

Résumé des présentations

Forum de transfert de connaissances

Saguenay, 29 novembre 2005

Direction de la recherche forestière



Les travaux de recherche menés par la
Direction de la recherche forestière dans la région
du Saguenay — Lac-Saint-Jean

Mandat de la DRF

Le mandat de la Direction de la recherche forestière au sein du ministère des Ressources naturelles et de la Faune est de participer activement à l'amélioration de la pratique forestière au Québec en réalisant des travaux principalement à long terme et d'envergure nationale lesquels intègrent à la fois des préoccupations de recherche fondamentale et de recherche appliquée.

Elle subventionne aussi des recherches universitaires à court ou moyen terme; ces recherches, importantes pour le Ministère, sont complémentaires aux travaux de la DRF ou réalisées dans des créneaux où elle ne peut s'impliquer.

Vous pouvez adresser vos demandes à :

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
Sainte-Foy (Québec) G1P 3W8
Téléphone : (418) 643-7994
Télécopieur : (418) 643-2165
Courriel : recherche.forestiere@mrrnf.gouv.qc.ca
Internet : www.mrrnf.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche

Table des matières

Mandat de la DRF.....	2
Mot du directeur.....	5
Organigramme de la Direction de la recherche forestière.....	6
L'amélioration génétique des arbres au MRNF : un outil de performance pour la forêt du Saguenay – Lac-Saint-Jean Mireille Despots	7
La recherche sur la production de semences et de plants au Québec : l'innovation au service du reboisement Fabienne Colas	11
Gestion de la végétation de compétition en plantation d'épinettes : impact des feuillus après éclaircie précommerciale et effet de l'intensité des traitements sur la diversité floristique Guillaume Cyr	13
Impact combiné des précipitations acides, de l'exportation de matière ligneuse et des perturbations sur le maintien à long terme de la productivité en forêt boréale Louis Duchesne	17
La recherche en Écosystèmes et Environnement au sein de la DRF du MRNF : des résultats d'intérêt dans un contexte d'aménagement durable des forêts Catherine Périé	21
La mesure des effets réels des traitements sylvicoles et les travaux de recherche en peuplement résineux : un suivi à long terme Stéphane Tremblay	25
Productivité des débroussailleurs en dégagement – de la recherche vers les opérations Denise Dubeau	29



Mot du directeur

La Direction de la recherche forestière (DRF), du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), est fière de vous présenter le Résumé des présentations de cette journée entièrement consacrée aux travaux de recherche menés par notre direction et d'intérêt pour la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean. Ce colloque est organisé conjointement par le Fonds de la recherche forestière du Saguenay – Lac-Saint-Jean et la

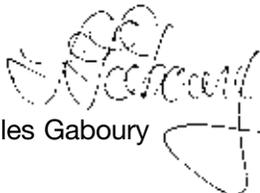
Direction de la recherche forestière. Les sujets présentés sont diversifiés. On traitera en effet d'amélioration génétique des arbres, de production de semences et de plants, d'impact de l'éclaircie précommerciale et des relations concernant la diversité végétale et la fertilité des sols. Il sera également question du maintien à long terme de la productivité en forêt boréale, de la mesure des effets réels des traitements sylvicoles en forêt résineuse et de la productivité des débroussailliers.

Il y a actuellement 78 projets de recherche en cours à la DRF. Pour mener à bien tous ces projets, les chercheurs de la DRF ont établi près de 1 900 dispositifs expérimentaux et plus de 9 000 parcelles répartis sur l'ensemble du territoire québécois. De ce nombre, 34 sont menés en partie ou en totalité dans la région administrative du Saguenay – Lac-Saint-Jean (188 dispositifs expérimentaux et 1 043 parcelles).

Depuis 2001, la gestion des projets de recherche subventionnés est effectuée dans le cadre d'une entente avec le Fonds québécois de recherche sur la nature et les technologies (l'Action concertée Fonds Nature et Technologies – Fonds Forestier). Cet organisme octroie, en collaboration avec le MRNF, des subventions à une quarantaine de projets réalisés en milieu universitaire, en suivant un processus rigoureux d'évaluation de la pertinence et de la qualité scientifique. Ce même processus est appliqué aux projets de recherche de la DRF pour leur permettre d'être ajoutés à la programmation.

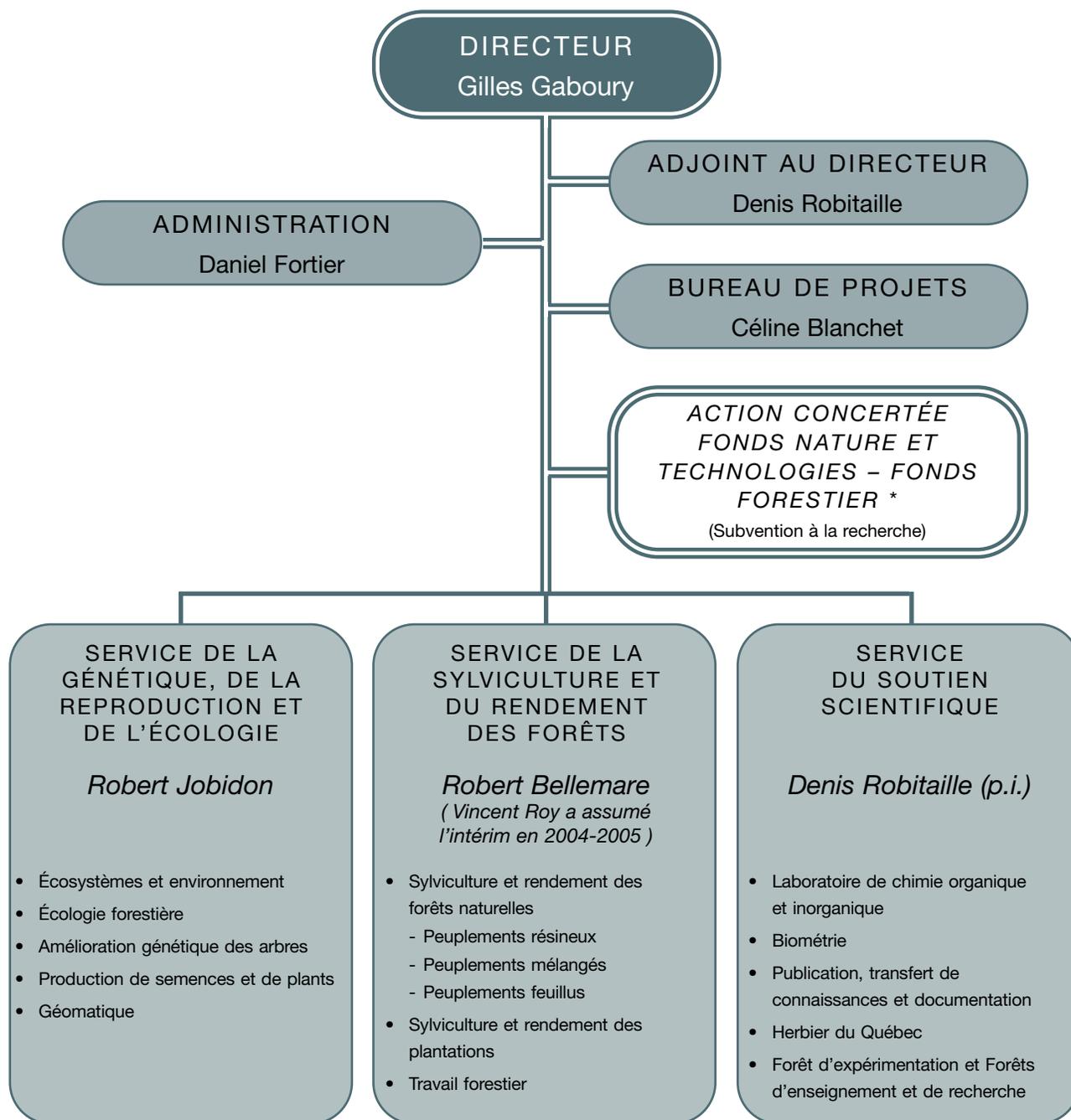
Nous espérons vivement que le contenu de cette journée ainsi que la qualité des présentations répondront à vos attentes.

