

Note de recherche forestière n° 127

L'amélioration des arbres au Québec : un outil de performance industrielle et environnementale

André RAINVILLE, Mireille DESPONTs, Roger BEAUDOIN, Pierre PÉRINET, Marie-Josée MOTTET et Martin PERRON

F.D.C. 232(047.3)(714)
L.C. SD 399.5

Résumé

Plus de trente années de travaux en amélioration des arbres au Québec ont permis de constituer une importante collection de matériel, parmi lequel six espèces sont actuellement utilisées dans les reboisements, soit l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), l'épinette blanche (*P. glauca* [Moench] Voss), le pin gris (*Pinus Banksiana* Lamb.), et quelques espèces introduites de mélèze (*Larix spp.*), de peuplier (*Populus spp.*) et l'épinette de Norvège (*Picea abies* [L.] Karst.). Ce grand nombre d'espèces contribue à satisfaire les besoins diversifiés des industriels forestiers et à améliorer la productivité de nos plantations.

La synergie entre les organismes de recherche a permis d'évaluer ce matériel dans toutes les régions écologiques du Québec et d'obtenir, en première génération, des gains en volume marchand de 8 à 16 % comparativement aux semences issues des peuplements naturels. La grande diversité génétique des plants améliorés utilisés dans les reboisements constitue aussi une garantie d'adaptation aux écosystèmes diversifiés du Québec et aux effets probables des changements climatiques.

La plantation de matériel amélioré permettrait de diminuer la pression exercée sur les forêts naturelles, de mettre en valeur des ressources autres que la matière ligneuse et de créer des aires protégées. Au sud du Québec, elle pourrait jouer un rôle déterminant eu égard aux enjeux environnementaux (CO₂, lisiers de ferme), économiques ou sociaux. En forêt boréale, elle permettrait d'accroître de manière significative le rendement des forêts compte tenu de l'importance du territoire reboisé.

Mots clés : amélioration des arbres, génétique forestière, reboisement, environnement, biodiversité.

Abstract

*More than 30 years of tree improvement work in Québec has resulted in the establishment of a large collection of material, among which six species are currently used for reforestation: black spruce (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.), white spruce (*P. glauca* [Moench] Voss), jack pine (*Pinus banksiana* Lamb.), and a few introduced larch species (*Larix spp.*), poplars (*Populus spp.*) and Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.). This large number of species contributes to meeting the diversified needs of the forest industry, and to improve the productivity of our plantations.*

The synergy between research organizations has made possible the evaluation of this material in every ecological region of Québec and thus obtain gains in merchantable volume of 8%–16% in the first generation, as compared to seeds from natural stands. The broad genetic diversity of improved seedlings used for reforestation is a guarantee of adaptation for Québec's diversified ecosystems and for the potential effects of climate change.

The plantation of improved material gives the opportunity to reduce the increasing pressure on natural forests, to develop non-timber resources and create protected areas. In southern Québec, it could play a determining role in the face of environmental (e.g., CO₂, pig manure), economic or social issues. In the boreal forest, it could significantly increase the overall yield of the forests, given the size of the territory planted.

Keywords : Tree improvement, forest genetics, reforestation, environment, biodiversity.

Hormis le résumé, ce texte est la version intégrale du mémoire présenté par les auteurs au XII^e Congrès forestier mondial de septembre 2003 à Québec, Canada.

Ce mémoire a fait l'objet d'une présentation lors du Congrès forestier mondial.

Les versions française et anglaise du mémoire original sont aussi disponibles en format PDF à l'adresse suivante :

Original text in english is also available in PDF form on web site :

