

Recherche-développement en production de semences et de plants forestiers au Québec : principales réalisations et perspectives d'avenir

Mohammed S. LAMHAMEDI, Jean GAGNON et Fabienne COLAS
Direction de la recherche forestière (MRN)

Conférence présentée par :



Mohammed S. Lamhamedi est ingénieur forestier. Il a obtenu son diplôme à l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II (IAV Hassan II) du Maroc en 1983. En 1985, ce même établissement lui décernait le diplôme d'ingénieur agronome avec une spécialité en sciences forestières. En 1991, l'Université Laval lui décerne son doctorat en sciences forestières. Monsieur Lamhamedi

est enseignant-chercheur à l'IAV Hassan II en écophysiologie et en plantations forestières de 1986 à 1991. En 1992, il a effectué un stage postdoctoral à l'IRBV, à Montréal. Il est ensuite devenu chercheur visiteur au Centre de foresterie des Laurentides en 1993-1995, puis directeur scientifique (Pampev Int.) du projet d'installation de trois pépinières pilotes financé par la Banque mondiale en Tunisie, en 1996-1997. De plus, M. Lamhamedi a été attaché de recherche au CRBF (Université Laval) en 1998-1999. Il est chargé de projets à la DRF depuis juin 1999 et professeur associé à l'Université Laval. Son expertise porte sur l'optimisation des régies de culture, le développement des standards de tolérance au gel en pépinière forestière, la variabilité clonale, l'embryogenèse somatique et la production de plants en pépinière forestière. Il s'intéresse également au transfert et à l'adaptation de l'expertise québécoise en production de plants dans le cadre de la modernisation des pépinières forestières des pays en voie de développement.

RÉSUMÉ

Au Québec, la technologie reliée à la production de semences et les techniques de production de plants forestiers en pépinière ont évolué rapidement au

cours des deux dernières décennies. En effet, les années 80 ont été marquées par la mise en place d'un important programme de reboisement. Ce programme a conduit à des productions annuelles de plus 250 millions de plants en vue de rattraper le retard accumulé et de pallier à l'absence d'une régénération naturelle suffisante sur certains sites. Le programme de reboisement a été à l'origine de la création de 25 pépinières privées, du Centre de bouturage de Saint-Modeste, de l'introduction des cultures en récipients, de l'agrandissement et la modernisation des pépinières publiques et du Centre de semences forestières de Berthier. Il a aussi conduit à la mise en place d'un important réseau de vergers à graines qui couvre la majorité des zones écologiques du Québec.

Ce document présente les principaux résultats de R-D spécifiques à la production de semences et de plants forestiers ainsi qu'à la biotechnologie forestière (bouturage et embryogenèse somatique), qui ont un impact majeur sur l'amélioration des pratiques opérationnelles de la « filière production de plants » au Québec. Divers travaux ont permis de développer des technologies innovatrices et d'améliorer significativement la qualité des plants destinés au reboisement. Actuellement, près de 150 millions de plants forestiers sont produits chaque année dans les pépinières publiques et privées du Québec pour reboiser les 15 à 20 % des superficies totales récoltées dont la régénération naturelle est insuffisante. Les percées réalisées en R-D résultent de l'appui financier majeur du ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) et de la participation active de différents organismes de recherche, de même que celle des pépinières publiques et privées du Québec. Cette synthèse met également l'accent sur la place et la compétitivité de l'expertise québécoise en production de plants forestiers à l'échelle internationale et son incidence sur la modernisation du secteur des pépinières forestières.

Afin d'assurer une continuité dans l'amélioration des étapes de la « filière production de plants » tout en respectant les nouvelles normes environnementales et les exigences internationales, le MRN a opté pour une politique d'intensification de l'aménagement forestier, notamment les plantations pour garantir un développement durable du secteur forestier. À cet effet, plusieurs projets de recherche devront être réalisés, à court et à moyen terme, afin de garantir un approvisionnement continu en produits ligneux et une expansion de l'industrie forestière québécoise qui permette de maintenir, à long terme, notre compétitivité internationale. Ainsi, des axes de recherche prioritaires et précis ont été définis, de concert avec les acteurs forestiers, afin que les semences et les plants soient de la meilleure qualité possible tout en permettant d'améliorer de façon significative la production forestière. Finalement, les auteurs présentent les perspectives d'avenir en R-D et une vision, d'ici 2025, de la situation du secteur de la production de semences, de plants et de celle de la biotechnologie forestière au Québec.

Mots clés : Semences, reproduction, verger à graines, bouturage, embryogenèse somatique, pépinière, production de plants, racines nues, récipients, physiologie, irrigation, fertilisation, logiciels, lessivage, tolérance au gel, plantations de validation.

INTRODUCTION

À l'échelle mondiale, les forêts couvrent une superficie de 3 870 millions d'hectares, dont près de 95 % sont des forêts naturelles et 5 % des plantations (FAO 2001). Ces 5 % de plantations assurent une part croissante de l'approvisionnement mondial en produisant 35 % du bois consommé (WHITEMAN et BROWN 1996, FAO 2001). À court terme, les auteurs de la *Situation des forêts du monde 2001* prévoient qu'en 2050, 75 % du bois récolté à des fins commerciales dans le monde entier proviendra de plantations (FAO 2001).

La ratification du protocole de Kyoto pourrait avoir des impacts majeurs sur la gestion des forêts naturelles et des programmes de reboisement en matière d'émissions ou d'absorption de carbone par rapport aux niveaux enregistrés en 1990. À cet effet, le Canada devra réduire dès 2008 ses émissions de gaz à effet de serre (GES) de 6 % par rapport à celles de 1990. Les principales stratégies de fixation du carbone sont le reboisement ou le boisement, les traitements sylvicoles pour augmenter le taux de croissance et l'exécution des pratiques d'agroforesterie sur des terres agricoles. Quant aux plantations réalisées en forêt boréale, elles se caractérisent par des taux de

fixation de carbone (CO₂) relativement faibles, qui varient entre 0,8 et 2,4 t/ha/an (BROWN *et al.* 1996). Les traitements sylvicoles actuels ne suffisent pas à eux seuls à absorber l'accroissement des concentrations de CO₂ dans l'atmosphère (BROWN *et al.* 1996). Ces taux de fixation varient en fonction de la cinétique de croissance des plantations. Dans le cadre de la nouvelle initiative canadienne en matière de foresterie, « Forêt 2020 » lancée par le *Conseil canadien des ministres des forêts* (FORÊT CANADA 2001), les plantations, et plus particulièrement celles des essences à croissance rapide, figurent parmi les scénarios d'atténuation du réchauffement de la planète. Au Québec, des travaux récents suggèrent que la remise en production hâtive des sites après récolte permet de conserver le carbone dans le sol (St-LAURENT *et al.* 2000).

Les activités reliées à la régénération artificielle de nos forêts (production de semences et de plants forestiers, reboisement) occupent une place importante dans l'activité économique de nombreuses régions du Québec. Actuellement, près de 150 millions de plants forestiers sont produits par année dans les pépinières publiques et privées du Québec, afin de reboiser 15 à 20 % des superficies coupées qui se régénèrent mal naturellement (GAGNON *et al.* 2001). Si l'on souhaite augmenter le rendement de nos forêts au moyen du reboisement, il importe qu'au moment de leur mise en terre, les plants forestiers produits dans les pépinières du Québec soient de la meilleure qualité possible et qu'ils répondent aux critères de qualité morphologique et physiologique très stricts établis par le MRN. La complexité des opérations associées à la production de semences et de plants de qualité requiert le réajustement continu des techniques de traitement des semences et de culture des plants en récipients et à racines nues.

Grâce aux projets de R-D financés par le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) et par certains organismes subventionnaires, des progrès importants ont été réalisés à l'échelle opérationnelle dans les secteurs de la production de semences, des biotechnologies forestières (bouturage et embryogenèse somatique) et de la production de plants forestiers. Ces progrès sont le fruit d'une collaboration étroite et d'une unification des efforts entre les organismes de recherche qui œuvrent dans ce secteur (Direction de la recherche forestière [DRF] du MRN, universités et autres centres de recherche) et d'autres partenaires, notamment la Direction de la production des semences et des plants (DPSP, MRN), les pépinières gouvernementales et certaines pépinières privées de l'Office des producteurs de plants forestiers du Québec (OPPFQ).

Les objectifs de ce document consistent à mettre l'accent sur :

- Les principaux acquis scientifiques. Ces acquis sont le résultat de la R-D en production de semences et de plants forestiers ainsi qu'en biotechnologie. De plus, ils ont un impact majeur sur l'amélioration significative des pratiques opérationnelles de la « filière production de plants » au Québec;
- La contribution essentielle de la « filière production de plants » dans l'amélioration de la production forestière au Québec;
- La place et la compétitivité de la mise en application, à l'échelle internationale, du savoir-faire québécois en production de plants forestiers et son incidence sur la modernisation des pépinières forestières d'autres pays et la protection de leur environnement;
- Les axes de recherches prioritaires et les perspectives d'avenir en R-D sur les semences et la production de plants forestiers au Québec.

1. LA PRODUCTION DES SEMENCES ET DES PLANTS FORESTIERS AU QUÉBEC : D'HIER À AUJOURD'HUI

Au Québec, les premières plantations ont été établies au début des années 40 autant sur des terres publiques que privées. On peut distinguer trois grandes périodes d'établissement de plantations au Québec, lesquelles sont intimement liées aux efforts consentis en production de semences et de plants forestiers : 1) 1940 à 1970 2) 1970 à 1985 3) 1985 à 2000.

