 9 provenances du Japon (Stipanovic,

1993). L'utilisation des semences de deux vergers à graines situés au Danemark a été recommandée par l'améliorateur et ce jusqu'à ce que les cinq vergers établis au Québec entrent en production. Le rendement attendu à l'âge de 40 ans des lots de semences du Danemark est de 324 m<sup>3</sup>/ha. Des provenances de mélèze européen et de mélèze japonais ont également été recommandées pour le reboisement. Dans le cas de la première espèce, elles proviennent essentiellement de Pologne, d'un verger à graines d'Allemagne et de plantations commerciales établies au Québec. De plus, trois vergers à graines ont été établis au Québec à partir de semis ou d'arbres greffés. Le verger clonal a été constitué à partir de phénotypes supérieurs sélectionnés dans les provenances supérieures et dans les vieilles plantations commerciales. La compagnie Avenor inc. et l'Institut forestier national de Petawawa du SCF ont collaboré pour son installation. Les vergers fourniront une bonne partie des semences nécessaires au reboisement. En ce qui a trait au mélèze japonais, il existe présentement un verger à graines. Il est situé à Batiscan et a été planté en 1980. Il couvre une superficie de 1,8 hectare et une éclaircie partielle y a été effectuée en 1992.

Le programme d'amélioration se poursuit en mettant la priorité sur la création d'hybrides interspécifiques. Les semences obtenues sont acheminées au Centre de bouturage de Saint-Modeste pour propager végétativement les semis cultivés.

### **A c t i v i t é s   d e   c o n s e r v a t i o n   d e   l a   d i v e r s i t é   g é n é t i q u e**

La conservation des ressources génétiques et de la biodiversité est une des préoccupations mondiales actuellement. Il existe deux grandes classes de méthodes conservatoires, soit l'*in situ* et l'*ex situ*. Le millier de tests de provenances et de descendances, les banques clonales, les vergers à graines et les banques de semences et de pollen mis en place au Québec au fil des années sont autant de collections de matériel assurant une conservation *ex situ* des ressources génétiques forestières québécoises. Bien sûr, l'ensemble des espèces ne jouit pas de cette protection reconnue par la mise en place de secteurs d'expérimentation, d'arboretums et de populeturns. Toutefois, plusieurs espèces forestières indigènes reçoivent au moins une protection grâce à la présence de parcs et de réserves.

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. Et la mise en place des tests a permis d'obtenir une meilleure information à cet égard. Les améliorateurs effectuent une sélection en faveur des génotypes les plus performants. Cette sélection artificielle ne doit toutefois pas être interprétée comme un facteur causal d'une réduction inéluctable de la diversité génétique chez l'espèce améliorée et que cela se fait à son détriment. En fait, la sélection naturelle contrôle elle aussi 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 liés à l'adaptation ou à la résistance aux insectes et aux maladies. En fait le maintien de la diversité génétique dans les populations d'amélioration est une préoccupation constante des améliorateurs. Par exemple,

nous avons comparé, à l'aide de marqueurs alloenzymatiques, le niveau de diversité génétique dans la population d'amélioration de l'épinette blanche à celui présent dans que les provenances et les populations d'origine. Nous avons montré qu'on ne pouvait détecter de pertes significatives en terme de richesse allélique (Despouts et collab., 1993). De plus, l'étude indique que les arbres sélectionnés pour leurs caractéristiques de croissance et de qualité du fût possèdent un plus haut taux d'hétérozygotie que les échantillons de la provenance et de la forêt naturelle qu'ils représentent.

## P e r s p e c t i v e s

### Reboisement

Comme nous avons vu plus haut, les besoins en reboisement ont diminué, et ce en grande partie parce que les territoires non suffisamment régénérés après coupe se sont raréfiés. De plus, des efforts importants sont déployés pour que les nouveaux sites exploités se régénèrent naturellement. Le Québec ne fait pas cavalier seul dans cette voie, puisque nombre de ses concurrents utilisent la même stratégie. Toutefois, en même temps qu'on privilégie ailleurs cette option qui vise à ce que les écosystèmes naturels se perpétuent, on déploie des efforts pour développer une foresterie intensive sur des superficies plus restreintes. Et, pour contrer l'incertitude à long terme, des arbres à croissance rapide sont cultivés sur des rotations de plus en plus courtes. Cette production intensive de la matière ligneuse sur des sites à haute productivité et situés près des usines, qui allie l'utilisation de stocks génétiquement améliorés à celle d'une sylviculture intensive, se traduit par des économies d'échelles importantes en région péri-urbaines et rurales. À titre d'exemple, un pays comme la Nouvelle-Zélande n'utilise que 20 % de sa superficie forestière pour répondre à 80 % de ses besoins en fibres, et ce grâce à l'utilisation de variétés améliorées de pin de Monterey. La hausse du rendement sur de plus faibles superficies près des usines permet en même temps une baisse des coûts de la matière ligneuse et une diminution de la pression sur la forêt naturelle. Ainsi, une plus grande superficie du territoire forestier peut être allouée à d'autres fins qu'à la production de matière ligneuse et à la conservation.