<http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/alias/cfm2003.html>

Introduction

La superficie du Québec est estimée à 1 667 926 km² et s'étend sur plus de 18 degrés de latitude. Dans ce territoire immense, ce sont surtout les facteurs climatiques, généralement plus rigoureux du sud vers le nord, qui déterminent la composition de la végétation. On y retrouve trois zones bioclimatiques distinctes : la zone tempérée nordique, composée de peuplements feuillus et mélangés, la zone boréale, caractérisée par des peuplements de conifères sempervirens, et la zone arctique, dominée par une végétation arbustive et herbacée (ANONYME 2002a). Le territoire forestier couvre près de la moitié de la superficie de la province, et est détenu à 85 % par l'État (ANONYME 2002b). Avec des livraisons annuelles de 20 milliards de dollars et des exportations de 12 milliards \$, la forêt constitue l'un des principaux secteurs industriels québécois. Elle procure un emploi direct à plus de 90 000 travailleurs (ANONYME 2002a). La possibilité de coupe annuelle dans les forêts publiques québécoises est estimée à près de 42 millions de m³ et est constituée à 70 % de sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.), d'épinettes (*Picea spp.*), de pin gris et de mélèze laricin (*Larix laricina* [Du Roi] K. Koch).

Les plantations constituent actuellement 5 % de la superficie forestière mondiale. Elles assurent cependant une part croissante de l'approvisionnement et produisent 35 % du bois consommé dans le monde (WHITEMAN et BROWN 1999, FAO 2001). Autant en Nouvelle-Zélande (*Pinus radiata* D. Don) qu'au Chili (*Pinus spp.* et *Eucalyptus spp.*), qu'en Scandinavie (*Picea abies* et *Pinus sylvestris* L., notamment) et dans le sud des États-Unis, de vastes programmes visant l'obtention de plants améliorés de deuxième génération, voire de troisième génération ont été mis en place. Après une première génération seulement, les gains en volume résultant de l'utilisation de plants issus des programmes d'amélioration génétique varient entre 5 et 15 %, selon le pays et l'espèce, alors que des gains additionnels équivalents sont rapportés par l'ajout d'une sylviculture intensive (GROUPE DE TRAVAIL SUR L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DU MFO-QUÉBEC 1996).

Au Québec, environ 150 millions de plants sont mis en terre annuellement, soit une superficie de 75 000 ha (0,14 % du territoire forestier productif), principalement en forêt boréale. Environ 52 % des plants utilisés actuellement pour le reboisement sont issus des programmes d'amélioration génétique et cette proportion devrait augmenter à 80 % en 2005 (MASSE 2002). C'est le gouvernement qui a la responsabilité de fournir les semences et les plants nécessaires au reboisement sur les terres publiques et privées. La Stratégie de protection des forêts, adoptée par le gouvernement du Québec en 1994, visait à assurer le renouvellement des forêts, à protéger les ressources qu'elles renferment, à harmoniser les multiples utilisations du milieu et à y éliminer le recours aux pesticides chimiques (en vigueur depuis 2001) (ANONYME 1994). Le but premier de cette stratégie

était d'assurer la pérennité des écosystèmes et le maintien de la diversité biologique. Pour y parvenir, le gouvernement a identifié cinq grands principes directeurs, dont le respect de la dynamique naturelle des peuplements. La priorité a donc été accordée à la régénération naturelle. Considérée comme un traitement sylvicole complémentaire, la plantation représente tout de même l'un des moyens privilégiés pour accroître la productivité forestière québécoise.

Les exigences liées à l'application du principe du développement durable ont entraîné des pressions accrues sur l'utilisation du territoire forestier, que ce soit pour la mise en valeur des ressources autres que la matière ligneuse ou pour la création d'aires protégées (ANONYME 2000). Par ailleurs, la ratification du Protocole de Kyoto pourrait entraîner des impacts majeurs sur la gestion des forêts naturelles et sur les programmes de reboisement ou de boisement. Ainsi, le reboisement est identifié comme la stratégie à privilégier pour fixer le carbone atmosphérique. Les spécialistes évaluent que les plantations pourraient contribuer à fixer entre 0,8 et 2,4 t ha⁻¹ an⁻¹ de carbone supplémentaire (BROWN *et al.* 1996).

Les programmes d'amélioration des arbres ont été mis en place à partir de 1969. Les acquis sur le plan des connaissances et du matériel disponible placent aujourd'hui le Québec dans une position privilégiée pour relever le défi d'augmenter la production forestière et de conserver la diversité biologique. Ce défi est de taille, dans le contexte où la forêt boréale couvre plus de 40 % de la superficie forestière de la province.