Durant la première période (1940-1970), le nombre de plants forestiers mis en terre annuellement ne dépassait guère 3 millions (Figure 1a).

Au cours de la deuxième période, de 1970 à 1985, un premier programme de plantations forestières relativement complet a été élaboré à la suite de deux événements majeurs : la *Conférence canadienne sur la régénération des forêts*, en 1977, et le *Programme de relance des pâtes et papier au Québec*, en 1978. L'objectif de ce programme de reboisement était d'atteindre à la fin du plan quinquennal (en 1983-1984) une production de 50 millions de plants dans les huit pépinières gouvernementales (HAWEY 1980). En effet, jusqu'aux années 80, moins de 50 millions de plants ont été mis en terre annuellement (Figure 1a). Ces derniers étaient cultivés à racines nues et produits exclusivement dans les pépinières forestières gouvernementales. En plus des plants à racines nues, dont les premières productions remontent à 1908, à la pépinière de Berthier (MRN 1998), les experts en foresterie ont procédé aux

premiers essais à l'échelle semi-opérationnelle d'introduction des premiers plants produits en récipients dans du *paperpot*¹, du *styrobloc* et du *multipot*. Durant cette deuxième phase, une attention particulière a été accordée à l'amélioration de la qualité des semences et des techniques de production de plants forestiers ainsi qu'à l'intensification du reboisement. À la fin de cette deuxième période, le ministère de l'Énergie et des Ressources (MER) du Québec annonçait, en novembre 1983, le programme de reboisement le plus ambitieux jusqu'à nos jours (HAWEY 1984, MARGOLIS 1987). Ce programme avait pour objectif de constituer un stock ligneux pour l'avenir et de reboiser 40 % des sites non ou mal régénérés (HAWEY 1984). L'intensification du reboisement au début des années 80 a été à l'origine de l'élaboration d'un programme complet d'établissement des vergers à graines qui couvre la majorité des zones écologiques du Québec.

Lors de la troisième période (1985-2000), le rythme de production de plants et de plantations forestières a augmenté jusqu'en 1992 (Figure 1a). Cet engouement pour le reboisement a été à l'origine de la création de 25 pépinières privées, de l'introduction des cultures en récipients (Figure 1b), de l'agrandissement et la modernisation des infrastructures des pépinières publiques comme le Centre de semences forestières de Berthier et de la création du Centre de bouturage de Saint-Modeste. Cet effort a permis de dépasser une production de 250 millions de plants en 1989 (Figure 1a). La mise en application du régime forestier en avril 1987 (Loi 150), quant à elle, a mis l'accent sur la responsabilité des détenteurs de contrats d'approvisionnement et d'aménagement forestier (CAAF) sous la forme d'une régénération adéquate dans les 5 années après la coupe. Depuis 1992, le rythme de production a diminué progressivement, en raison du rattrapage dans la remise en production des superficies coupées non ou mal régénérées naturellement, des nouvelles pratiques sylvicoles qui mettent l'accent sur la protection de la régénération naturelle et de l'utilisation de plants de très haute qualité (Figure 1).

En 1995, dans le cadre de la mise en œuvre de la *Stratégie de protection des forêts*, le MRN s'est engagé à utiliser les plants de fortes dimensions (PFD) comme solution alternative à l'épandage des phytocides en milieu forestier dans les sites les plus fertiles où la concurrence végétale a un effet direct sur l'établissement, la croissance et la survie des plants (JOBIDON *et al.* 1998, LAMHAMED *et al.* 1998).

¹ Dès 1981, le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ) a mis au point une machine permettant de fabriquer, sur une base expérimentale, les tubes en papier nécessaires à la culture des semis dans ce récipient (*paperpot*) à la pépinière d'East Angus, ainsi que leur empotage (substrat, semence et silice) par série de 48 cavités.

La production des PFD a joué un rôle décisif dans l'amélioration et l'ajustement des régies de culture qui permettent d'atteindre les dimensions visées pour ce type de plant (PFD). En 1999-2000, plus de 39 millions de PFD ont été plantés dans les forêts québécoises, soit 25,7 % de la production totale des plants.

La DPSP, pour sa part, assure la coordination et le contrôle de la qualité des plants produits et livrés aux répondants régionaux de la production des semences et des plants (RRPSP). Ainsi, l'automne qui précède l'année de livraison des plants, un inventaire de qualification est effectué en pépinière afin d'avoir un portrait préliminaire de la qualité des lots produits.

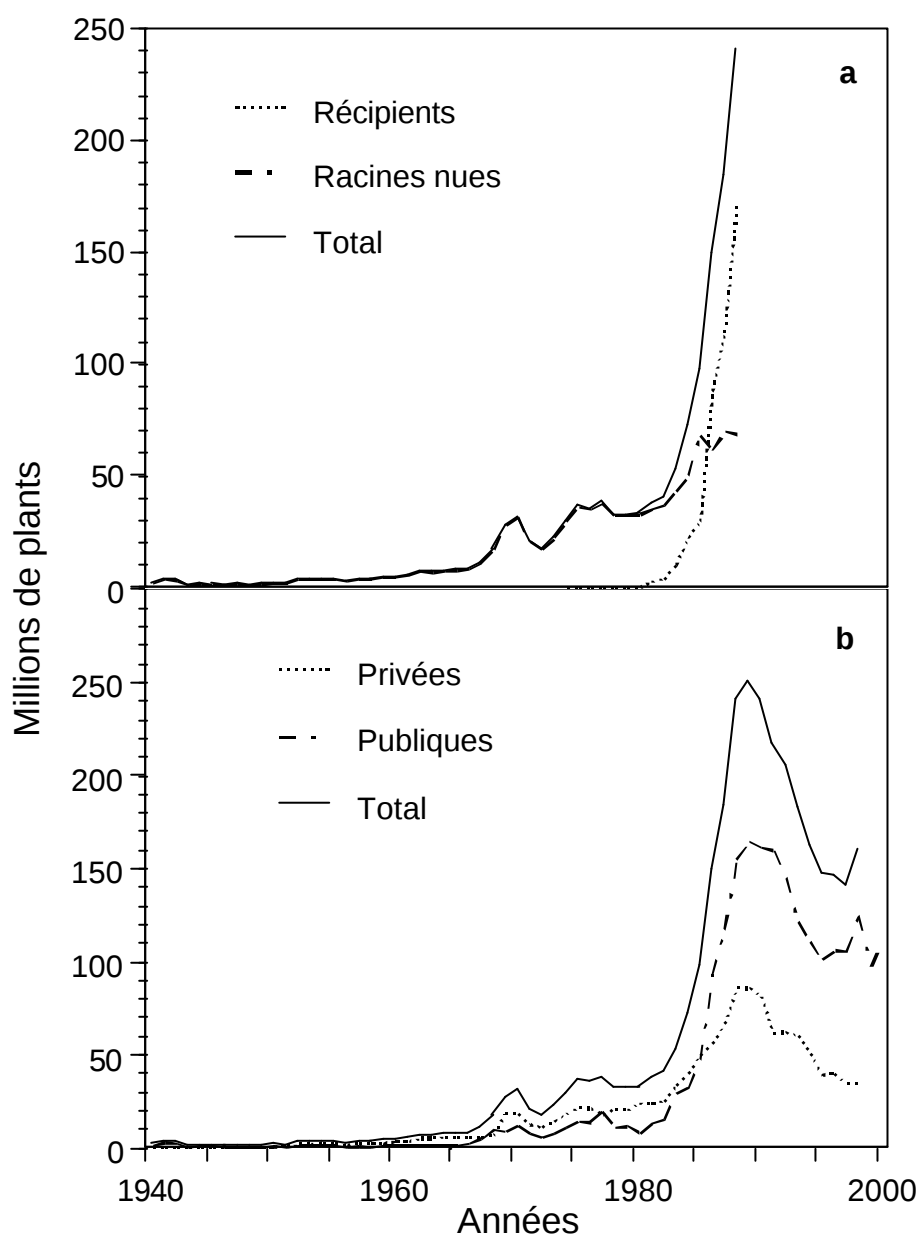


Figure 1. Évolution du nombre de plants mis en terre au Québec depuis 1940 selon : a) la catégorie des plants (récipients et à racines nues) b) de leur provenance (pépinières privées et publiques).

L'inventaire final de qualification des plants est effectué quelques jours avant la livraison. Cette date est déterminée selon un calendrier préalablement établi au printemps. La date de livraison est fortement influencée par les besoins des reboiseurs et par l'état des plants. Ces derniers doivent respecter les normes et critères de qualité morphologique (hauteur [H], diamètre [D], rapport H/D et environ 20 autres critères) et physiologique (concentrations foliaires minimales en azote [N]) établis par le MRN. L'amélioration continue des techniques de la « filière

production de plants » (Figure 2) et la qualité des plants ont permis d'atteindre, entre 1986 et 1995, un taux de survie moyen de 85 % des plants en réceptifs 8 ans après leur mise en terre dans les forêts publiques (TROTIER 1999). Cependant, il ne faut pas oublier que l'installation et la croissance des semis sont intimement liées à la synchronisation des travaux d'entretien et sylvicoles en fonction des stades de croissance du peuplement (JOBIDON et CHARETTE 1997, JOBIDON *et al.* 1999, JOBIDON 2000, THIFFAULT *et al.* 2002).