Le directeur de la recherche forestière


Gilles Gaboury



Organigramme de la Direction de la recherche forestière



* Entente avec le Fonds québécois de recherche sur la nature et les technologies

L'amélioration génétique des arbres au MRNF : un outil de performance pour la forêt du Saguenay – Lac-Saint-Jean

Mireille Despôts, Roger Beaudoin, Marie-Josée Mottet, Pierre Périnet, Martin Perron et André Rainville



Plus de trente années de travaux en amélioration génétique des arbres au Québec ont permis d'évaluer la performance pour la production ligneuse de plusieurs espèces indigènes et introduites, et de constituer une importante collection de ce matériel. Parmi celles-ci, les espèces indigènes comme l'épinettes noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), l'épinette blanche (*P. glauca* (Moench) Voss) et le pin gris (*Pinus banksiana* Lamb), ainsi que les espèces introduites de mélèze (*Larix spp.*), de peuplier (*Populus spp.*) et l'épinette de Norvège (*Picea abies* (L) Karst.) sont actuellement utilisées dans les reboisements. Ce grand nombre d'espèces contribue à satisfaire les besoins diversifiés, actuels ou anticipés, des industriels forestiers et à améliorer la productivité de nos plantations.

L'amélioration génétique à la Direction de la recherche forestière

L'amélioration génétique traditionnelle est essentiellement un processus récurrent de sélection, de testage et de croisements qui vise à augmenter la fréquence des gènes liés aux caractères souhaités dans les populations améliorées. Par ce processus, l'améliorateur acquiert, entre autres, des connaissances sur la variabilité et l'hérédité des caractères recherchés pour prédire les gains génétiques, faire des recommandations d'éclaircies de vergers à graines et produire la génération suivante. Des travaux de recherche sont actuellement en cours afin d'intégrer les marqueurs moléculaires associés à la croissance et à la qualité du bois dans le processus de sélection.

Les programmes réalisés par la DRF visent principalement l'acquisition de connaissances et la sélection d'individus aux caractéristiques héréditaires désirables pour la production de matière ligneuse de qualité. Ils fournissent également des informations pour gérer les populations de production de semences, définir leurs territoires d'utilisation et assurer la conservation (*ex situ*) du matériel biologique. Nos travaux couvrent l'ensemble de la forêt commerciale

québécoise. L'utilisation de plants améliorés pour le reboisement représente un moyen avantageux pour accroître la productivité forestière québécoise. Environ 75 % des plants utilisés actuellement pour le reboisement sont issus des programmes d'amélioration génétique.



Production de plants de reboisement à la pépinière de Normandin.

Les travaux réalisés au Saguenay – Lac-Saint-Jean

Les efforts consentis dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean sont justifiés par l'importance économique de la forêt et la variété des écosystèmes rencontrés. Au départ, les travaux ont surtout porté sur l'épinette noire et le pin gris, les principales espèces exploitées commercialement, ainsi que sur l'épinette blanche. Des variétés adaptées aux principaux écosystèmes du nord-est québécois y ont été produites et nous en sommes maintenant à développer une deuxième génération plus productive. D'autre part, des travaux d'amélioration génétique sur

des espèces à plus haut rendement ont aussi été poursuivis, à la fois dans le but de sélectionner des provenances démontrant une bonne adaptation aux conditions pédoclimatiques régionales, et pour créer des variétés plus performantes. L'arboretum de Dablon (près de St-François-de-Sales) comprend à lui seul une collection de 23 espèces (63 000 arbres) dont 17 sont exotiques.

Épinette noire et pin gris

Compte tenu de l'importance de la forêt boréale au Québec, les travaux sur l'amélioration de l'épinette noire et du pin gris ont pris une place prépondérante lorsque les programmes d'amélioration génétique ont débuté. Seulement au Saguenay – Lac-Saint-Jean, une dizaine de tests de descendances des deux espèces, totalisant plus de 120 000 arbres, ont été établis entre 1985 et 1988. Les résultats obtenus à l'aide de ces tests ont permis de faire l'éclaircie génétique de cinq vergers à graines qui produisent maintenant des variétés plus performantes, tant du point de vue de la croissance que de la qualité de la tige, pour le reboisement du nord-est du Québec.

Pour ces deux espèces, des arbres d'élites ont également été sélectionnés dans les tests de descendances de première génération de la région,



Vergers clonaux d'épinette noire de Normandin pour le domaine 6 (nord du Québec), incluant des arbres d'élites sélectionnés au Saguenay – Lac-Saint-Jean, à Chibougamau, et en Abitibi.

ainsi que dans d'autres tests faisant partie de la même zone d'amélioration, afin d'établir des vergers clonaux qui produiront bientôt des semences de très haute qualité. Nous en sommes maintenant à développer une 2^e génération d'arbres qui sera supérieure à la précédente.

Épinette blanche

Les premiers travaux en amélioration génétique de l'épinette blanche dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean ont débuté en 1979; un essai de provenances-descendances faisant partie d'une série de huit tests répartis dans la province est établi à l'arboretum de Dablon. Neuf ans plus tard, un verger à graines composé de 202 arbres sélectionnés a été mis en place dans le canton de Falardeau afin de produire des semences améliorées pour le reboisement. Ce n'est toutefois qu'à partir de 1998 qu'on déploya des efforts d'amélioration plus intensifs sur l'espèce dans la région; près de 16 000 arbres furent alors plantés dans huit dispositifs expérimentaux, à la fois pour éclaircir les vergers à graines et pour développer la 2^e génération d'amélioration. Dès l'an prochain (2006), un nouveau test issu de croisements dirigés entre les arbres sélectionnés sera planté à l'ouest du lac Saint-Jean. Pour répondre aux besoins exprimés par les industriels, un nouveau verger à graines sera aussi installé afin de fournir les semences améliorées pour la partie nord du territoire (Domaine 6 : pessière à mousses).