Le Québec m'apparaît mûr pour privilégier une telle stratégie en deux volets. En effet, les participants au colloque portant sur les enjeux du secteur forestier québécois, organisé en octobre 1993 par le Conseil de la recherche forestière du Québec, ont clairement établi un consensus sur la nécessité d'un aménagement à intensité variable couplé à un zonage forestier délimitant des zones à production intensive de matière ligneuse (Conseil de la recherche forestière du Québec, 1994). Un reboisement des terres agricoles abandonnées en milieu habité, par exemple, avec du matériel génétiquement supérieur à haut rendement allié à une sylviculture intensive pratiquée par les gens du milieu pourrait certainement être une assise solide pour le développement d'une industrie forestière régionale prospère et créatrice de richesse favorisant le maintien et le développement des communautés locales. Du même coup, une telle stratégie permettrait d'améliorer à moyen terme la position concurrentielle de l'ensemble de l'industrie forestière québécoise par un accès proche à une matière ligneuse de

qualité. De même, elle permettrait de faire savoir aux pays étrangers que l'industrie forestière québécoise adhère à des pratiques forestières qui favorisent la conservation et le renouvellement des écosystèmes naturels sur le maximum du territoire, tout en s'assurant d'un approvisionnement de qualité.

### Recherche et Développement

L'étalage des résultats des recherches en génétique forestière obtenus à ce jour montre que des pas importants ont été réalisés pour améliorer la qualité génétique du matériel de reboisement. Des investissements majeurs tant du côté financier que humain ont été effectués. Toutefois, il reste encore beaucoup de chemin à parcourir pour cueillir pleinement les fruits de l'amélioration génétique. Un certain nombre des champs de recherche à privilégier ont été identifiés par les membres d'un groupe de travail du MRN, dont je faisais partie, dans un rapport remis au sous-ministre associé de ce ministère en décembre dernier.

Ainsi, on considère que l'évaluation des géotypes placés en vergers à graines devra être complétée par un suivi des tests de descendance qui les accompagnent. Les résultats obtenus permettront d'effectuer les éclaircies génétiques des vergers de semis de manière à hausser les gains génétiques attendus. Les premières éclaircies réalisées dans les vergers de pins gris laissent entrevoir qu'il sera possible de hausser les gains génétiques d'environ 5 à 6 % par une telle pratique (André Rainville, communication personnelle). On a également souligné que les recherches aux niveaux entomologiques, physiologiques et de réponse à la fertilisation devront être poursuivies pour stimuler la production de semences et protéger la récolte. En ce qui a trait aux vergers clonaux, des tests de descendance des géotypes constituant ces vergers devront être établis de manière à pouvoir évaluer la valeur en croisement de ces géotypes. Les résultats des tests de descendance permettront alors d'éclaircir génétiquement les vergers pour hausser la qualité génétique des semences produites.

D'autres activités de recherche devront également être réalisées pour soutenir la mise en place de structures de production pour la deuxième génération. Il est probable que, pour éliminer la contamination pollinique empêchant la concrétisation des gains génétiques attendus, les vergers de l'avenir en soient de croisements dirigés. Dans ce contexte, il faudra mettre une emphase sur le développement de la technologie pour réaliser ces croisements. De plus, comme la source de pollen sera contrôlée dans les vergers, des recherches devront porter sur les méthodes de stimulation de la production de pollen, sur les techniques de conservation du pollen et de pollinisation et sur la contribution de chaque géniteur mâle.

De plus des travaux de recherches devront d'une part être conduits pour réduire la durée du testage tout en augmentant la précision des résultats obtenus. La concrétisation des gains génétiques attendus en dépend. D'autre part, des tests de démonstration des gains génétiques réalisés, comprenant les provenances recommandées ainsi que des semences des vergers à graines aussitôt qu'ils entreront en pleine production, devront être établis pour confirmer hors de tout doute les bénéfices réalisés.