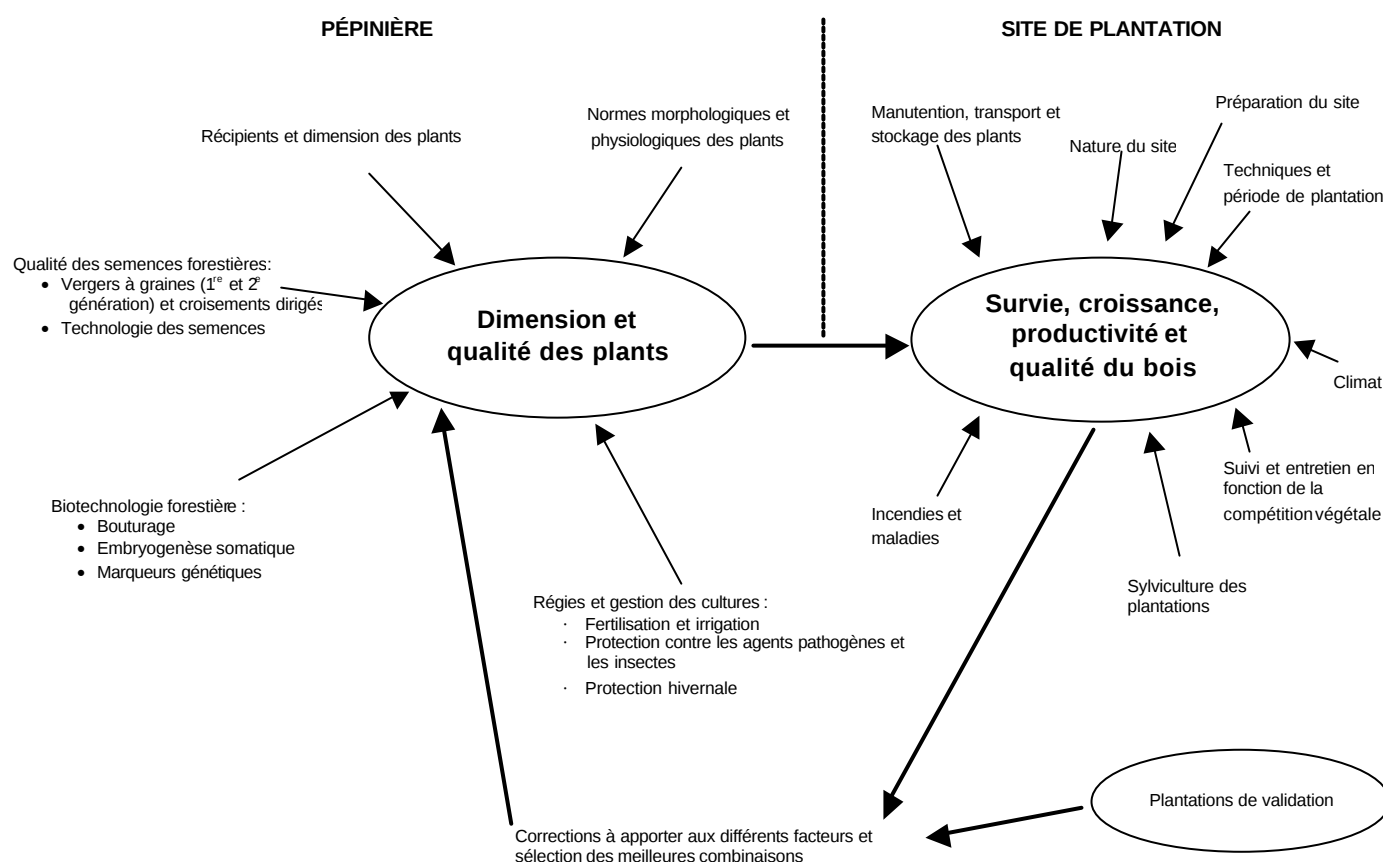


Figure 2. Principaux facteurs affectant la qualité, l'établissement, la survie, la croissance des plants et la qualité du bois (figure adaptée de LAMHAMEDI et FORTIN 1994).

2. ACQUIS SCIENTIFIQUES : DU STADE « PROJET DE RECHERCHE » À L'APPLICATION DES RÉSULTATS À L'ÉCHELLE OPÉRATIONNELLE

Le développement des techniques opérationnelles de production et de qualification des semences et des plants forestiers est une responsabilité qui relève directement du MRN. Pour accélérer l'acquisition des connaissances et assurer le transfert de technologie ainsi que la formation de spécialistes, le MRN octroie diverses subventions, depuis les années 80, pour financer des projets de R-D axés, notamment, sur de nombreux aspects de la régénération artificielle.

La plupart des dispositifs expérimentaux issus des projets de RD en semences et en production de plants de la DRF sont installés dans les six pépinières du Fonds forestier (MRN) et dans plusieurs pépinières privées en vue de répondre directement à leurs problématiques. Les plants qui proviennent de ces dispositifs font par la suite l'objet de plantations de validation, afin d'identifier les traitements appliqués en pépinière qui ont permis d'améliorer la performance des semis en plantation.

La DRF possède l'unique groupe de recherche multidisciplinaire au Québec (génétique, semences et production de plants) dont les résultats des travaux de recherche répondent à la problématique opérationnelle de ce domaine. En plus des projets de recherche menés par la DRF, les travaux de recherche subventionnés par le MRN apportent un complément ponctuel. Pour mieux arrimer les compétences et favoriser l'émergence des équipes de recherche en réseaux, des chercheurs de l'équipe de production de plants et de reproduction de la DRF collaborent activement avec des chercheurs universitaires (D^r Hank Margolis, D^r Claude Camiré, D^{re} Francine Tremblay, D^r Jacques A. Rioux, Université Laval; D^r Claude Guertin, INRS, Université du Québec; D^r Olivier Banton, Université d'Avignon; D^{re} Marie Larocque, UQAM) et d'autres centres de recherches (D^r Pierre Y. Bernier, Service canadien des forêts; Claude Richer, Agriculture et Agroalimentaire Canada). De plus, les chercheurs de la DRF participent à l'encadrement et à la formation des étudiants. Le lien entre la recherche et l'application opérationnelle des résultats est assuré par les équipes de recherche de la DRF.

Avec l'instauration en 1999 de la gestion par projet à la DRF, en plus des projets en réseau, tous les nouveaux projets internes de recherche doivent être soumis à une évaluation scientifique indépendante très rigoureuse, confiée au *Fonds de recherche sur la nature et les technologies du Québec*. Cette évaluation a pour objectif de garantir la qualité scientifique des projets de recherche, d'éviter la

duplication et d'optimiser l'utilisation des ressources financières.

Depuis près de 20 ans, les équipes de R-D en production de semences, de boutures et de plants de la DRF assurent un soutien pour l'ensemble des producteurs de plants forestiers et des centres de semences et de bouturage en leur formulant des recommandations précises sur les différents aspects reliés à la qualité des semences et à la culture de plants forestiers en pépinière, de manière à leur permettre d'améliorer constamment la qualité des différents types de plants destinés au reboisement.

Par ailleurs, le transfert de technologie et le contact continu avec tous les producteurs (publics et privés) ont favorisé le développement rapide de l'expertise québécoise spécifique au secteur de la production de semences et de plants forestiers. L'acquisition de nouvelles connaissances est le fruit des résultats de plusieurs projets de RD et des échanges continus entre les différents intervenants (DRF, DPSP, pépinières publiques et privées, universités et centres de recherches) dans des publications scientifiques, articles de vulgarisation, colloques, forums de discussions et visites sur le terrain.

Parmi les principales réalisations appliquées actuellement à l'échelle opérationnelle en pépinière et dans les centres de semences et de bouturage, citons :

- le développement d'un pistolet électrostatique pour la pollinisation de masse dans les vergers à graines (MERCIER et PARENT 2003²);
- la mise au point de méthodes de récolte et de conservation à court et moyen terme du pollen pour les principales essences utilisées en reboisement (COLAS et MERCIER 1994; COLAS et MERCIER 1999, 2000);
- le greffage et la culture de vergers à graines de mélèzes sous des tunnels de forme « cathédrale »;
- le développement de nouvelles approches de stratification des semences résineuses et feuillues (BETTEZ et MERCIER 1992, BRAULT *et al.* 1996, MERCIER 1991, MERCIER *et al.* 1991, MERCIER et LANGLOIS 1992, MERCIER et RAINVILLE 1996, VEILLEUX et MERCIER 1994);
- la mise en place de systèmes opérationnels de bouturage « Bouturathèque et enceintes sous tunnels » spécifiques aux essences résineuses (TOUSIGNANT *et al.* 1996, TOUSIGNANT et RIOUX 2002, VALLÉE et NOREAU 1990);

² MERCIER, S. et C. PARENT, 2003. *Pollinisation de masse dans les vergers à graines*. Mémoire de recherche forestière (soumis).