Mélèzes

L'arboretum de Dablon comporte d'importantes collections de mélèze laricin et de mélèzes exotiques qui ont servi à développer des variétés améliorées. En ce qui concerne le mélèze laricin, une sélection génétique a été effectuée parmi les 459 descendances

et 31 provenances pour éclaircir le test qui constitue maintenant un verger à graines pour la région. Une centaine d'arbres ont aussi été sélectionnés pour amorcer l'établissement d'un verger à graines de 2^e génération d'amélioration.

Des arbres ont été sélectionnés parmi les meilleures provenances de mélèzes d'Europe, du Japon et de la Sibérie, pour réaliser des croisements dirigés afin d'obtenir des hybrides plus performants ou mieux adaptés aux conditions écologiques de la forêt boréale. Des tests de rusticité ont été établis récemment jusqu'au nord du lac Mistassini. Au total, huit tests de provenances et de descendances, ont été établis dans la région.



Croisements dirigés entre provenances de mélèzes exotiques à l'arboretum de Dablon.

Épinette de Norvège

L'arboretum de Dablon comporte aussi un test de provenances d'épinette de Norvège. Ce dernier a été éclairci et constitue maintenant une source de semences améliorées pour la région. Un test de descendances issues de croisements dirigés sera établi en 2006 dans le secteur du lac Bouchette, en vue d'effectuer des sélections pour réaliser une deuxième génération adaptées aux conditions régionales. Soulignons que trois tests de rusticité ont été établis en 1998 afin d'identifier des variétés adaptées à la sapinière à bouleau blanc et à la pessière.

Peupliers

D'importants travaux en populiculture ont aussi été réalisés depuis 1987 au Saguenay – Lac-Saint-Jean. Quarante dispositifs, principalement des tests clonaux et des tests de descendances, ont été établis dans le but de sélectionner les clones les mieux adaptés aux conditions pédoclimatiques régionales. Des nouveaux tests comprenant 800 clones prometteurs, issus d'une hybridation réalisée en 1996, ont été établis en 2005 dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc. Certains constitueront une nouvelle population bien adaptée et à très haut rendement.



Plantation parentale de Populus maximowiczii de Shipshaw à 12 ans.

L'emploi de semences génétiquement améliorées, dans des conditions pédoclimatiques où leur potentiel peut s'exprimer pleinement, constitue un des éléments importants qui contribuent à augmenter le rendement des forêts. Cette assertion est d'autant plus vraie au Saguenay – Lac-Saint-Jean, où la DRF a poursuivi l'amélioration d'un grand nombre d'espèces, permettant ainsi de tirer profit au maximum des terrains à reboiser de moyenne à bonne qualité.



La recherche sur la production de semences et de plants au Québec : l'innovation au service du reboisement

Fabienne Colas, Denise Tousignant, Mohammed S. Lamhamedi et Jean Gagnon



Durant les dernières années, le Québec a produit, en moyenne, 130 millions de plants forestiers annuellement, tant dans le réseau public (6 pépinières) que privé (20 pépinières). Au Québec, la production de plants résineux se fait à 97 % à partir de graines, le reste étant produit à partir de boutures. Les graines proviennent en majorité de sources améliorées génétiquement, principalement des vergers à graines. Ces sources permettent la production de plants de haute qualité et à haut rendement.

Depuis plus de 30 ans, les besoins en matière de reboisement sont de plus en plus variés et nécessitent des produits adaptés à des conditions sans cesse en évolution. Les projets de recherche ont permis de résoudre divers problèmes reliés à la production de semences de qualité et à la culture de plants forestiers en pépinière, de manière à améliorer constamment la qualité des différents types de plants, tout en respectant les nouvelles normes environnementales. Les travaux de recherche de l'équipe de reproduction et de production de plants, de portée provinciale, ont permis d'améliorer la qualité des différents types de produits (semences de haute qualité, boutures, plants en récipients et à racines nues, essences à croissance rapide, etc.) par l'intégration des acquis scientifiques de façon continue à l'échelle opérationnelle.

Les travaux en cours sont répartis en deux principaux thèmes qui sont intimement liés et menés en étroite collaboration avec la Direction de la production de semences et des plants du MRNF, ainsi qu'avec certaines pépinières privées.

1. Production de semences et germination des graines

- Augmentation de la production de graines dans les vergers à graines de 2^e génération :
 - Augmentation du rendement en graines par cônes par l'intégration d'une méthode de pollinisation de masse (pistolet électrostatique) (Figure 1).
 - Augmentation de la fructification dans les vergers par le recours à l'induction florale (fertilisation, injection d'hormones).
 - Détermination de scénarios de gestion des cimes dans les vergers à graines afin de faciliter la récolte des cônes et les travaux d'aménagement.

- Amélioration de la germination des graines de résineux en pépinière :
 - Développement d'un traitement de stratification pour les graines des essences dormantes.
 - Détermination de facteurs d'ensemencement adaptés aux essences résineuses afin d'optimiser l'utilisation des semences améliorées pour la production de plants en pépinière.



Figure 1. Augmentation du rendement en graines par cônes par l'intégration d'une méthode de pollinisation de masse (pistolet électrostatique).

2. Production de plants

- Élaboration des seuils de tolérance au gel des principales essences forestières selon les régions écologiques du Québec.
- Protection des eaux souterraines :
 - Étude du lessivage des éléments minéraux en pépinière en relation avec la préservation de la qualité des eaux souterraines.
 - Élaboration de logiciels de simulation de la décomposition de la matière organique.
- Production de plants résineux et feuillus à partir de boutures et de semences :
 - Optimisation des méthodes de culture des pieds-mères, afin de maximiser leur rendement et la qualité des boutures prélevées.
 - Optimisation de l'enracinement des boutures, par le contrôle des conditions environnementales dans les enceintes d'enracinement.
 - Caractérisation des particularités du développement et de l'architecture du système racinaire des plants issus de boutures et de semences.
 - Développement de régies de culture propres aux plants issus de semences et de boutures, en fonction des normes de qualité des plants de fortes dimensions (Figure 2).
- Intégration de l'embryogenèse somatique à la production de plants et de pieds-mères, ainsi qu'à

l'aménagement des vergers à graines.

- Validation des scénarios de production de plants selon les effets observés sur la croissance des plants en plantation (Figure 3).

Dans le cadre de cette présentation, nous dresserons le portrait des travaux de recherche en cours, tant dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean qu'ailleurs au Québec. Nous illustrerons, par quelques exemples, comment ces travaux contribuent à l'amélioration des connaissances et des pratiques en pépinière forestière.