Un autre champ de recherche qui est appelé à se développer considérablement au cours des années futures est la recherche de marqueurs moléculaires pour assister la sélection du matériel aux caractéristiques à valeur économique supérieure ou apte à l'embryogenèse. La découverte de tels marqueurs permettrait tout au moins de réduire le nombre de génotypes à tester et partant les coûts reliés à une telle opération. Ce type de recherche plus fondamentale est mené en collaboration avec le Dr Jean Bousquet, professeur à la Faculté de foresterie et de géomatique de l'Université Laval et un des spécialistes mondiaux du domaine, et se situe aux confins des connaissances scientifiques.

Les membres du projet de génétique et amélioration des arbres du SCF se sont dotés, en 1993, d'un plan stratégique de recherches pour les dix années à venir. Parmi les actions qu'on indique comme devant être privilégiées, on retrouve la poursuite des études visant à acquérir une connaissance approfondie de la nature et de l'amplitude de la variabilité génétique des espèces forestières de manière à rendre encore plus efficaces les stratégies d'amélioration utilisées dans les programmes actuels et à pouvoir proposer des stratégies valables de conservation de la diversité génétique. On note également qu'un intérêt marqué devra être apporté à l'étude des interactions génotypes x milieux pour préciser les limites des zones d'amélioration proposées. L'étude de la variabilité dans la tolérance au charançon du pin blanc chez les espèces et sources testées devrait être un point d'intérêt majeur. Une analyse précise du comportement de l'insecte et de l'importance du contrôle génétique dans la tolérance des espèces hôtes devra être faite pour vérifier l'apport éventuel de l'amélioration génétique dans la minimisation des dommages. La mise au point de méthodes d'induction florale encore plus efficaces devra être poursuivie pour accélérer l'obtention des descendances visées par les plans de croisements. Les activités de conservation du patrimoine génétique devront être poursuivies et accrues. Le développement d'outils de biotechnologie tels des méthodes de culture d'embryons à partir de tissu somatique et des marqueurs moléculaires pour identifier les races de rouille vésiculeuse ainsi que les gènes de résistance ou tolérance chez l'hôte devra être réalisé. Des méthodes de culture de la rouille vésiculeuse et d'inoculation *in vitro* devront aussi être développées pour permettre la sélection hâtive de matériel résistant sous conditions contrôlées.

L'impact du changement des conditions climatiques globales sur la santé de la ressource forestière est aussi un élément majeur de préoccupation. Il existe une possibilité que les conditions expérimentales actuelles ne soient pas représentatives de celles que nous connaissons alors. Aussi, les génotypes sélectionnés devront être testés dans des conditions artificielles diverses afin d'identifier ceux pouvant répondre positivement à ces changements. Il faut alors penser, dans ce contexte, à cryopréserver du tissu de ce matériel et à développer les méthodes permettant de le reproduire par voie végétative lorsque nécessaire. Ainsi, les recherches en physiologie devront être intensifiées ainsi que celles visant à mettre au point les méthodes de conservation au froid et les systèmes de culture de tissu et d'embryons somatiques. Même si les progrès dans le développement de ces derniers n'étaient pas suffisants pour les rendre commercialement viables, il ne fait aucun doute qu'ils seront essentiels pour le maintien à long terme de clones et pour la transformation génétique. De plus, on peut penser qu'ils pourront



être utiles dans les nécessaires recherches portant sur la rejuvenilisation du matériel mature (Mullin, 1994), si on veut un jour emprunter la voie clonale.

Finalement, Mullin (1984) dans une étude économique des diverses stratégies d'amélioration et de production du matériel amélioré pour le reboisement généralement employées montre que le seuil de rentabilité peut aisément être atteint à un taux d'intérêt de 5 % avec des gains en volume de 10 % en produisant les semences à partir de vergers à graines conventionnels. Pour effectuer ses calculs, cet auteur considère que l'implantation des vergers à graines classiques ajoute un coût de 15 \$ du 1 000 plants livrables. Le Service de production des plants du MRN estime ce coût à 9,20 \$ pour les vergers de première génération. On peut donc penser que, compte tenu des gains génétiques espérés des vergers à graines de première génération au Québec, il sera possible d'atteindre au moins ce taux de rentabilité. Il est toutefois urgent qu'on commence à accumuler des données économiques précises sur les diverses stratégies qui s'ouvrent à nous, telles l'utilisation de vergers de croisements et de la propagation végétative pour la seconde génération d'amélioration de manière à réaliser ces études de rentabilité dans le contexte québécois.