- l'optimisation de la géométrie et des dimensions des récipients à parois ajourées, des standards de croissance et des régies de culture spécifiques à la production de plants conventionnels et de plants de fortes dimensions (PFD) en relation avec leur performance en plantation (GINGRAS *et al.* 1999, GINGRAS et RICHARD 1999, GINGRAS *et al.* 2002, LAMHAMEDI *et al.* 1998);
- la mise au point de nouvelles technologies de gestion de la fertilisation et de l'irrigation en fonction des besoins des plants en vue de diminuer de façon significative le lessivage des éléments minéraux (LAMHAMEDI *et al.* 2000b, 2001, 2002, 2003a; STOWE *et al.* 2001; LAROCQUE *et al.* 2002; LANGLOIS et GAGNON 1993);
- le développement de méthodes d'évaluation des dommages causés par le gel et de techniques de protection hivernale des semis contre le gel (BIRAS *et al.* 2001, LAMBANY et RENAUD 1998, LAMHAMEDI *et al.* 2000c);
- le développement de logiciels d'optimisation de la nutrition minérale (*PLANTEC*: GIRARD *et al.* 2001) et de réduction du lessivage de l'azote et des pesticides (*LessN*: BANTON et LAROCQUE 2002, LAROCQUE *et al.* 2002);
- la mise au point de techniques d'embryogenèse somatique, d'approches écophysiologiques de sélection hâtive et installation de plantations clonales à une échelle réduite pour l'épinette noire et blanche (BOMAL et TREMBLAY 2000; EL MESKAOUI et TREMBLAY 2001; IRAQI et TREMBLAY 2001; LAMHAMEDI *et al.* 2000a, 2003b).

3. LA FILIÈRE « PRODUCTION DE PLANTS » ET LE REBOISEMENT : DES ATOUTS INCONTOURNABLES À L'AUGMENTATION DE LA PRODUCTION FORESTIÈRE ET À LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Les auteurs de la *Situation des forêts du monde 2001* (FAO 2001) misent sur l'expansion des plantations pour faire face à l'accroissement de la demande en bois et réduire l'exploitation dans les forêts naturelles tout en satisfaisant les besoins socio-économiques de la population. À l'échelle mondiale, la moitié des plantations ont moins de 15 ans. L'Asie, en détenait à elle seule 62 % en 2000. Par ailleurs, les principales surfaces de plantations industrielles sont situées en Chine (37 millions ha), aux États-Unis (16 millions ha) et en Inde (12 millions ha). En 2000, ces trois pays détenaient 73 % de la surface mondiale (187 millions ha) des plantations forestières. Bien que le Canada se classe parmi les quatre premiers pays qui présentent le plus important pourcentage des forêts mondiales (Fédération de Russie, Brésil et États-Unis),

il ne figure toutefois pas parmi les dix premiers pays qui possèdent la plus grande proportion de plantations forestières (FAO 2001). À la lumière de cette situation, il ressort que nous devons accentuer notre effort en matière de reboisement, afin de garantir un approvisionnement continu de l'industrie forestière québécoise en produits ligneux recherchés, ainsi que son expansion. Ceci permettra de maintenir à long terme notre compétitivité internationale.

Au Québec, pour atteindre le potentiel de production de matière ligneuse d'une superficie donnée, le MRN (2000) préconise plusieurs stratégies, plus particulièrement le reboisement avec des plants conventionnels ou améliorés génétiquement et la plantation d'essences à croissance rapide (peupliers et mélèzes hybrides). Dans son communiqué diffusé à la suite du colloque tenu à Sainte-Foy en 1999, intitulé « Le reboisement, un outil pour améliorer la productivité forestière », l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (OIFQ 1999) mettait l'accent sur un reboisement bien raisonné comme outil important à l'amélioration de la productivité forestière.

Les objectifs actuels du MRN sont qu'en 2012, 97 % des plants produits au Québec soient issus de graines améliorées génétiquement (MASSE 1999). Le gain génétique moyen escompté pour des graines améliorées varie de 3 à 10 % selon les essences et le type de source (vergers à graines de 1^{re} génération, vergers de 2^e génération, tests de provenance ou de descendance; MASSE 1999). De plus, les retombées économiques de la plantation de plants à haut rendement sont non négligeables, tant sur le plan industriel que gouvernemental. Selon le modèle de calcul de MULLIN (1993), avec des hypothèses de calcul d'un gain génétique de 5 % et d'un accroissement annuel de 3,3 m³/an sur 50 ans, le bénéfice direct actualisé de l'état est de 50 \$/ha de plantation, ce qui, extrapolé aux 75 000 ha de plantations, correspond à un bénéfice annuel de 3,5 M\$ (MASSE 1999).

Une autre composante de l'augmentation de la production forestière est l'utilisation d'essences à croissance rapide, comme les peupliers et les mélèzes hybrides. Pour les mélèzes, nous développons un nouveau concept de verger à graines sous abri de forme « cathédrale » ainsi que des techniques à l'échelle opérationnelle de bouturage et d'embryogenèse somatique. Ces essences devraient être reboisées dans des sites préalablement choisis en fonction de l'activité industrielle régionale et de la demande future de ce genre de bois et de ses dérivés.

L'utilisation de plants de qualité et l'orientation vers une foresterie clonale performante contribueront certainement à augmenter la production forestière. Par exemple, il a été montré que des conditions

optimales de croissance en pépinière permettent de déclencher le fonctionnement de gènes chez les plants forestiers qui, autrement, n'interviendraient qu'à un stade plus âgé en conditions naturelles (LASCoux *et al.* 1993). De plus, des travaux récents démontrent que nous pourrions sélectionner des plants produits par embryogenèse somatique en utilisant une approche multicritères (AMHAMED *et al.* 2000). En effet, certains clones, au stade juvénile, ont montré une croissance en hauteur exceptionnelle, avec une bonne architecture de la partie aérienne caractérisée par une faible densité de branches, avec probablement moins de nœuds au stade mature. Cette caractéristique permettra d'ajouter de la valeur à la ressource. Ces clones pourront être reboisés dans les sites où la compétition végétale a des effets négatifs sur la croissance des plants. De plus, il s'est avéré que la distribution des tannins (agrégats ou ruban) est contrôlée par le génotype du clone et pourrait conférer à l'arbre une meilleure résistance aux attaques d'insectes (tordeuse des bourgeons de l'épinette) et de champignons. Ce caractère pourrait être important dans l'identification et la sélection de clones résistants aux pathogènes et aux insectes. Cette foresterie clonale bien ciblée nécessite une cartographie et une caractérisation approfondie des sites avant de les reboiser avec des plants de haute valeur génétique. Des observations récentes ont révélé que, après 10 ans de croissance de plants d'épinette noire en site de reboisement, des tests clonaux issus d'embryogenèse somatique démontrent clairement que les possibilités de sélection existent et qu'elles permettront d'augmenter la production forestière (D^{re} F.M. Tremblay, comm. pers.).

Cependant, l'augmentation de la production forestière des plantations ne peut être atteinte que par l'optimisation des facteurs de la « filière production de plants » qui ont un effet direct sur l'établissement, la croissance et la physiologie des semis après plantation ainsi que sur la qualité du bois (Figure 2). Dans le cadre de la mise en œuvre de la *Stratégie de protection des forêts*, le MRN a opté pour l'utilisation des plants de fortes dimensions (PFD). Cette option figure parmi les solutions alternatives, dont l'objectif est d'éliminer l'utilisation des phytocides en milieu forestier en 2001. Ce gabarit de plants est destiné au reboisement des sites caractérisés par une très forte compétition végétale. La production de PFD, tout en respectant l'atteinte des normes de qualité et les exigences environnementales, est un défi de taille pour les pépiniéristes du Québec.

4. PLACE ET COMPÉTITIVITÉ DE L'EXPERTISE QUÉBÉCOISE EN PRODUCTION DE PLANTS FORESTIERS À L'ÉCHELLE INTERNATIONALE

Les problèmes d'érosion éolienne et hydrique, de dégradation des forêts et de surpâturage entraînent

une pénurie de bois de feu et de bois d'œuvre, accompagnés d'un recul significatif des forêts dans plusieurs pays en voie de développement. Pour protéger l'environnement et pallier au manque de produits ligneux, les organisations internationales de développement et les banques internationales ont mis l'accent sur le financement des projets d'aménagements forestiers, socio-économiques et de modernisation des pépinières forestières.

Le diagnostic de la problématique des reboisements (protection, production et récréation) dans plusieurs pays en voie de développement a révélé que l'amélioration des taux de survie et de la croissance des plantations doit passer inévitablement par la production de semences et de plants de qualité dans des pépinières modernes. Ces projets ont généralement une composante spécifique à la R-D en vue d'améliorer les techniques de culture en pépinière forestière. À titre d'exemple, le projet de Chongqing, en Chine, dans lequel l'expertise du MRN est sollicitée, permet de prévoir la plantation de 450 millions de plants par année, ce qui représente trois fois la production annuelle du Québec (environ 150 millions de plants). Ces plants devraient être produits dans des pépinières modernes. Cet exemple, de même que ceux des provinces de Shandong (260 millions plants/an), Hebei (320 millions plants/an) et Guizhou (180 millions plants/an), de même que les besoins d'autres pays asiatiques (Vietnam, entre autres, dont une délégation a rencontré le MRN en 2000) démontrent fort bien les retombées économiques que le Québec peut aller chercher dans ce marché potentiel, à l'échelle mondiale, spécifique à la modernisation des pépinières forestières et à l'implantation d'une technologie de traitement de semences.

Par ailleurs, les projets de grande envergure dotés d'un financement interne comportent parfois certains risques. Dans le cas des projets financés par les organisations internationales de grande crédibilité, la compétition est relativement féroce entre les sociétés privées qui œuvrent dans ce domaine, puisque l'accessibilité à ces projets n'est pas restrictive et que le paiement est garanti par les bailleurs de fonds. Dans ce sens, l'expertise québécoise de production de plants est très convoitée. En effet, elle a fait ses preuves dans l'amélioration des techniques de production de plants en pépinières forestières de divers pays, notamment la Belgique, la Bolivie, la Chine, la France, le Guatemala, le Maroc, le Nicaragua, la Tunisie, etc. (AMHAMED *et al.* 2000d; TRICHET 1998; J-M JOHNSTON, L. GODIN, S. LINARD comm. pers.). Ces projets ont été financés par des organisations internationales ou par des organismes subventionnaires. Ils ont été réalisés, en partie ou en totalité, à la suite de la participation du MRN et de certaines entreprises québécoises (Industries Harnois, Socodevi, Iqdho, Roche Ltée, Pampev Int.).