Figure 2. Développement de régies de culture propres aux plants issus de semences et de boutures, en fonction des normes de qualité des plants de fortes dimensions.



Figure 3. Validation des scénarios de production de plants selon les effets observés sur la croissance des plants en plantation.

Gestion de la végétation de compétition en plantation d'épinettes : impact des feuillus après éclaircie précommerciale et effet de l'intensité des traitements sur la diversité floristique

Guillaume Cyr



Problématique

Les peuplements en régénération résineuse sont généralement envahis, dès les premières années, par un lot d'espèces végétales qui compétitionnent pour les ressources. La maîtrise de cette végétation par des traitements appropriés est nécessaire afin que ces peuplements atteignent l'objectif de rendement résineux qu'on leur a fixé. En plantation, où la proportion de surface occupée (le *stocking*) par les résineux est élevée, aucune tige feuillue ne devrait être tolérée au moment de l'éclaircie précommerciale si l'objectif est de maximiser le volume résineux (CCSMAF 2002). Cependant, pour des motifs de biodiversité ou de fertilité à long terme de la station ou tout simplement pour compenser un faible *stocking* résineux (suite à de la mortalité chez les plants), on suggère souvent de conserver un certain nombre de tiges d'arbres feuillus lors de l'éclaircie précommerciale (EPC). Les résultats des travaux de recherche en cours au Québec et l'état actuel des connaissances ne nous permettent pas de préciser le nombre de tiges feuillues qu'il est possible de tolérer sans diminuer considérablement la production de l'espèce résineuse. Pour tenir compte adéquatement des effets compétitifs, il importe de considérer premièrement, que ce nombre est subordonné à la proximité de l'individu feuillu par rapport aux individus résineux. Il faut aussi considérer que la distance induisant un effet compétitif augmente dans le temps et que la distance minimale induisant la compétition varie selon l'espèce feuillue en cause (CCSMAF 2002). Certains résultats nous permettent d'avancer qu'il faut distinguer l'effet de la présence de peuplier faux-tremble de celle des autres espèces feuillues (Labbé et Bégin 2002). L'impact des traitements de maîtrise de la végétation de compétition sur la diversité floristique en plantation d'épinettes mérite aussi d'être mieux connu.

Objectifs

1. Déterminer l'influence individuelle, sur la croissance radiale de l'épinette noire en plantation, de tiges de feuillus conservées lors de l'EPC réalisée cinq ans plus tôt. Plus spécifiquement :

- Établir une relation entre l'accroissement radial de l'épinette et deux variables pour lesquelles on suppose des relations complémentaires : la distance du feuillu compétiteur et sa hauteur par rapport à l'épinette.
- Déterminer si un indice calculé de la compétition exercée par un feuillu peut bonifier un modèle de régression pour prédire l'accroissement radial quinquennal de l'épinette.

2. Quantifier la diversité floristique et la richesse spécifique des strates basse, intermédiaire et haute de plantations d'épinette noire selon la proportion du couvert occupée par des feuillus.

Méthodologie

Objectif N°1

Afin d'étudier l'effet des tiges de feuillus conservées lors de l'EPC sur la croissance des épinettes, une étude prospective de voisinage a débuté en 2000. L'étude se déroule dans six plantations d'épinettes qui ont été choisies préalablement à l'exécution de l'EPC. L'EPC a alors été réalisé après que le choix des tiges

feuillues à conserver eut été effectué. Cette façon de procéder nous assure d'une bonne représentativité de toutes les conditions à l'étude. Quatre espèces feuillues sont considérées : le bouleau à papier (*Betula papyrifera*), le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*), l'érable rouge (*Acer rubrum*) et le cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*). Les différentes parcelles déterminées par une tige feuillue en leur centre sont mesurées aux deux ans. Les variables mesurées sont la hauteur totale et le dhp du feuillu, la hauteur totale et le dhp des épinettes se trouvant à l'intérieur d'un rayon de 5 m du feuillu. Les paramètres de voisinage suivants sont mesurés aussi : la distance tronc à tronc entre chacune des épinettes et le feuillu, la distance du tronc de l'épinette à la projection de la cime du feuillu et l'orientation cardinale des épinettes par rapport au feuillu. Il sera ainsi possible de déterminer l'espacement entre les épinettes sous étude. Nous possédons à l'heure actuelle des données de quatre ans après EPC; des résultats sont attendus dans un proche avenir. La force d'une telle approche réside dans le contrôle rigoureux des conditions expérimentales.

En parallèle à l'étude prospective et dans le but d'obtenir des réponses plus rapidement, une étude rétrospective de voisinage a été effectuée. Celle-ci a été réalisée dans deux plantations d'épinette noire âgées de 19 ans. Une EPC a été effectuée cinq ans auparavant où quelques feuillus ont été conservés en mélange aux épinettes. Ces plantations, de même IQS, sont localisées dans le sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est. Cent cinquante-neuf groupes de deux arbres comprenant une épinette et soit un bouleau à papier ou un peuplier faux tremble distant d'au plus 5 m ont été sélectionnés. La croissance radiale des épinettes pendant les cinq années suivant l'EPC a été calculée en faisant la moyenne de trois mesures obtenues à partir de trois carottes prélevées

à position fixe au niveau du dhp. L'accroissement radial de 44 épinettes témoins (sans influence de feuillu) a été calculé de la même façon. Divers paramètres dendrométriques et de voisinage ont été mesurés tels que la hauteur et le dhp des arbres et la distance séparant l'épinette de son feuillu. Dans un premier temps, les analyses statistiques ont consisté à développer des modèles de régression pouvant expliquer l'accroissement radial des épinettes en fonction des autres variables, notamment la distance du feuillu compétiteur et la hauteur de ce dernier relativement à l'épinette. Dans un deuxième temps, des indices de la compétition exercée par le feuillu ont été calculés et ont été testés dans des modèles de régression dans le but d'obtenir un modèle satisfaisant en regard du pouvoir explicatif de l'accroissement radial des épinettes.

Objectif N° 2

Afin de mieux connaître l'impact des traitements de maîtrise de la végétation de compétition sur la diversité floristique en plantation d'épinettes, une étude a été réalisée dans des plantations d'épinette noire âgées de 16 et 17 ans. Ces plantations sont localisées dans le sous-domaine de la sapinière à bouleau jaune de l'est. Différentes modalités expérimentales de dégagement et d'éclaircie précommerciale ont été appliquées; nous retrouvons quatre combinaisons de traitements :

- 1) dégagé et éclairci;
- 2) dégagé et non éclairci;
- 3) non dégagé et éclairci;
- 4) non dégagé et non éclairci.