Matériel et méthodes

Les premiers travaux en amélioration génétique des principales espèces forestières ont été entrepris à la fin des années 1950. Un effort plus soutenu a été consenti à partir de 1969, alors que le gouvernement décidait d'investir dans la mise en place d'un programme structuré. Au début des années 1980, on établissait un vaste réseau de vergers à graines de première génération, afin de produire des semences améliorées (LAMONTAGNE 1992). Les travaux sont réalisés par les chercheurs du ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec¹ et du Service canadien des forêts. Contrairement aux autres provinces canadiennes et à certains états américains, aucune coopérative ne regroupe les partenaires industriels et les organismes intéressés à l'amélioration génétique.

Trente ans plus tard, le Québec dispose d'une importante collection de matériel (provenances, descendances et variétés améliorées), incluant 18 espèces indigènes et 136 espèces introduites (64 espèces feuillues et 90 conifères) (ANONYME 2001). Au total, 3,8 millions de plants ont été évalués dans 1 294 dispositifs expérimentaux répartis dans l'ensemble des régions écologiques.

¹ Depuis le 29 avril 2003, le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) est désigné sous la nouvelle appellation de ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs du Québec (MRNFP).

Les efforts ont surtout porté sur l'épinette noire et le pin gris, deux composantes majeures de la forêt boréale québécoise, ainsi que sur l'épinette blanche. Avec les deux premières espèces, 81 tests de descendance, comprenant un million de plants, ont été établis dans le but d'obtenir une estimation de la valeur génétique des arbres sélectionnés en première génération. Le meilleur matériel est conservé dans 36 vergers à graines, établis sur tout le territoire forestier du Québec. Pour l'épinette blanche, des provenances de toute l'aire de distribution ainsi que des descendance couvrant tout le territoire québécois ont été évaluées dans une vingtaine de tests depuis la fin des années 1950. Dix-sept vergers à graines clonaux de première génération ont été établis dès les années 1980 et deux vergers de seconde génération en 1999. Les gains escomptés en volume marchand sont respectivement de 8 à 16 % et de 15 à 20 %. Finalement, l'intérêt accru manifesté plus récemment pour les espèces forestières à croissance rapide (peupliers et mélèzes) a accéléré la mise en place de sources de matériel amélioré (PÉRINET *et al.* 1998). L'évaluation en tests clonaux de plus de 4 000 clones de peupliers hybrides, obtenus principalement par croisements dirigés, a permis d'en recommander une cinquantaine pour leur rusticité et leur rendement en vue d'une production ligneuse intensive dans plusieurs régions du Québec (PÉRINET *et al.* 2001, RIEMENSCHNEIDER *et al.* 2001). En ce qui concerne les espèces feuillues à bois dur, le programme d'amélioration a débuté il y a un peu plus de 10 ans, mais des collections de matériel représentant plusieurs provenances ont déjà permis d'identifier des variations importantes sur le plan de la qualité des arbres.

En règle générale, les espèces introduites comprennent un grand nombre de provenances de leur aire de distribution naturelle, ce qui nous a permis d'étudier à la fois leur variabilité génétique et leur capacité d'adaptation aux conditions de croissance du Québec (BEAUDOIN 1995, 1996, 1996a, 1997). Les déplacements géographiques ont créé une pression de sélection sur ces provenances et ont fait ressortir le matériel le mieux adapté. Un certain nombre d'espèces, dont l'épinette de Norvège, le mélèze européen (*Larix decidua* Mill.), le mélèze du Japon (*Larix kaempferi* [Lamb.] Carrière), le mélèze hybride (*Larix x marschlinii* Coaz.), le peuplier noir (*Populus nigra* L.), le peuplier baumier de l'Ouest (*Populus trichocarpa* Torr. et Gray) et le peuplier baumier du Japon (*Populus maximowiczii* A. Henry), ainsi que des hybrides de peupliers avec nos espèces indigènes, contribuent maintenant à accroître la diversité des espèces utilisées pour le reboisement au Québec et à améliorer la productivité de nos plantations. Ces espèces sont conservées principalement dans 19 arboretums et deux populets (VALLÉE et CHOUINARD 1976). Elles constituent pour l'avenir des collections uniques d'arbres forestiers provenant du monde entier, en particulier d'Europe, du Japon et des États-Unis. Les arbres les mieux adaptés aux conditions de croissance des sites en cause sont une source importante de gènes pour la poursuite de l'amélioration génétique et la création de variétés locales plus productives, comportant d'autres caractéristiques recherchées par l'industrie. L'expérience acquise depuis plus de 20 ans avec les espèces introduites nous