Le marché international de la modernisation du secteur des semences et des pépinières forestières est très prometteur. Ainsi, les organisations internationales encouragent les programmes de plantations, compte tenu du rôle du couvert forestier dans la protection des populations contre la désertification, la perte des sols et les désastres climatiques. De plus, l'octroi de crédits de carbone dans le cadre de projets de développement spécifiques au boisement et au reboisement internationaux va certainement se traduire par une demande accrue de la production de plants de qualité.

Par ailleurs, l'expertise québécoise de production de semences et de plants forestiers a atteint une grande maturité, ce qui a permis aux chercheurs de relever un autre défi à l'échelle internationale. Chaque année, des délégations étrangères, des stagiaires et des formateurs viennent au Québec dans le cadre de programmes de transfert de technologie afin de s'imprégner du modèle québécois. L'expertise québécoise est très compétitive, mais elle pourrait être beaucoup plus énergique sur le marché international. Ce dynamisme accru sur les marchés internationaux, à l'image de ce qui est pratiqué chez nos compétiteurs, ne pourrait être possible que dans le cadre d'actions cohérentes qui regrouperaient le milieu universitaire (formation internationale), le MRN (appui par des expertises techniques), l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, le secteur privé et les organismes de développement (ACDI, etc.).

5. AXES DE RECHERCHE PRIORITAIRES ET PERSPECTIVES D'AVENIR

Les pépiniéristes doivent produire des plants et composer avec plusieurs espèces, types de semences (graines ou boutures), âges et types de production (culture en récipients ou à racines nues, modèle de récipient, objectif de croissance du plant, etc.). Chacune des combinaisons « *espèce — type de production* » possède ses propres exigences de culture, pour lesquelles il faut définir un calendrier de production distinct, tout en tenant compte des contraintes biotiques et abiotiques (gel, insectes, champignons, etc.), du respect des critères de qualité morphologiques et physiologiques des plants et des normes environnementales. Afin de réussir l'intégration complémentaire du bouturage et de l'embryogenèse somatique à l'échelle d'une foresterie clonale ciblée, nous devons approfondir nos connaissances sur plusieurs phases spécifiques à cette intégration en vue de développer une foresterie clonale très rentable, laquelle devrait servir au reboisement des sites les plus productifs.

Les résultats des projets antérieurs de R-D en semences, en bouturage, en embryogenèse somatique et en production de plants ont largement

contribué à l'amélioration et à la production de plants à haut rendement. Pour assurer une continuité dans l'amélioration de la « filière production de plants » tout en respectant les nouvelles exigences environnementales, plusieurs axes de recherche sont devenus prioritaires à court et à moyen terme. Ces axes de recherche, à caractère opérationnel, sont le résultat d'une consultation élargie des intervenants du domaine de la production des plants forestiers au Québec. Les objectifs d'une vision à long terme d'ici 2025, spécifiques à la R-D en semences, en production de plants et en biotechnologie, ne peuvent être concrétisés que par un effort soutenu de ces axes de recherche.

5.1 L'aménagement des vergers à graines

Optimiser les méthodes de pollinisation artificielle, d'induction florale, de récolte et de conservation du pollen et des semences, ainsi que la germination des semences forestières des essences commerciales et à croissance rapide.

Au Québec, l'utilisation de graines est l'approche la plus utilisée pour produire les plants destinés au reboisement. Ainsi, la R-D en reproduction des arbres (volet sexué) vise à mettre au point des techniques simples et peu coûteuses qui vont permettre d'obtenir un très grand nombre de graines de qualité, en vue d'assurer un approvisionnement constant des pépinières forestières. À ce chapitre, le nouveau régime forestier met l'accent sur l'utilisation de plants qui proviennent de sources améliorées génétiquement. Les objectifs actuels sont qu'en 2012, 97 % des plants produits au Québec devront être issus de sources améliorées génétiquement (Masse 1999). L'atteinte de cet ambitieux objectif passe par l'optimisation des techniques d'aménagement de vergers à graines, qui permettent de maximiser la production de graines tout en garantissant leur qualité génétique. Plus particulièrement, l'accent sera mis sur l'optimisation des techniques de récolte et de conservation à long terme du pollen ainsi que sur la pollinisation de masse, un moyen efficace pour maximiser les gains génétiques. D'autres travaux seront entrepris pour limiter la contamination pollinique et augmenter la floraison par des techniques d'induction florale (injection d'hormones, fertilisation, etc.), ce qui permettra de stimuler davantage la production de fleurs dans des sites et des conditions environnementales variées. Entre la récolte des cônes et la livraison des lots de graines aux pépinières, de nombreux traitements seront examinés en vue d'augmenter le rendement à l'extraction et de permettre une bonne conservation dans la banque de graines tout en maintenant des taux de germination élevés. De plus, des travaux pourraient être entrepris pour réduire, de façon significative, l'âge de la maturité sexuelle. Ces méthodes favoriseraient la mise en production hâtive

des arbres dans les vergers à graines en utilisant des plants produits par embryogenèse somatique des principales essences commerciales. De plus, une attention particulière devrait être accordée aux effets des méthodes d'entretien sur la production des vergers à graines déjà établis.

5.2 La protection des cônes et des semences forestières

Maximiser la production de semences de meilleure qualité et développer des moyens de lutte respectueux de l'environnement contre les ravageurs des cônes et les champignons pathogènes des semences forestières.

Le maintien et la certification d'une excellente qualité des graines forestières ne pourront être réalisés que par l'utilisation de moyens de lutte efficaces contre les insectes ravageurs des cônes et des champignons pathogènes des semences forestières. Certains ravageurs, comme la mouche granivore de l'épinette, la pyrale des cônes du sapin et la tordeuse des graines de l'épinette, provoquent des dégâts importants qui peuvent parfois réduire considérablement ou détruire totalement les récoltes de cônes. Ces dégâts limitent la constitution de réserves dans la banque de graines du MRN, ce qui peut compromettre l'atteinte des objectifs de reboisement avec du matériel amélioré. La mise en application de l'élimination des produits chimiques dans les forêts du Québec, en 2001, rend indispensable le développement de méthodes de lutte alternatives contre les insectes des cônes. Pour lutter efficacement contre les ravageurs des cônes, les principales recherches porteront sur l'optimisation de l'utilisation d'insecticides biologiques par injection dans le tronc ou par vaporisation sur le feuillage ainsi que sur l'utilisation d'agents entomopathogènes (virus, champignons) par application au sol ou par vaporisation directe. Dans le cas des semences forestières, une attention particulière sera accordée à l'optimisation des méthodes de désinfection des semences contre les agents pathogènes qui causent la fonte de semis et des chancres à la tige.

5.3 Les techniques de multiplication végétative et la sélection hâtive

Optimiser et raffiner les techniques de bouturage, de greffage et d'embryogenèse somatique des principales essences commerciales et à croissance rapide et développer des outils de sélection hâtive en réponse aux stress environnementaux.

Les techniques de multiplication végétative, qui permettent de produire des plants tout en conservant intégralement le bagage génétique d'un arbre, sont réservées à la «*crème de la crème*» des arbres

améliorés, de même qu'aux essences dont le nombre de graines est insuffisant pour répondre à la demande. Actuellement, plus de 3 millions de plants forestiers d'essences résineuses et 1,5 millions de plants de peupliers hybrides sont produits au Québec par bouturage. Les espèces résineuses ainsi multipliées sont l'épinette noire, l'épinette blanche, l'épinette de Norvège et les mélèzes hybrides.

L'orientation actuelle vers une foresterie clonale à haut rendement et l'utilisation de plants dotés d'un potentiel génétique supérieur nécessitent l'emploi de plants issus de boutures et d'embryogenèse somatique. De ce fait, les techniques de multiplication végétative doivent être optimisées pour augmenter le taux de multiplication des semences, maximiser l'enracinement des boutures et réduire les coûts de production des plants en pépinière. Le calendrier de production et le système de multiplication se doivent d'être adaptés en fonction des caractéristiques propres à chaque espèce. Par ailleurs, les scénarios de culture et les normes de qualité des plants issus de boutures et d'embryogenèse somatique seront à valider, à la lumière des caractères qui les distinguent des semis conventionnels, afin d'assurer une croissance maximale après la plantation. Les stratégies de déploiement des plants issus de boutures et d'embryogenèse somatique seront également évaluées. D'autres travaux seront réalisés en vue d'optimiser et de rendre opérationnelles les différentes phases d'embryogenèse somatique et des semences artificielles, tout en évaluant la qualité morpho-physiologique des plants somatiques en pépinière et en plantation. Finalement, la possibilité d'appliquer le bouturage et les techniques d'embryogenèse somatique à de nouvelles espèces sera examinée.