## OUVRAGES CONSULTÉS

- Beaudoin, R. 1993. Réseau de secteurs expérimentaux pour l'amélioration des arbres forestiers (arboretums). *In* Rapport d'activités 1992 du Service d'amélioration des arbres. Minist. For. Québec, Dir. rech., Serv. Amélior. Arbres. Rapp. int. n° 367.
- Beaudoin, R.; Lamontagne, Y.; Stipanovic, A.; Villeneuve, M. 1994. Recommandations sur les provenances d'espèces résineuses pour le reboisement au Québec. Minist. For. Québec, Dir. rech. Rapp. int. n° 344.
- Beaulieu, J.; Corriveau, A. 1985. Variabilité de la densité du bois et de la production des provenances d'épinette blanche, 20 ans après plantation. *Can. J. For. Res.* 15: 833-838.
- Beaulieu, J.; Corriveau, A.; Daoust, G. 1989. Stabilité phénotypique et délimitation de zones d'amélioration de l'épinette noire au Québec. *For. Can., Région du Québec, Sainte-Foy, Qc.* Rapp. inf. LAU-X-85.
- Blouin, D.; Beaulieu, J.; Daoust, G.; Poliquin, J. 1994. Wood quality of Norway spruce grown in plantations in Quebec. *Wood and Fiber Sci.* (*in press*).
- Comité d'amélioration génétique des arbres forestiers. 1983. A. Corriveau, G. Vallée éditeurs. Amélioration génétique des essences résineuses au Québec : Recherche et développement. *Env. Can., Serv. can. for.; Minist. Énerg. Ressour. Québec.*
- Conseil de la recherche forestière du Québec. 1994. Comptes rendus des discussions et résumés des conférences. Colloque sur les enjeux du secteur forestier québécois, 27-28 octobre 1993.

- Corriveau, A.; Boudoux, M. 1971. Le développement des provenances d'épinette blanche de la région forestière des Grands-Lacs et du Saunt-Laurent au Québec. Minist. Pêches For., Serv. can. for., Sainte-Foy, Qc. Rapp. inf. Q-F-X-15.
- Corriveau, A.; Lamontagne, Y. 1977. L'amélioration génétique du pin blanc au Québec. Serv. can. for., Cent. rech. for. Laurentides, Sainte-Foy, Qc. Rapp. inf. LAU-X-31.
- Corriveau, A.G.; Vallée, G. 1981. Forest Genetics Progresses in Quebec. Pages 16-31 *in* D.H., Dehayes, editor. Proc. 27<sup>th</sup> Northeastern For. Tree Improv. Conf., Burlington, VT, July 29-31, 1980.
- Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Daoust, G. 1988. Phenotypic stability and productivity of central european Norway spruce provenances in Quebec, Canada. Pages 28-52 *in* L.-G. Stener, M. Werner editors. Proc. IUFRO Working Party S2.02-11, in Sweden 1988. Inst. For. Improv. Rep. No. 11.
- Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Daoust, G. 1991. Heritability and genetic correlations of wood characters of Upper Ottawa Valley white spruce populations grown in Quebec. For. Chron. 67: 698-705.
- Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Mothe, F. 1987. Wood density of natural white spruce populations in Quebec. Can. J. For. Res. 17: 677-682
- Corriveau, A.; Beaulieu, J.; Mothe, F.; Poliquin, J.; Doucet, J. 1990. Densité et largeur des cernes des populations d'Épinettes blanches de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent. Can. J. For. Res. 20: 121-129.
- Despots, M.; Plourde, A.; Beaulieu, J.; Daoust, G. 1993. Impact de la sélection sur la variabilité génétique de l'épinette blanche au Québec. Can. J. For. Res. 23: 1196-1202.
- Heimbürger, C. 1958. Forest tree breeding and genetics in Canada. Proc. Gen. Soc. Can. 3(1): 41-49.
- Lamontagne, Y. 1981. Programme d'amélioration génétique au Québec : production. Minist. Énerg. Ressour. Québec, Serv. pép. rebois.
- Lamontagne, Y. 1992. Vergers à graines de première génération et tests de descendance implantés au Québec pour les essences résineuses. Bilan des réalisations. Gouv. Québec, Minist. For., Dir. rech. Mém. rech. for. n° 106.
- Lavallée, A. 1986. Les risques d'infection par la rouille vésiculeuse du pin blanc. Serv. can. for., Cent. for. Laurentides, Sainte-Foy, Qc. Feuil. inf. CFL-23.
- Lavallée, R.; Benoît, P. 1989. Le charançon du pin blanc. For. Can., Région du Québec, Sainte-Foy, Qc. Feuil. inf. CFL-18.
- LeBlanc, H.N. 1977. Régénération Forestière-Québec. Pages 66-86 *in* P.E. Vézina et M. Roberge éditeurs. Compte rendu Conférence nationale sur la régénération forestière., 19-21 octobre 1977, Assoc. for. can.