L'EPC a été réalisée deux ou trois ans avant la prise des mesures. Ces différentes combinaisons de traitements ont façonné un gradient de représentativité de la composante feuillue dans les peuplements. Au

moyen d'un inventaire floristique, la diversité des plantes vasculaires des strates basse, moyenne et haute a été mise en relation avec la représentativité des feuillus dans le couvert arboré.

Résultats et discussion

Objectif N°1

Les résultats obtenus de l'étude rétrospective ont permis de mettre en lumière les limites d'une telle approche. La densité de la compétition qui prévalait dans l'entourage des épinettes mesurées, au moment du traitement d'EPC, de même que la mortalité ou les bris de cime chez les feuillus qui ont pu avoir cours entre le moment du traitement et la prise des mesures ne sont pas connus. Ce manque de contrôle des conditions expérimentales s'est répercuté en des pouvoirs explicatifs limités des différents modèles et, dans certains cas, en des problèmes de multicollinéarité (relation très forte) entre les variables explicatives. Cette dernière situation a gêné la construction d'une équation de régression valide de l'accroissement radial de l'épinette en fonction de la distance du feuillu compétiteur et de sa hauteur par rapport à l'épinette.

Les meilleurs modèles de régression, qui utilisent un indice de compétition dans leurs variables explicatives, permettent d'expliquer jusqu'à 48 % de la variabilité de l'accroissement radial observé des épinettes. Les modèles suivants sont valides dans le cas d'une compétition exercée par un peuplier :

Équation	R ² ajusté	RMSE
$\hat{Y} = 1,374 + 0,060X_1 - 12,869X_2 - 0,187X_4$	0,48	0,257
$\hat{Y} = 1,205 + 0,074X_1 - 8,721X_3 - 0,195X_4$	0,46	0,264

Où :

\hat{Y} = accroissement radial quinquennal de l'épinette prédit (cm)

X_1 = le dhp de l'épinette cinq ans après EPC (cm)

X_2 = l'indice de compétition décrit par Daniels (1976) [(Dhp peuplier / Dhp épinette) X 1/distance séparant les deux arbres (cm)]

X_3 = l'indice de compétition [(Hauteur peuplier / Hauteur épinette) X 1/distance séparant les deux arbres (cm)]

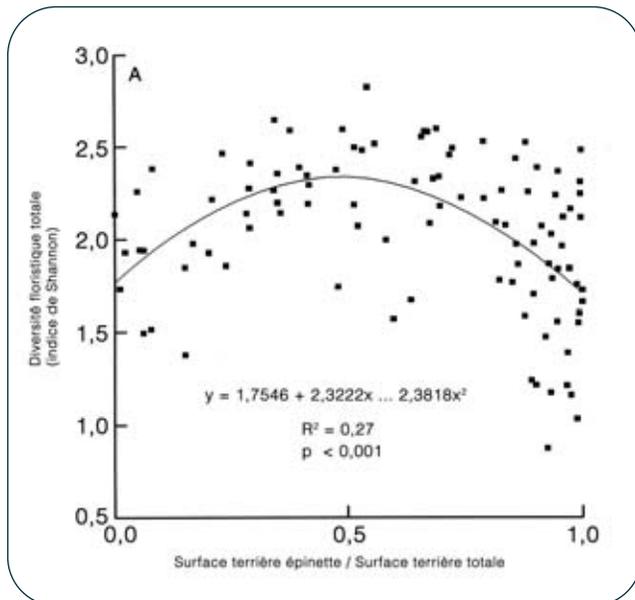
X_4 = variable binomiale prenant la valeur de 1 si un contact est noté entre les cimes et la valeur de 0 si aucun contact n'est noté entre les cimes.

Les équations élaborées avec le bouleau comme feuillu compétiteur ont des coefficients de détermination (R²) plus faibles que celles obtenues avec le peuplier. Cela nous porte à penser que l'effet compétitif de ces deux feuillus envers les épinettes n'est pas le même et qu'il pourrait être plus fort pour le peuplier. Labbé et Bégin (2002) avait d'ailleurs constaté, à cet égard, une différence du comportement du peuplier par rapport à d'autres espèces feuillues. Les résultats attendus de l'étude prospective devraient permettre de répondre de façon plus précise à ce questionnement.

Objectif N°2

Les résultats de l'étude de diversité floristique (Jobidon *et al.* 2004) apportent un nouvel éclairage sur l'effet des traitements de maîtrise de la végétation de compétition sur la diversité floristique en plantation d'épinettes.

Que le couvert soit composé essentiellement d'espèces feuillues (aucun traitement de végétation) ou de l'espèce plantée (avec traitements de végétation), la diversité floristique totale est semblable. Toutefois, dans le premier cas, la contribution de la strate arborée à la diversité floristique totale est plus



Diversité floristique totale (trois strates confondues) calculée au moyen de l'indice de Shannon en fonction de la proportion du couvert occupée par l'épinette.

grande que dans le second, pour lequel la contribution de la strate basse est supérieure. Dans les plantations étudiées, qui sont âgées de 18 ans, la gestion de la végétation (traitements de dégagement et d'EPC) en vue d'optimiser la production de l'espèce plantée n'apparaît pas se faire au détriment d'une diversité ou d'une composition floristique. Par contre, un manque de traitements entraîne le passage d'une production résineuse à une production de feuillus de lumière. D'autres études seraient nécessaires pour préciser l'évolution à plus long terme de la diversité floristique des diverses strates dans des plantations soumises à différents régimes d'interventions.

Références

COMITÉ CONSULTATIF SCIENTIFIQUE DU MANUEL D'AMÉNAGEMENT FORESTIER (CCSMF), 2002. *Le traitement d'éclaircie précommerciale pour le groupe de production prioritaire SEPM*. Avis scientifique. Ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Août 2002. 126 p.

DANIELS, R.F., 1976. *Simple competition indices and their correlation with annual loblolly pine tree growth*. For. Sci. 22 : 454-456.

JOBIDON, R., G. CYR et N. THIFFAULT, 2004. *Plant species diversity and composition along an experimental gradient of northern hardwood abundance in Picea mariana plantations*. For. Ecol. & Manage. 198 : 209-221.

LABBÉ, F. et J. BÉGIN, 2002. *Éclaircie précommerciale : Effet de l'espacement et de l'importance des feuillus intolérants sur le rendement des MFi et la compétition feuillus-résineux*. Conférence présentée lors du Congrès 2002 de l'ACFAS à Québec.

Impact combiné des précipitations acides, de l'exportation de matière ligneuse et des perturbations sur le maintien à long terme de la productivité en forêt boréale¹

Louis Duchesne et Daniel Houle



Introduction

Au Canada, la zone boréale couvre approximativement 55 % du territoire et représente 60 % de l'économie forestière (Burton *et al.* 2003). Malgré son importance écologique et économique, il existe peu de connaissance sur les processus qui régissent le cycle des nutriments et la croissance forestière comparativement aux écosystèmes de la forêt tempérée. De telles connaissances sont essentielles afin, d'une part, d'évaluer la durabilité de l'aménagement forestier et d'autre part, de comprendre la réponse des écosystèmes forestiers relativement aux perturbations d'origine naturelle et anthropique tels le feu, la défoliation par les insectes, les changements climatiques ou la pollution atmosphérique.