enseigne qu'il est important de les évaluer sur une période assez longue afin de bien connaître leur susceptibilité aux insectes et aux maladies ainsi que leurs exigences culturales.

Aujourd'hui encore, un grand nombre d'espèces (le pin gris, l'épinette blanche, l'épinette noire et l'épinette de Norvège, ainsi que deux genres principaux, soit *Larix spp.* et *Populus spp.*) font l'objet d'un programme soutenu d'amélioration génétique. Nous devons souligner la grande quantité et la diversité du matériel qui a servi de base génétique pour chaque espèce soumise à un programme d'amélioration génétique. En effet, dès le début, les généticiens forestiers ont réalisé un échantillonnage représentatif de la diversité génétique d'une espèce et ont constitué des banques de semences et de clones. Ces banques constituent une assurance en cas de disparition des peuplements d'origine et pourront éventuellement servir à réintroduire des éléments de diversité génétique en fonction des besoins (différents caractères visés par l'amélioration) et des changements observés (conditions écologiques variées par exemple) (BOUSQUET *et al.* 1994). Les études moléculaires ont aussi permis d'estimer l'impact de la domestication sur la variabilité et la structure génétique des populations. Avec l'épinette blanche, par exemple, l'analyse de sept systèmes enzymatiques indique que la sélection d'un nombre restreint d'individus n'entraîne pas de perte significative de variabilité par rapport aux populations naturelles (DESPONTS *et al.* 1993).

Résultats

L'effort soutenu consenti dans les programmes d'amélioration génétique a permis l'obtention de rendements intéressants. Par exemple, une nouvelle série d'hybrides de peupliers, davantage rustiques et à rendement élevé (8 à 12 m³ ha⁻¹ an⁻¹ à 20 ans), a été développée pour la forêt mixte et la forêt boréale (domaines bioclimatiques de la sapinière) (ANONYME 2002a). Dans le Québec méridional, là où le climat est plus favorable (1 330 à 2 000 degrés-jours de croissance), les rendements obtenus peuvent atteindre 20 m³ ha⁻¹ an⁻¹ sur les meilleures stations à l'âge de 15 ans. Parallèlement, les travaux effectués avec le mélèze hybride nous ont permis d'atteindre un rendement moyen de 6 à 10 m³ ha⁻¹ an⁻¹ à l'âge de 35 ans.

L'épinette blanche issue de vergers de première génération et plantée sur des sites d'indice de fertilité moyen donne des gains en volume marchand de 8 à 16 % environ (14 à 28 m³ ha⁻¹) à l'âge de 45 ans, comparative-ment aux semences issues de peuplements naturels. Avec les espèces les mieux adaptées à la forêt boréale nordique (pin gris et épinette noire), cependant, les rendements attendus s'avèrent plus modestes. Ainsi, avec le pin gris, les gains prévus en volume marchand sont en moyenne de 7 m³ ha⁻¹ à l'âge de 40 ans. En réalisant ensuite des croisements dirigés entre les individus des meilleures familles et en reproduisant par bouturage les semis obtenus, on peut atteindre des gains de l'ordre de 20 % en hauteur (30 à 40 % en volume marchand) pour l'épinette blanche et l'épinette noire, comparative-ment à la moyenne de l'ensemble des familles évaluées dans les tests, ce qui pourrait représenter un gain en volume de 72 m³ ha⁻¹ à 45 ans.