- Li, P.; Beaulieu, J.; Bousquet, J. 1994. Developing provisional seed transfer guidelines for white spruce in Quebec. Page *in* J. Laverau editor. Proc. 24<sup>th</sup> Biennial meeting CTIA/ACAA. Fredericton, New Brunswick, August 15-19, 1993.
- MacArthur, J.D. 1964. Norway spruce plantations in Quebec. Can. Dept. For., Res. Br., Publ. No. 1059.
- Ministère des Ressources naturelles du Québec. 1993. Sondage sur la perception de la forêt. Dir. ressour. hum.
- Mullin, T.J. 1994. Evaluating the economics of alternative breeding and deployment strategies for northeastern conifers. Pages 1-20 *in* J. Laverau editor. Proc. 24<sup>th</sup> Biennial meeting CTIA/ACAA. Fredericton, New Brunswick, August 15-19, 1993.
- Niensteadt, H.; Teich, A. 1971. The genetics of white spruce. U.S. Dep. Agric., For. Ser. Res. Pap. WO-15.
- Popovich, S. 1972. Total cubic volume table for white spruce plantations, Drummondville, Quebec. Can. For. Serv., Laurentian For. Res. Centre, Sainte-Foy, Qc. Inf. Rep. Q-X-28.
- Schooley, H.O.; Mullin, T.J. 1987. Seed production strategies: current vs. future. Pages 155-169 *in* E.K. Morgenstern and T.J.B. Boyle, editors. Proc. 21<sup>st</sup> Biennial meeting CTIA/ACAA, Truro, Nova Scotia, August 17-21, 1987.
- Squillace, A.E. 1989. Tree Improvement Accomplishments in the South. Pages 9-20 *in* Proc. 20<sup>th</sup> Southern For. Tree Improv. Conf., Charleston, SC, June 26-30, 1989.
- Stipanivic, A. 1993. Quelques résultats obtenus dans les plantations expérimentales avec le mélèze hybride (*Larix x eurolepis* Henry). *In* Document d'information préparé pour le Carrefour de la recherche. Minist. For. Québec, Dir. rech.
- Stipanivic, A. 1994. Amélioration génétique des mélèzes. Page 6 *in* Rapport d'activités 1992 du Service de l'amélioration des arbres. Minist. For. Québec, Dir. rech. Rapp. int. n° 367.
- Sziklai, O. 1981. Present and Future Research Requirements. Seminar, Tree Improvement in the Interior of British Columbia, Prince George, B.C.
- Thibault, M.; Hotte, D. 1975. Les régions écologiques du Québec méridional. Deuxième approximation. Minist. Énerg. Ressour. Québec, Serv. rech.
- Vallée, G. 1969. Suggestion d'un programme général pour l'amélioration des arbres forestiers au Québec. Minist. Terres For. Québec, Serv. rech.
- Vallée, G. 1975. L'Amélioration des arbres forestiers au ministère des Terres et Forêts du Québec. For. Chron. 51: 1-4.

- Vallée, G. 1979. Keynote Address: Tree Improvement and Forest Management. Pages 5-18 *in* Tree Improvement, 19-21 Sept. 1978, Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, Ont. Proc. COJFRC Symp. O-P-7
- Vallée, G.; Gagnon, H.; Morin, S. 1994. Liste des clones recommandés selon les régions écologiques forestières du Québec et exemples de productions ligneuses obtenues avec ces clones. Bull. Cons. peuplier can. 4(3): 8-13.
- Wright, J.W. 1981. A Quarter Century of Progress in Tree Improvement in the Northeast. Pages 6-15 *in* D.H., Dehayes editor. Proc. 27<sup>th</sup> Northeastern For. Tree Improv. Conf., Burlington, July 29-31, 1980.
- Zobel, B. 1989. Global Tree Improvement Compared to That in the Southern United States. Pages 418-424 *in* Proc. 20<sup>th</sup> Southern For. Tree Improv. Conf., Charleston, SC, June 26-30, 1989.
- Zobel, B.; Talbert, J. 1984. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley & Sons, New York, N.Y.