Parmi ces perturbations, les précipitations acides ont fait l'objet de nombreuses études. Ces précipitations appauvrissent les sols en favorisant le lessivage des cations basiques (K, Ca et Mg) nécessaires à la croissance des arbres (Figure 1). Ce phénomène affecte considérablement les forêts décidues ou mixtes du nord-est de l'Amérique du Nord (Houle *et al.* 1997; Likens *et al.* 1996; Watmough et Dillon 2003; Ouimet *et al.* 2001; Duchesne *et al.* 2002).

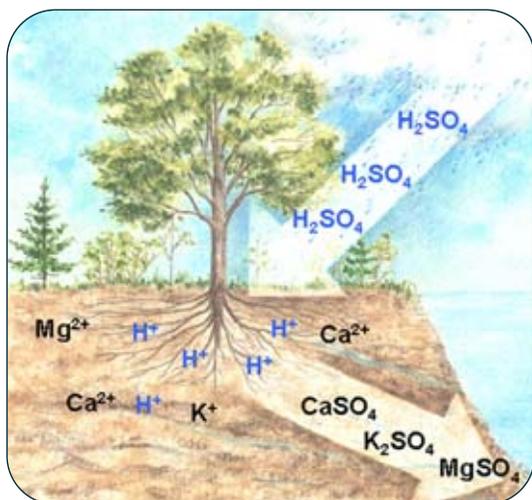


Figure 1. Effet des précipitations acides sur le contenu en cations basiques des sols. Lorsque l'eau de pluie pénètre le sol, les ions H^+ qu'elle contient cherchent à déplacer les cations basiques disponibles. Les cations ainsi délogés sont pris en charge par le SO_4 et sont exportés vers les ruisseaux. Ce processus conduit à une acidification du sol et à une diminution des cations disponibles pour la croissance.

La forêt boréale reçoit moins de polluants atmosphériques que celles tempérées mais, en revanche, elle croit souvent sur des sols minces et comparativement moins riches en éléments basiques. De plus, sa productivité repose sur un recyclage serré des éléments nutritifs, mais qui sont susceptibles d'être lessivés (particulièrement le K) après des perturbations comme les feux (Lamontagne *et al.* 2000) ou les épidémies d'insectes (Hunter 2001). Les pertes de nutriments causées par les pluies acides et la récolte forestière augmentent la possibilité que la fertilité des sols et la productivité forestière soient affectées dans un avenir incertain. L'objectif de cette étude était de quantifier le cycle des cations basiques pour un écosystème boréal. Nous avons testé l'hypothèse que la fertilité des sols est affectée par les précipitations acides et la récolte forestière.

¹ Ce texte est une synthèse d'un article scientifique intitulé : « Base cation cycling in a pristine watershed of the Canadian boreal forest par L. Duchesne et D. Houle » récemment accepté par la revue scientifique *Biogeochemistry*.

Matériel et méthodes

Le bassin du Lac Tirasse est situé dans la réserve faunique Ashuapmushuan (49°12'45" N 73°39'00" W), environ 120 km au nord de Saint-Félicien. Le bassin occupe 56 hectares et est couvert par la pessière à pin gris. Cette station est monitorée depuis 1997. Les principaux flux de nutriments via les précipitations, les pluvio-lessivats, la percolation dans le sol et à l'exutoire ont été mesurés hebdomadairement. Le taux d'altération minérale ainsi que les cations basiques contenus dans le sol et la végétation ont été quantifiés. Ceci nous a permis de calculer le bilan en éléments nutritifs pour la zone des racines suivant un scénario de récolte par arbres entiers ou par troncs.

Résultats et discussion

Au cours de la période d'étude, la précipitation incidente présentait un pH moyen de 4,6 alors que la solution de sol (50 cm) et l'eau de l'exutoire présentaient un pH moyen de 5,9 à 6,6, soit jusqu'à 100 fois moins acide (Figure 2). Cela indique que les cations basiques de l'écosystème tamponnent l'acidité des précipitations. Les apports atmosphériques de cations basiques étaient de 0,4, 1,2 et 0,2 kg ha⁻¹ an⁻¹ pour le K, le Ca et le Mg, respectivement (Tableau 1). L'altération, la seule autre source de cations pour l'écosystème, a été estimée à 1,0, 8,5 et 2,7 kg ha⁻¹ an⁻¹

pour ces mêmes éléments. Les pertes de cations par lessivage sous la zone des racines ont été estimées à 2,3, 2,8, et 1,0 kg ha⁻¹ an⁻¹ pour le K, le Ca et le Mg, respectivement, alors que l'immobilisation dans la biomasse des arbres a été évaluée à 1,4, 4,0, et 0,5 kg ha⁻¹ an⁻¹ pour les mêmes éléments. Lorsque l'on additionne les sources (dépôts atmosphériques + altération) et les pertes (lessivage + immobilisation) pour la zone des racines, le bilan net pour le réservoir échangeable est évalué à -2,3, 2,9 et 1,4 pour le K, le Ca et le Mg, respectivement. Ces valeurs indiquent une perte nette annuelle de 4,2 % du réservoir échangeable de K estimé à 55,2 ± 9,1 kg ha⁻¹. Ce

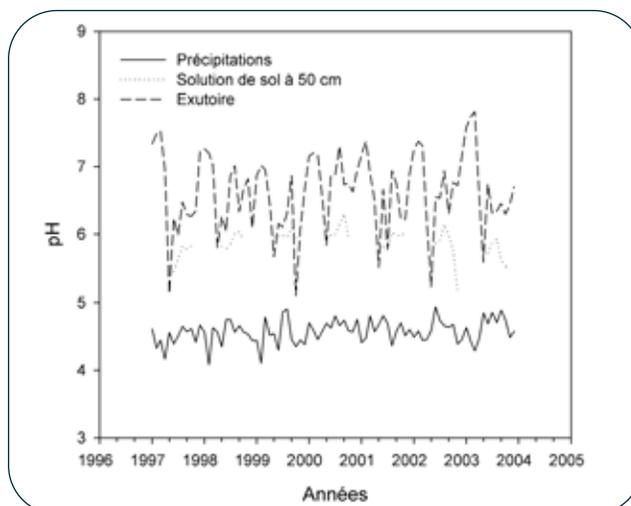


Figure 2. pH moyen des précipitations, de la solution de sol et de l'eau à l'exutoire.