Par ailleurs, afin de garantir une bonne croissance et une meilleure adaptation des essences commerciales et à croissance rapide aux stress environnementaux, des critères de sélection précoce au stade de semis seront développés sur la base d'indicateurs de qualité des plants, notamment des réponses morphologiques, physiologiques et des marqueurs moléculaires. Ainsi, le recours combiné à l'embryogenèse somatique et aux marqueurs moléculaires permettra de raccourcir le cycle de sélection tout en sélectionnant les clones les plus performants et qui réagissent de façon exceptionnelle aux régies de culture appliquées en pépinière. L'atteinte de cet objectif ne peut être concrétisée, dans une première phase, que par la création d'une grande unité de production mixte. Cette unité combine les atouts de ces deux technologies et est spécialisée dans la production de clones très performants. Ainsi, dans le cadre d'une entente entre la DPSP et le laboratoire de culture *in vitro* (D^{re} Francine Tremblay) de la Faculté de foresterie et de géomatique (Université Laval), des travaux sont en cours et mettent l'accent sur l'optimisation et la mise à l'échelle de l'embryogenèse somatique.

5.4 Le développement de logiciels informatiques de gestion des cultures

Développer une nouvelle version du logiciel PLANTEC en harmonie avec le système informatisé de gestion de plants de reboisement (logiciel Plants du MRN).

PLANTEC est un logiciel conçu par la DRF (GIRARD *et al.* 2001) pour faciliter la gestion de la fertilisation et les suivis des cultures produites dans les pépinières forestières. Ce logiciel est largement utilisé dans les pépinières forestières publiques du Québec ainsi que dans celles de plusieurs pays. PLANTEC permet aux pépiniéristes de modéliser l'évolution saisonnière des plants forestiers, quel que soit le type de culture (essence, âge, type de plant: en conteneur ou à racines nues), d'évaluer leurs besoins hebdomadaires en éléments minéraux (N, P, K) et de construire un calendrier de fertilisations spécifique à cette culture. En plus d'être capable de gérer simultanément jusqu'à 500 lots et 100 calendriers de fertilisations, PLANTEC peut également assurer le suivi des données météorologiques, des irrigations et des pulvérisations de pesticides.

Une nouvelle version de PLANTEC sera éventuellement développée dans un environnement Windows afin d'améliorer et de simplifier les échanges entre les logiciels du Fonds forestier (logiciel *Plants*) logiciels du Fonds forestier (logiciel *Plants* : logiciel de gestion et de suivi des stocks de plants produits dans les pépinières forestières du Québec) et aussi pour intégrer de nouvelles approches d'optimisation de l'irrigation et de la fertilisation dans le but de minimiser le lessivage des éléments minéraux sous les cultures. Cette nouvelle version de PLANTEC permettrait de faciliter les échanges de données avec le logiciel *LessN*, un outil de simulation conçu par BANTON et LAROCQUE (2002), en collaboration avec la DRF (LAROCQUE *et al.* 2002), pour quantifier les apports d'azote inorganique qui proviennent de la minéralisation de la matière organique du sol et simuler le lessivage des nitrates (NO_3) et des pesticides sous les cultures à racines nues produites en pépinières. Afin d'améliorer la performance de PLANTEC, de nouveaux modèles mathématiques sur la croissance et la physiologie des plants seront intégrés. Finalement, cette version tiendra compte des notions de hauteur des plants et du rapport hauteur/diamètre dans la révision des calendriers de fertilisations. Ces modifications permettront aux pépinières publiques et privées du Québec, le cas échéant, d'avoir accès à un outil informatique complet, efficace, facile à utiliser et à la fine pointe des connaissances en production de plants forestiers.

5.5 La production de plants et les plantations de validation

Définir les standards de croissance, les chartes d'endurcissement de tolérance au gel et les régies de culture à appliquer en pépinière aux essences commerciales et à croissance rapide et évaluer la performance des plants en plantations de validation.

Afin de garantir un produit de reboisement de la plus haute qualité, les régies de culture, les chartes d'endurcissement de tolérance au gel et les standards de croissance des essences commerciales et à croissance rapide seront ajustés et développés en tenant compte des combinaisons essence - type de plant. D'autres travaux seront axés sur les concentrations tissulaires en azote (N), le rapport H/D, les modalités de taille et de protection des plants contre le gel, les processus écophysiologiques, l'hivernage et l'entreposage des plants en chambre froide. L'établissement et la croissance juvénile des semis en site de reboisement sont étroitement liés à l'atteinte de ces standards, qui sont la base de fonctionnement du logiciel PLANTEC.

Le suivi des plants (croissance, survie, concentrations en minéraux dans les tissus et substrat, etc.) dans le cadre d'un réseau de plantations de validation demeure le seul outil qui permette d'évaluer réellement le potentiel des semis produits en pépinière ainsi que l'influence des caractéristiques des sites de reboisement. Les résultats obtenus permettent de préciser les meilleurs traitements en plantation et de formuler des recommandations sur les types de plants qui devraient être produits en pépinière. Puisque l'historique complet des meilleurs traitements appliqués en pépinière est connu, il est aisé de fournir aux producteurs l'information nécessaire à la réalisation des cultures qui permette de garantir un meilleur taux de survie et une croissance accrue en plantation.

5.6 La protection de la qualité des eaux souterraines et la certification environnementale

Développer des scénarios de protection de la qualité des eaux souterraines et des indicateurs de certification environnementale spécifiques à la production de plants en pépinière forestière.

La préservation de la qualité des eaux figure actuellement parmi les critères de certification forestière (VOGT *et al.* 2000). Pour que la qualité des eaux souterraines des pépinières forestières du Québec

soit protégée, il est essentiel que les pépiniéristes gèrent adéquatement l'irrigation et la fertilisation de leurs cultures en récipients et à racines nues de façon à minimiser le lessivage des éléments nutritifs (N, P, K, Ca, Mg) sous ces cultures. En procédant ainsi, les eaux souterraines des pépinières présenteront des concentrations en nitrates et nitrites ($\text{N-NO}_3 + \text{N-NO}_2$) inférieures à la norme de qualité de l'eau potable de 10 mg N/L.

Afin d'assurer une protection accrue de la qualité des eaux souterraines, des recherches complémentaires seront réalisées dans les pépinières forestières du Québec pour quantifier le lessivage de l'azote (NO_3^- , NH_4^+) et des autres minéraux (P, K, Ca, Mg) sous les cultures en récipients (récipients capteurs) et à racines nues (cases lysimétriques) et pour vérifier l'impact environnemental des régies d'irrigation et de fertilisation appliquées à ces cultures. Ces recherches conduiront à la mise en place des mesures d'atténuation du lessivage des éléments nutritifs dans les pépinières forestières (nouvelles régies d'irrigation et de fertilisation des plants, utilisation de la réflectométrie dans le domaine temporel, du logiciel de fertilisation *PLANTEC* et de l'outil de simulation *LessN*). Elles permettront ainsi aux pépiniéristes de se conformer à la nouvelle réglementation québécoise sur la qualité de l'eau potable, qui est la plus exigeante au Canada. Grâce au logiciel *LessN* (BANTON et LAROCQUE 2002, LAROCQUE *et al.* 2002), les pépiniéristes du Québec peuvent maintenant quantifier les apports d'azote inorganique (kg N/ha) qui proviennent de la minéralisation de la matière organique du sol et les déduire des doses d'azote (kg N/ha) qu'ils avaient prévues appliquer à l'aide de *PLANTEC* (GIRARD *et al.* 2001) à leurs cultures à racines nues. Cependant, pour que *LessN* puisse déterminer avec précision la minéralisation de la matière organique dans les sols de chacune des six pépinières publiques du Québec, des travaux devront être réalisés pour caractériser la décomposition des sources de matière organique (% N, C/N) utilisées dans ces pépinières et pour insérer ces valeurs propres à chaque pépinière dans *LessN*. L'outil de simulation *LessN* permettra donc aux pépiniéristes de diminuer leurs apports annuels d'azote (kg N/ha), ce qui aura pour effet de réduire « à la source » les quantités de nitrates (NO_3^-) susceptibles d'être lessivées jusqu'à la nappe phréatique. D'autres travaux pourraient être entrepris à grande échelle en vue de confirmer les résultats encourageants, observés à la pépinière de Berthier, sur l'utilisation des toiles capillaires pour diminuer significativement les quantités d'eau et de fertilisants. Le fruit de ces travaux pourra mener à l'élaboration d'un programme de certification environnementale (ISO 14001) spécifique aux pratiques qui prévalent dans les pépinières forestières en vue d'assurer une gestion à long terme de nos centres de production dans le respect de l'aménagement durable de nos forêts.

6. RÉSULTATS ESCOMPTÉS EN R-D EN SEMENCES ET EN PRODUCTION DE PLANTS D'ICI 2025

Afin de répondre aux nouvelles exigences internationales en matière de certification environnementale, notamment en ce qui a trait à la protection de la qualité des eaux, la protection des forêts naturelles, l'augmentation de la production forestière par unité de surface et aux modalités de mise en application du protocole de Kyoto, le reboisement et le boisement sont devenus des atouts incontournables à toute politique forestière pour satisfaire une grande partie de la demande en bois et pour protéger l'environnement à l'échelle mondiale. L'amélioration significative de la production forestière et des processus écophysiologiques des plantations ne peuvent être atteints que par une optimisation des différentes phases de la technologie des semences et de production de plants de meilleure qualité (Figure 2).