La synergie entre les organismes de recherche des gouvernements provincial et fédéral et de l'Université Laval, ainsi que la complémentarité de leurs activités constituent sans contredit une particularité importante du programme d'amélioration génétique des espèces forestières québécoises. Elle aura permis, malgré la grandeur du territoire et la diversité des écosystèmes forestiers, qu'une quantité impressionnante de matériel et plusieurs espèces soient évaluées dans toutes les régions écologiques. Cette coopération aura de plus contribué au développement d'aspects complémentaires à la recherche pratique par des études plus fondamentales et exploratoires. Ainsi, l'acquisition de connaissances sur le génome des arbres pourra aider les améliorateurs dans leur travail de sélection (sélection assistée par marqueurs). Aujourd'hui encore, malgré le retrait du gouvernement fédéral en 1996 des programmes de recherche appliquée, le gouvernement provincial, maintenant responsable de la plupart des programmes d'amélioration des arbres au Québec, entretient toujours des collaborations entre les organismes de recherche en génétique forestière. Au fil des ans, un souci constant a aussi été porté au développement de liens étroits entre la recherche et les activités de production de semences et de plants. Cette collaboration aura permis de rendre disponibles rapidement les résultats de la recherche, de façon concrète, en produisant un très grand nombre de plants améliorés destinés au reboisement. Elle aura aussi permis d'orienter plus facilement la recherche en fonction des besoins exprimés, en développant par exemple des modèles pour guider le transfert de sources de semences en fonction d'un calcul de risque ou encore les techniques de bouturage et de clonage par embryogenèse somatique.

Par ailleurs, le grand nombre d'espèces qui, encore aujourd'hui, font l'objet d'un programme d'amélioration génétique constitue un avantage en ce qu'il permet de choisir le matériel le mieux adapté à chaque site et favorise une meilleure diversification des produits de transformation pour l'industrie. D'un point de vue écologique, la résistance et la stabilité des écosystèmes face aux agents perturbateurs biotiques et abiotiques est associée à la richesse en espèces (LARSEN 1995). Il en est de même pour le grand nombre de familles et de clones inclus à la fois dans nos tests et dans les vergers de production. Bien qu'il soit généralement reconnu qu'un nombre aussi limité que 50 arbres permette de contrôler à long terme les effets de la consanguinité et les risques de perte d'allèles (NAMKOONG *et al.* 1988), nous avons choisi de maintenir une très grande diversité génétique en retenant un nombre beaucoup plus élevé d'individus. Ainsi, nos populations d'amélioration d'épinettes blanches sont constituées de 240 individus, alors que les vergers à graines de deuxième génération contiennent 125 individus. Un tel choix est susceptible de limiter le rendement des plantations, mais rend celles-ci potentiellement plus aptes à s'adapter aux changements climatiques et à ses conséquences, qu'elles soient de

nature environnementale, entomologique ou pathologique (PERRY et MAGHEMBE 1989). Les impacts potentiels pour l'environnement associés à la plantation de matériel amélioré en forêt naturelle sont aussi minimisés. La sélection d'individus comportant de nouveaux caractères ou le partage de nos ressources génétiques avec d'autres pays seront ainsi favorisés.

Conclusion

Le Québec est maintenant en mesure d'augmenter sa production forestière par le reboisement avec du matériel amélioré, grâce au développement de variétés plus performantes et à l'acquisition de connaissances scientifiques et d'expertises dans de multiples disciplines applicables à l'échelle opérationnelle. La diversité du matériel amélioré maintenant disponible nous permet aussi bien de rentabiliser les terrains fertiles, principalement au sud de la province, que de mettre à profit les immenses superficies disponibles en forêt boréale. En forêt feuillue et dans la partie méridionale de la forêt mélangée, la plantation de matériel amélioré peut constituer un outil de développement économique et social, dans la mesure où elle pourrait permettre d'élaborer des systèmes de production de matière ligneuse sur mesure (produits spécialisés). En milieu agricole, elle pourrait être intégrée aux pratiques traditionnelles d'agriculture (agroforesterie) ou créer un environnement favorable au développement de produits autres que le bois (produits chimiques, pharmacologie et produits naturels, par exemple l'if (*Taxus spp.*) et l'argousier (*Hippophae spp.*). Dans un système intensif de production, la plantation de matériel amélioré pourrait contribuer à résoudre des problèmes environnementaux tels que les surplus de lisiers de porc utilisés comme fertilisants, ou l'augmentation des gaz à effet de serre. Ainsi, les peupliers hybrides sont déjà largement utilisés en Amérique du Nord dans des projets de phytorestauration pour décontaminer l'environnement agricole ou industriel (ISEBRANDS et KARNOSKY 2001). La plantation et la culture intensive de matériel amélioré pourrait aussi entraîner une réduction de la récolte de bois dans les forêts méridionales et ainsi favoriser d'autres utilisations de la forêt (chasse, pêche, villégiature, etc.).