Tableau 1. Réservoirs (kg ha⁻¹) et flux de cations basiques (kg ha⁻¹an⁻¹)

	Cations basiques		
	K	Ca	Mg
Réservoir échangeable de l'humus	20,7 ± 2,25	72,9 ± 25,1	11,7 ± 3,7
Réservoir échangeable du sol	34,5 ± 8,8	56,8 ± 10,6	9,3 ± 1,2
Flux annuels (kg ha⁻¹)			
Altération	1,0 ± 0,1	8,5 ± 2,4	2,7 ± 0,2
Dépôts	0,4 ± 0,01	1,2 ± 0,01	0,2 ± 0,001
Lessivage sous la zone des racines	2,3 ± 0,5	2,8 ± 0,1	1,0 ± 0,06
Exportations (récolte des troncs)	0,6	2,7	0,2
Exportations (récolte par arbres entiers)	1,4	4,0	0,5
Bilan annuel net ¹ (récolte des troncs)	-1,5 ± 0,5	4,2 ± 2,4	1,7 ± 0,2
Bilan annuel net (récolte par arbres entiers)	-2,3 ± 0,5	2,9 ± 2,4	1,4 ± 0,2

Note ¹(Dépositions + Altération)-(Lessivage + Exportations).

scénario assume que la fraction immobilisée sera exportée lors de la récolte par arbres entiers. À l'inverse les réservoirs échangeables de Ca ($129,7 \pm 27,2 \text{ kg ha}^{-1}$) et de Mg ($21 \pm 3,9 \text{ kg ha}^{-1}$) s'enrichissent de 2,2 et 6,6 % par année. Ces résultats suggèrent que des carences en K pourraient survenir après quelques révolutions.

Le scénario présenté ici considère une récolte par arbres entiers, le mode d'exploitation le plus répandu au Québec (~ 60 %) (MRNFP 2003). La récolte des troncs (bois tronçonnés ou troncs entiers), où le feuillage et les branches sont laissés sur le parterre de coupe est aussi une pratique courante. Ce type d'exploitation permettrait de réduire l'exportation lors de la récolte de 54 %, 33 % et 55 % pour le K, le Ca et le Mg, respectivement. Malgré cela, les pertes en K seraient de $-1,5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, soit une perte annuelle de 2,7 % du réservoir échangeable. Ainsi, des pertes variant du simple au double sont prévisibles selon le procédé de récolte choisi.

Cette étude est la première à rapporter des pertes en K alors que le Ca et le Mg sont généralement identifiés comme éléments déficitaires (Watmough et al 2005). Ces résultats doivent être considérés dans le contexte de la dynamique de la forêt boréale qui est principalement affectée par les feux, les épidémies d'insectes, et évidemment, la récolte. Après les trois années qui suivent l'une ou l'autre de ces perturbations, on observe des pertes en K par lessivage de trois à huit fois supérieures aux sites non perturbés. Les divers types de perturbation présentent toutefois des récurrences variables allant d'environ 30 (épidémies d'insectes) à 200 ans ou plus (feux). On s'attend donc à ce que les pertes de K par lessivage causées par ces perturbations soient inversement proportionnelles à leur récurrence. En ajoutant à ces considérations, les pertes causées par l'exportation de

la matière ligneuse et celles dues aux précipitations acides, il est possible de relativiser ces types de perturbations. Dans l'ordre, les facteurs contribuant le plus à appauvrir les sols en forêt boréale sont la récolte forestière, les précipitations acides, les épidémies d'insectes et finalement, les incendies de forêt.

Conclusion

Bien que la forêt boréale soit, depuis des millénaires, un écosystème durable en terme de nutrition en K, nos résultats suggèrent que l'effet combiné de la récolte forestière et de l'acidité des précipitations ait augmenté les pertes en K au dessus des quantités apportées par les précipitations et l'altération des minéraux du sol. Il appert que certains sites pauvres du bouclier ne pourront être exploités de manière durable et que des carences nutritionnelles en K risquent de survenir d'ici deux à trois révolutions, à l'exemple de la station à l'étude. Pour cette raison nous suggérons la récolte par troncs pour ce type d'écosystème. Il est aussi important de se doter d'outils diagnostiques nous permettant d'identifier les régions les plus à risques, et ce à une échelle spatiale relativement grande.

Références

- BURTON, P.J., C. MESSIER, G.F. WEETMANN, E.E. PREPAS, W.L. ADAMOWICS et R. TITTLER, 2003. *The current state of boreal forestry and the drive for change*. In BURTON, P. J., C. MESSIER, D. W. SMITH et W. L. ADAMOWICS (Eds) *Towards Sustainable Management of the Boreal Forest*. NRC No 544463. NRC Research Press, Ottawa, Ontario. 1039 p., pp. 1-40.
- HOULE, D., R. PAQUIN, C. CAMIRÉ, R. OUIMET et L. DUCHESNE, 1997. *Response of the Lake Clair Watershed (Duchesnay, Québec) to changes in precipitation chemistry (1988-1994)*. Can. J. For. Res. 27 : 1813-1821.

- HUNTER, M.D., 2001. *Insect population dynamics meets ecosystem ecology: effects of herbivory on soil nutrient dynamics*. Agric. For. Entomol. 3 : 77-84.
- LAMONTAGNE, S., R. CARIGNAN, P. DARCY, Y.T. PRAIRIE et D. PARÉ, 2000. *Element export in runoff from eastern Canadian boreal shield drainage basins following forest harvesting and wild fires*, Can. J. Fish. Aquat. Sci. 57 (Suppl. 2) : 118-128.
- LIKENS, G.E., C.T. DRISCOLL et D.C. BUSO, 1996. *Long-term effects of acid rain response and recovery of a forest ecosystem*. Science 272 : 244-246.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES, DE LA FAUNE ET DES PARCS, 2003. *Ressources et industries forestières Portrait statistique 2003*. Direction du développement de l'industrie des produits forestiers. ISSN 1703-2938.
- OUIMET, R., L. DUCHESNE, D. HOULE et P.A. ARP, 2001. *Critical loads and exceedances of acid deposition and associated forest growth in the northern hardwood and boreal coniferous forests in Québec, Canada*. Water Air Soil Pollut. Focus 1 : 119-134.
- DUCHESNE, L., R. OUIMET et D. HOULE, 2002. *Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrients*. J. Env. Qual. 31: 1676-1683.
- WATMOUGH, S.A. et P.J. DILLON, 2003. *Calcium losses from a forested catchment in south central Ontario, Canada*. Environ. Sci. Technol. 37 : 3085-3089.
- WATMOUGH, S.A., J. AHERNE, C. ALEWELL, P. ARP, S. BAILEY, T. CLAIR, P. DILLON, L. DUCHESNE, C. EIMERS, I. FERNANDEZ, N. FOSTER, T. LARSSSEN, E. MILLER, M. MITCHELL et S. PAGE, 2005. *Sulphate, nitrogen and base cations budgets at 21 forested catchments in Canada, the United States and Europe*. Env. Monit. Assess. 109 : 1-36.
- WEBB, J.R., B.J. COSBY, F.A. DEVINEY, K.N. ESHLEMANN, et J.N. GALLOWAY (1995) *Change in the acid-base status of an Appalachian catchment following forest defoliation by the gypsy moth*. Water Air Soil Pollut. 85 : 535-540.