L'originalité de l'expertise québécoise en technologie de semences et en production de plants réside dans le suivi et les ajustements continus, avec rétroaction depuis la graine jusqu'à l'évaluation du produit en site de reboisement. Le maintien d'un effort soutenu en R-D dans ce secteur d'activités permettra, d'ici 2025, d'atteindre certains résultats, notamment :

- la détermination précise des variables qui permettent la conservation à long terme du pollen des principales essences forestières;
- la maîtrise de la pollinisation contrôlée des principales essences forestières et de l'induction précoce de la maturité sexuelle, ce qui permet de raccourcir de façon significative l'âge de la production optimale des arbres dans les vergers à graines;
- le développement d'une unité de production efficace, qui combine les techniques de bouturage et d'embryogenèse somatique. Cette unité est spécialisée dans la production de plants qui possèdent les meilleurs génotypes et qui sont destinés à une foresterie clonale à haut rendement;
- la combinaison et l'utilisation simultanées, à l'échelle opérationnelle, des nouvelles technologies (RDT, logiciels *PLANTEC* et *LessN*) de gestion de l'irrigation et de la nutrition minérale des plants des essences permettront de produire des plants de qualité et assureront une protection accrue de l'environnement;
- le développement des chartes et des standards de tolérance au gel des essences résineuses qui permettent de diminuer les pertes de plants ainsi que les coûts de production;

- la sélection des meilleures combinaisons de scénarios de production de plants en pépinière et protectrices de l'environnement à partir des résultats des dispositifs de plantations de validation;
- le développement d'une stratégie de sélection hâtive multicritères cohérente avec les enjeux de la foresterie québécoise à haute production;
- le développement d'une vitrine technologique à l'échelle internationale, spécifique à l'expertise québécoise en production de plants, jumelé avec les projets de développement et de protection de l'environnement.

CONCLUSION

La « filière production de plants » est solidement implantée au Québec et l'évolution des pratiques en matière de production de semences et de plants est là pour le prouver. Cette réussite est liée à la synergie unique développée au fil des ans entre les équipes de recherche et le secteur des opérations du MRN. Une meilleure synergie permettra la poursuite de l'amélioration des techniques et leur adaptation aux nouvelles réalités de la forêt québécoise, en raison des modalités de mise en application du protocole de Kyoto et de la stratégie des aires protégées du Québec. Toute réduction des superficies exploitées, à des fins de conservation de la biodiversité, augmenterait la pression de récolte sur les terrains restants. De même, le rôle prépondérant joué par les plantations comme puits de carbone va favoriser davantage l'aménagement intensif de la forêt pour assurer une croissance optimale des plantations (friche agricole, sites anciens, etc.). Par ailleurs, l'augmentation des superficies reboisées et boisées à l'aide de plants de haute qualité est un facteur clé dans l'augmentation de la production forestière. Nous pourrions également compter sur l'intégration progressive de la foresterie clonale afin d'augmenter la visibilité de la « filière production de plants » dans le maintien de la compétitivité de notre industrie forestière.

REMERCIEMENTS

Les résultats présentés dans ce document sont le fruit du travail d'un très grand nombre de personnes qui œuvrent tant au MRN, dans des organismes de recherche, que dans le réseau des pépinières forestières publiques et privées. Ne pouvant les citer toutes, au risque d'en oublier, nous désirons rendre hommage à leur travail acharné, qui a permis le développement de la « filière de production de plants », dont le Québec peut être fier aujourd'hui.

Nous remercions également messieurs Robert Jobidon et Mario Renaud ainsi que Mmes Linda Veilleux et Denise Tousignant, de la Direction de la recherche forestière (MRN), M. Luc Godin (PAMPEV Inc.), M. Jean-Marie Johnston (pépinière de Berthier), M. Stéphane Boucher (pépinière Boucher) et M. Pierre Walsh Lebel (General Wood and Veneers), pour leurs commentaires judicieux sur ce manuscrit.

RÉFÉRENCES

- BANTON, O. et M. LAROCQUE, 2002. *LessN3.0 – Manuel d'utilisation. Logiciel de simulation du devenir de l'azote (N) et des pesticides appliqués dans les pépinières forestières*. INRS-Eau. 73 p.
- BETTEZ, M. et S. MERCIER, 1992. *La dormance ou le « verrou biologique » de la semence*. Dans : Comptes rendus du colloque Les semences forestières. 12 et 13 février 1992, Sainte-Foy, Québec. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, Direction de la recherche forestière. p.151-158.
- BIGRAS, F.J., A. RYPPÖ, A. LINDSTRÖM and E. SATTIN, 2001. *Cold acclimation and deacclimation of shoots and roots of conifer seedlings*. In : F.J. BIGRAS et S.J. COLOMBO (eds.). *Conifer cold hardiness*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands. p. 57-88.
- BOMAL, C. and F.M. TREMBLAY, 2000. *Dried cryopreserved somatic embryos of two Picea species provide suitable material for direct plantlet regeneration and germplasm storage*. Ann. Bot. 86 : 177-183.
- BRAULT, N., S. MERCIER et M. BETTEZ, 1996. *Traitement des graines d'arbres forestiers : 2^e partie de deux*. L'Aubelle 113(37) : 1-12.
- BROWN, S., J. SATHAYE, M. CANNEL and P. KAUPPI, 1996. *Management of forest for mitigation of greenhouse gas emissions*. In : R.T. WATSON, M.C. ZINYOWERA et R.H. MOSS (eds.). *Climate change 1995, impacts, adaptations and mitigation of climate change : scientific-technical analyses*. Report of Working Group II, Assessment Report, IPCC. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni. p. 773-797.
- COLAS, F. et S. MERCIER, 1994. *Établissement d'une gamme de viabilité du pollen de pin gris*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche (Forêts). Note de recherche forestière n° 58. 8 p.

- COLAS, F. et S. MERCIER, 1999. *La recherche sur la reproduction sexuée : le lien incontournable entre l'amélioration génétique et la production de plants*. Dans : Actes du colloque : l'amélioration génétique en foresterie. Où en sommes-nous? 28 au 30 septembre 1999. Rivière-du-Loup, Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Ressources naturelles Canada, Conseil de la recherche forestière du Québec. p.125-132.
- COLAS, F. et S. MERCIER, 2000. *Évaluation et maintien de la viabilité des pollens utilisés dans le programme d'amélioration des arbres*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 135. 78 p.
- EL MESKAOUI, A. and F.M. TREMBLAY, 2001. *Involvement of ethylene in the maturation of black spruce embryogenic cell lines with different maturation capacities*. J. Exp. Bot. 52 : 761-769.
- FAO, 2001. *Situation des forêts du monde, 2001*. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie. 181 p.
- FORÊT CANADA, 2001. *L'état des forêts au Canada*. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts. p. 72-76.
- GAGNON, J., G. PRÉSENT, B.-M. GINGRAS, M.S. LAMHAMED, V. ROY et G. CYR, 2001. *Le reboisement : pour un avenir prometteur*. Ministère des Ressources naturelles du Québec. Feuille, 8 p.
- GINGRAS, B.-M. et S. RICHARD, 1999. *Bilan du développement des récipients à parois ajourées : culture des semis en pépinière et performance en plantation comparative*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n°130. 74 p.
- GINGRAS, B.-M., D. GIRARD, M. RENAUD, S. RICHARD et G. LAMBANY, 1999. *Guide pratique pour la culture de plants de fortes dimensions d'épinette blanche dans des récipients de 350 cm³*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 445. 31 p.
- GINGRAS, B.-M., S. RICHARD et N. ROBERT, 2002. *Performance après cinq ans en plantations comparatives de plants de fortes dimensions et de feuillus cultivés dans des récipients à parois ajourées*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 141. 100 p.
- GIRARD, D., J. GAGNON et C.-G. LANGLOIS, 2001. *PLANTEC : Un logiciel pour gérer la fertilisation des plants forestiers en pépinière*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 111. 8 p.
- HAWEY, R., 1980. *La politique de reboisement au Québec*. Dans : Atelier de travail sur la culture des semis en récipients. Ministère de l'Énergie et des Ressources, Sainte-Foy, Québec, Canada. p.70-83.
- HAWEY, R., 1984. *Programme de reboisement du MER : Production de plants en récipients au Québec; État de la situation*. Dans : Deuxième atelier de travail sur la culture des semis en récipients. Sainte-Foy, Ministère de l'Énergie et des Ressources, Québec, Canada. p.1-9.
- IRAQI, D. et F.M. TREMBLAY, 2001. *The role of sucrose during maturation of black spruce (Picea mariana) and white spruce (Picea glauca) somatic embryos*. Physiol. Plant. 111 : 381-388.
- JOBIDON, R. et L. CHARETTE, 1997. *Effet, après 10 ans, du dégagement manuel simple ou répété et de la période de coupe de la végétation de compétition sur la croissance de l'épinette noire en plantation*. Can. J. For. Res. 27 : 1979-1991.
- JOBIDON, R., L. CHARETTE, et P.Y. BERNIER, 1998. *Initial size and competing vegetation effects on water stress and growth of Picea mariana (Mill.). BSP seedlings planted in three different environments*. For. Ecol. Manag. 13 : 293-305.
- JOBIDON, R., F. TROTTIER et L. CHARETTE, 1999. *Dégagement chimique ou manuel de plantations d'épinette noire? Étude de cas dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc au Québec*. For. Chron. 76 : 973-979.
- JOBIDON, R., 2000. *Density-dependent effects of northern hardwood competition on selected environmental resources and young white spruce (Picea glauca) plantation growth, mineral nutrition, and stand structural development - a 5-year study*. For. Ecol. Manage. 130 : 77-97.
- LAMBANY, G. et M. RENAUD, 1998. *Étude des conditions de température observées dans une culture d'épinette noire 1 + 0 hivernée sous toile*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Rapport interne n° 431. 20 p.