En forêt boréale, malgré des conditions de croissance moins favorables, le volume supplémentaire de bois obtenu par la plantation de matériel amélioré n'est pas négligeable, compte tenu de l'importance du territoire et de la quantité de plants mis en terre. L'aménagement de plantations à haut rendement, combinant une sylviculture intensive et l'emploi de matériel génétiquement amélioré, demeure une voie privilégiée pour augmenter la productivité forestière. Comme l'illustre la **Figure 1**, la production d'un million de mètres cubes de bois requiert de 4 à 6 fois plus de superficie de forêt naturelle, selon l'espèce, que de superficie plantée avec des variétés améliorées en milieu productif. Le rendement obtenu permettrait de diminuer significativement la pression exercée sur les forêts naturelles et d'augmenter la superficie des aires protégées.

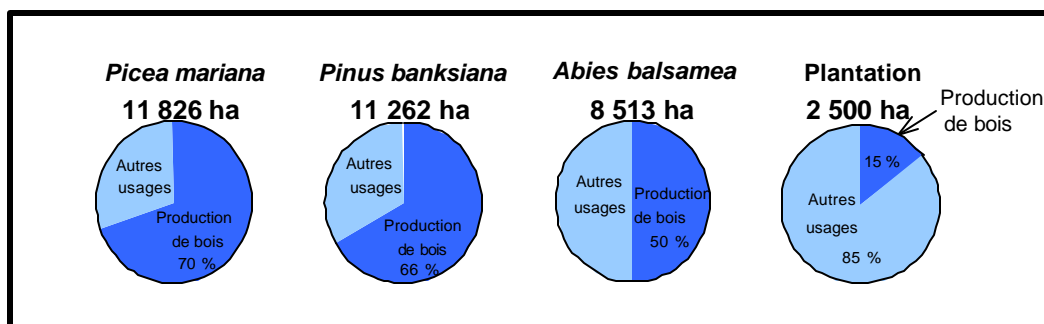


Figure 1. Superficies requises pour la production de 1000 000 m³ de bois en 50 ans par des peuplements naturels de productivité moyenne et des plantations d'un rendement moyen de 8 m³ ha⁻¹ an⁻¹. Ces superficies sont exprimées arbitrairement en fonction d'un territoire fictif de 17 000 ha. On constate qu'une grande partie du territoire peut être allouée à d'autres usages avec la plantation, comparativement aux forêts naturelles, selon l'espèce considérée.

Ouvrages cités

- ANONYME, 1994. *Une stratégie : aménager pour mieux protéger les forêts*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des programmes forestiers. 197 p.
- ANONYME, 2000. *Investir dans les forêts québécoises pour en augmenter la productivité*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction des programmes forestiers. 10 p.
- ANONYME, 2001. *Plantations comparatives pour l'amélioration génétique des arbres (1969 à 2001)*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Ouvrage non publié, 594 p.
- ANONYME, 2002a. *Rapport sur l'état des forêts québécoises : 1995-1999*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la planification et des communications. 272 p.
- ANONYME, 2002b. *Ressources et industries forestières; portrait statistique édition 2002 (résumé)*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction du développement des produits forestiers. 64 p.
- BEAUDOIN, R., 1995. *Variation et choix des provenances de Pinus contorta Dougl. Ex. Loud. var latifolia Engelm. en plantation sur plusieurs sites au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 119, 94 p.
- BEAUDOIN, R., 1996. *Variation et choix des provenances de pin sylvestre en plantation sur plusieurs sites au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 124, 72 p.
- BEAUDOIN, R., 1996a. *Performance de 40 provenances d'Épinette du Colorado et de 2 provenances d'Épinette d'Engelmann en plantation sur un site du Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 76, 8 p.
- BEAUDOIN, R., 1997. *Performance de quelques provenances de pin ponderosa en plantation sur trois sites au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 79, 12 p.
- BOUSQUET, J., J. BEAULIEU et M. VILLENEUVE, 1994. *Diversité génétique et amélioration des arbres*. Encart de l'Aubelle : partie 2 de 2 : De la production des semences améliorées à la conservation des ressources génétiques. Journal de l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, 11 p.
- BROWN, S., J. SATHAYE, M. CANNEL et P. KAUPPI, 1996. *Management of forests for mitigation of greenhouse gas emissions*. In R.T. Watson, M.C. Zinyowera et R.H. Moss, ed. Climate Change 1995, impacts, adaptations and mitigations of climate change : scientific-technical analyses. Report, IPCC, p. 773-797. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni.
- 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.
- FAO, 2001. *Situation des forêts du monde, 2001*. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie. 181 p. <http://ftp.fao.org/docrep/fao/003/y0900f/>.

- GROUPE DE TRAVAIL SUR L'AMÉLIORATION GÉNÉTIQUE DU MFO-QUÉBEC, 1996. *État de l'amélioration génétique des espèces forestières au Québec et besoins en plants génétiquement améliorés pour le reboisement*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport n°408, 75 p.
- ISEBRANDS, J.G. et D.F. KARNOSKY, 2001. *Environmental benefits of poplar culture*. In *Poplar Culture in North America*. Part A, Chapter 6. Edited by D.I. Dickmann, J.G. Isebrands, J.E. Eckenwalder, and J. Richardson. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON K1A 0R6, Canada, p. 207-218.
- LAMONTAGNE, I., 1992. *Vergers à graines de première génération et tests de descendances implantés au Québec pour les espèces résineuses. Bilan des réalisations*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n°106, 40 p.
- LARSEN, J.B., 1995. *Ecological stability of forests and sustainable silviculture*. *For. Ecol. Manage.* 73(1-3) : 85-96.
- MASSE, L., 2002. *Rentabilité du reboisement de plants améliorés*. Tableau synthèse présenté lors d'une visite-terrain, 17 octobre 2002, 1 p.
- NAMKOONG, G., H.C. KANG et J.S. BROUARD, 1988. *Tree Breeding : Principles and Strategies. Monographs on Theoretical and Applied Genetics*. Springer-Verlag. New York.
- PÉRINET, P., A. STIPANICIC et G. VALLÉE, 1998. *Projet de développement de la culture intensive d'arbres à croissance rapide*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Québec. Rapport interne n°440, 38 p.
- PÉRINET, P., H. GAGNON et S. MORIN, 2001. *Liste des clones recommandés de peuplier hybride selon les sous-régions écologiques au Québec (révision février 2001)*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Québec. 1 p.
- PERRY, D.A. et J. MAGHEMBE, 1989. *Ecosystem concepts and current trends in forest management*. *For. Ecol. Manage.* 26 : 123-140.
- RIEMENSCHNEIDER, D.E., B.J. STANTON, G. VALLÉE et P. PÉRINET. 2001. *Poplar breeding strategies. Part A, Chapter 2*. In *Poplar Culture in North America*. Edited by D.I. Dickmann, J.G. Isebrands, J.E. Eckenwalder, and J. Richardson. NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, ON K1A 0R6, Canada, p. 43-76.
- VALLÉE, G. et C. CHOUINARD, 1976. *Le réseau d'arboretum du ministère des Terres et Forêts du Québec, Direction générale des forêts*. Mémoire de recherche forestière n°119, 94 p.
- WHITEMAN, A. et C. BROWN, 1999. *The potential role of forest plantations in meeting future demands for industrial wood products*. *International Forestry Review* 1(3) : 143-152.

*Ressources
naturelles,
Faune et Parcs*

Québec 

2003-3121

ISBN 2-550-41805-0

Dépôt légal 2003

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

© 2003 Gouvernement du Québec