- LAMHAMED, M.S. et J.A. FORTIN, 1994. *La qualité des plants forestiers : critères d'évaluation et performance dans les sites de reboisement*. Dans ABOUROUH, M. (éd.). Actes de la première journée nationale sur les plants forestiers. Centre de Recherche et d'Expérimentation forestières, Rabat, Maroc. p. 35-50.
- LAMHAMED, M.S., P.Y. BERNIER, C. HÉBERT and R. JOBIDON, 1998. *Physiological and growth responses of three types of containerized Picea mariana seedlings outplanted with and without vegetation control*. For. Ecol. Manage. 110 : 13-23.
- LAMHAMED, M.S., H. CHAMBERLAND, P.Y. BERNIER and F.M. TREMBLAY, 2000a. *Clonal variation in morphology, growth, physiology, anatomy and ultrastructure of container-grown white spruce somatic seedlings*. Tree Physiol. 20 : 869-880.
- LAMHAMED, M.S., G. LAMBANY, M. RENAUD, L. VEILLEUX et S. PLAMONDON, 2000b. *Gestion de l'irrigation en pépinière et évaluation des semis d'épinette blanche produits dans les récipients à parois ajourées*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 138. 36 p.
- LAMHAMED, M.S., L. VEILLEUX, M. RENAUD, F. TALBOT, D. GIRARD et P. LAURENDEAU, 2000c. *Effets de trois modes de culture (ombrière, plastique micro-perforé et tunnel) sur l'endurcissement des semis d'épinette blanche (1 + 0) produits à la pépinière de Trécesson*. Note de recherche forestière n° 110. 16 p.
- LAMHAMED, M.S., Y. AMMARI, B. FECTEAU, J.A. FORTIN, et H. MARGOLIS, 2000d. *Problématique des pépinières forestières en Afrique du nord et stratégies d'orientation*. Cahiers Agricultures 9 : 369-380.
- LAMHAMED, M.S., G. LAMBANY, H.A. MARGOLIS, M. RENAUD, L. VEILLEUX and P.Y. BERNIER, 2001. *Growth, physiology and leachate losses in Picea glauca seedlings (1 + 0) grown in air-slit containers under different irrigation regimes*. Can. J. For. Res. 31 : 2200-2212.
- LAMHAMED, M.S., M. RENAUD et H.A. MARGOLIS, 2002. *La réflectométrie dans le domaine temporel : une technique d'optimisation de l'irrigation et de réduction du lessivage en pépinières forestières au Québec*. Cahiers Agriculture 11 : 275-283.
- LAMHAMED, M.S., H. MARGOLIS, M. RENAUD et L. VEILLEUX, 2003a. *Effets de différentes régies d'irrigation sur la croissance, la nutrition minérale et le lessivage des éléments nutritifs des semis d'épinette noire (Picea mariana) (1 + 0) produits en récipients à parois ajourées en pépinière forestière*. Can. J. For. Res. (Sous presse).
- LAMHAMED, M.S., H. CHAMBERLAND and F.M. TREMBLAY, 2003b. *Cuticular transpiration, ultra-structural characteristics and net photosynthesis of white spruce somatic seedlings in response to in vitro acclimatization*. Physiologia Plantarum (Sous presse).
- LANGLOIS, C.-G. and J. GAGNON, 1993. *A global approach to mineral nutrition based on the growth needs of seedlings produced in forest tree nurseries*. In : N.J. BARROW, éd. Plant Nutrition-From Genetic Engineering to Field Practice. Proceedings of the 12th International Plant Nutrition Colloquium, 21-26 September 1993, Perth, Western Australia. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Pays-Bas. p. 303-306.
- LAROCQUE, M., O. BANTON, J. GAGNON and C. CAMIRÉ, 2002. *Using models to manage soil inorganic nitrogen in forest tree nurseries*. Soil Sci. Soc. Am. J. 66 : 602-612.
- LASCOUX, D.M., A. KREMER and I. DORMLING, 1993. *Growth and phenology of 1-year-old maritime pine (Pinus pinaster) seedlings under continuous light: implications for early selection*. Can. J. For. Res. 23 : 1325-1336.
- MARGOLIS, H.A., 1987. *Seedling production and reforestation in Québec*. J. For. 85 : 39-43.
- MENV, 2002. *Stratégie québécoise sur les aires protégées. Plan d'action stratégique, premiers résultats*. Ministère de l'Environnement. 43 p.
- MERCIER, S., 1991. *Maturation et indices de maturité des semences d'épinette blanche*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Mémoire de recherche forestière n° 103. 62 p.
- MERCIER, S., T. MORISSETTE et D. BLANCHETTE, 1991. *Évaluation des cônes de pin gris en vue de la récolte de semences de qualité*. Ministère des Forêts, Direction de la recherche. Mémoire de recherche forestière n° 102. 42 p.
- MERCIER, S. et C.-G. LANGLOIS, 1992. *Indice de maturité et conservation en fonction de la période de récolte des semences d'épinette blanche du Québec*. Can. J. For. Res. 22 : 1516-1523.

- MERCIER, S. et A. RAINVILLE, 1996. *Effet de la morphologie, du génotype et de la germination précoce des glands de chêne rouge sur la croissance des plants en récipient*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 123. 42 p.
- MASSE, L., 1999. *Les vergers à graines (voie sexuée)*. Dans : Actes du colloque : l'amélioration génétique en foresterie. Où en sommes-nous? 28 au 30 septembre 1999. Rivière-du-Loup, Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Ressources naturelles Canada, Conseil de la recherche forestière du Québec. p 117-123.
- MRN, 1998. *La pépinière forestière de Berthier. Nos racines au cœur du développement*. Ministère des ressources naturelles, RN98-3095. 12 p.
- MRN, 2000. *Investir dans les forêts québécoises pour en augmenter la production*. Ministère des Ressources naturelles, Direction des programmes forestiers. 10 p.
- MULLIN, T.J., 1993. *Evaluating the economics of alternative breeding and deployment strategies for northeastern conifers*. Dans : Comptes rendus de la 24^e conférence de l'Association canadienne pour l'amélioration des arbres, Fredericton, août 1993. p. 82-102.
- OIFQ, 1999. 1- *Les ingénieurs forestiers croient à l'amélioration de la productivité forestière par le reboisement*. 2- *Le reboisement un outil important pour une politique d'intensification de l'aménagement forestier* (dans la section communiqués). <http://www.oifq.com/Actualites/Actualites.html>
- St-LAURENT, S., R. OUMET, S. TREMBLAY et L. ARCHAMBAULT, 2000. *Évolution des stocks de carbone organique dans le sol après coupe dans la sapinière à bouleau jaune de l'est du Québec*. Can. J. Soil Sci. 80 : 507–514.
- STOWE, D.C., M.S. LAMHAMED and H. MARGOLIS, 2001. *Water relations, cuticular transpiration, and bud characteristics of air-slit containerized Picea glauca seedlings in response to controlled irrigation regime*. Can. J. For. Res. 31 : 1922-1929.
- THIFFAULT, N., V. ROY, G. PRÉSENT, G. CYR, R. JOBIDON et J. MÉNÉTRIER, 2002. *La sylviculture des plantations résineuses au Québec*. Nat. can. 127 : 63-80.
- TOUSIGNANT, D., P. PÉRINET et M. RIOUX, 1996. *Le bouturage de l'épinette noire à la pépinière de Saint-Modeste*. Ministère des Ressources naturelles. Rapport RN96-3004. 33 p.
- TOUSIGNANT, D. et M. RIOUX, 2002. *Le bouturage des résineux à la pépinière de Saint-Modeste (Québec, Canada) : 10 ans de recherche, de développement et d'innovations*. Dans : VERGER M. (éd). Multiplication végétative des ligneux forestiers, fruitiers et ornementaux. Actes. [CD-Rom]. Montpellier, France : Cirad-Inra, p.65-86. Troisième rencontre du groupe de la Sainte-Catherine, 22-24 novembre 2000, Orléans, France.
- TRICHET, G., 1998. *Étude de la nutrition minérale d'une culture de pin maritime en conteneur en pépinière forestière*. Dans : Colloque sur l'irrigation et la fertilisation, Sainte-Foy, 24 et 25 mai 1998. L. VEILLEUX, M. RENAUD et G. LAMBANY Éditeurs. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. p. 23-83.
- TROTTIER, F., 1999. *L'expérience québécoise de reboisement dans les forêts publiques entre 1986 et 1995*. Dans : Le reboisement, un outil pour augmenter la productivité forestière? Ordre des ingénieurs forestiers du Québec. Sainte-Foy, Canada. 1 p.
- VALLÉE, G. et R. NOREAU, 1990. *La « Bouturathèque » : système de bouturage compact hors serre*. Direction de la recherche, ministère de l'Énergie et des Ressources. Note de recherche forestière n° 41. 6 p.
- VEILLEUX, L. et S. MERCIER, 1994. *Maturation des graines de l'épinette blanche à partir du suivi systématique de 16 acides aminés libres*. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Note de recherche forestière n° 61. 12 p.
- VOGT, A.K., B.C. LARSON, J.C. GORDON, D.J. VOGT and A. FANZERES, 2000. *Forest certification, roots, issues, challenges, and benefits*. CRC Press, Washington, USA. 386 p.
- WHITEMAN, A. and C. BROWN, 1996. *The potential role of forest plantations in meeting future demands for industrial wood products*. Int. For. Rev. 3 : 143-152.