La recherche en Écosystèmes et Environnement au sein de la DRF du MRNF : des résultats d'intérêt dans un contexte d'aménagement durable des forêts

Catherine Périé



Depuis près d'une vingtaine d'années, l'équipe Écosystème et Environnement de la DRF du MRNF, actuellement composée de six chercheurs et de six techniciens, étudie la réaction des écosystèmes forestiers aux perturbations environnementales, qu'elles soient d'origine anthropique (pollution atmosphérique, aménagement forestier) ou naturelle (épidémies d'insectes, verglas, feux) et propose des solutions de mitigation aux impacts observés.

Cette présentation traitera plus particulièrement de l'un des projets de l'équipe qui examine l'impact de l'éclaircie précommerciale sur la diversité végétale et la fertilité des sols. Cependant, quelques résultats issus d'autres projets, dont la toile de fond demeure l'aménagement forestier durable, seront également présentés, afin de donner un aperçu de l'éventail des problématiques poursuivies par les membres de l'équipe.



L'éclaircie précommerciale compromet-elle le maintien de la diversité végétale et de la fertilité des peuplements?

Contexte de l'étude

L'éclaircie précommerciale (EPC) est le deuxième traitement en importance (plus de 100 000 ha traités annuellement) au Québec, après la coupe avec protection de la régénération et des sols. C'est un traitement d'éducation des jeunes peuplements denses qui vise à diminuer la compétition intra et interspécifique, afin de favoriser la croissance en diamètre des arbres résiduels. Près de 95 % des superficies traitées se situent en forêt résineuse et 80 % des EPC sont effectuées sur des terres publiques.

Le ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) est le gestionnaire des forêts publiques et du programme de mise en valeur de ces forêts. Ce ministère souscrit aux principes et valeurs associés au développement durable. C'est ainsi que les six critères du Conseil canadien des ministres des forêts ont été enchâssés dans les dispositions préliminaires de la Loi sur les forêts comme objectifs d'aménagement forestier durable. La conservation de la diversité biologique et le maintien et l'amélioration de l'état et de la productivité des écosystèmes forestiers sont deux des six critères de l'aménagement forestier durable. Il est donc très important de mieux connaître l'effet des traitements sylvicoles, plus particulièrement l'EPC, sur la diversité végétale et sur la fertilité des sols forestiers afin de s'assurer que ce traitement, tel qu'il est actuellement pratiqué, se conforme bien aux principes d'un aménagement forestier durable, qu'il « ...répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (Rapport Brundtland de la Commission des Nations Unies sur l'environnement et le développement, 1987).

L'EPC modifie la dynamique d'évolution de la diversité végétale. En abaissant la densité du peuplement et en contrôlant la composition du couvert arboré, on favorise le recrutement ou le maintien d'espèces caractéristiques d'un début de succession secondaire (Alaback et Herman, 1988; Halpern et Spies, 1995; Thomas *et al.* 1999). Cependant, rares sont les études traitant de cette problématique, et aucune n'a été réalisée au Québec. En outre, les résultats obtenus, comme l'augmentation de la diversité des herbacées à la suite d'une éclaircie sont difficilement transposables, car il ont été obtenus dans des écosystèmes très différents de ceux rencontrés au Québec.

L'EPC, en apportant subitement une importante quantité de débris ligneux au sol, peut augmenter la fertilité des sols en modifiant temporairement le contenu en matière organique des sols (Sinclair, 1992). Cependant cet effet positif sur la fertilité diffère dans sa durée, selon les caractéristiques pédologiques des stations, et peut même être annulé par la remontée de la nappe phréatique dans les sites les moins bien drainés (Briggs et Limin, 1994). En outre, en modifiant la composition du couvert végétal, l'éclaircie précommerciale réalisée en forêt résineuse pourrait avoir un impact négatif sur la fertilité des sols. En effet, ce traitement supprime préférentiellement les tiges feuillues, ce qui diminue temporairement l'apport annuel d'une litière plus facilement décomposable que celle des résineux. Cependant cet effet négatif pourrait être en partie contrebalancé par la reprise végétative (rejets de souche et drageonnement) des espèces feuillues.

Il semblerait que les caractéristiques intrinsèques de chaque écosystème jouent un rôle déterminant quant à sa réponse face aux changements occasionnés par l'éclaircie. La composition après traitement est donc un facteur important à considérer. Ce projet de recherche,

réalisé dans trois différentes régions du Québec, pourra prendre en compte cet aspect et apporter un début de réponse quant à la validité de généraliser les résultats observés à l'ensemble de la province

L'initiative du MRNF pour étudier cette problématique

Au début des années 2000, le MRNF s'intéresse à connaître l'impact de différentes intensités d'EPC sur la production de bois de qualité, sur la diversité végétale et la fertilité des sols. Ce dispositif se répète dans trois régions du Québec, soit, d'est en ouest, l'Abitibi, la réserve faunique des Laurentides et la Gaspésie. Dans chacun de ces dispositifs, le nombre de tiges résiduelles varie de 1 000 tiges/hectare à 9 000 tiges/hectare.

Quelques résultats préliminaires

Les premiers résultats montrent que l'éclaircie précommerciale a peu d'impact à court terme (moins de cinq ans après traitement) sur la fertilité des sols et la diversité végétale. Cependant, la composition végétale semble avoir été affectée par l'ouverture du couvert qui résulte du traitement puisque, dans les peuplements les plus ouverts, on retrouve beaucoup d'espèces héliophiles qui sont généralement peu représentées dans les peuplements plus denses. À l'inverse, les espèces ombrophiles sont peu représentées dans les peuplements les plus éclaircis.

La suite...

De nouvelles recherches seront entreprises au cours de l'été 2006 dans des peuplements dans lesquels l'EPC aura été faite depuis plus longtemps (8, 12 et 20 ans) afin de vérifier si, à plus long terme, ce traitement continue à avoir peu d'impacts sur la diversité végétale et la fertilité des sols.

Les jeunes plantations d'épinette blanche plantées sur d'anciennes terres agricoles seront-elles des puits de carbone lors de la première période d'engagement du protocole de Kyoto?

Dans le sous-domaine écologique de la sapinière à bouleau jaune de l'est, le boisement d'anciennes friches agricoles avec de l'épinette blanche a entraîné, en 22 ans, une séquestration de 12 tonnes/hectare de carbone dans les plus vieilles plantations admissibles lors de la première période d'engagement du protocole de Kyoto (Tremblay *et al.* soumis). Ces jeunes plantations pourront cependant représenter des puits de carbone plus importants en vieillissant. Par exemple, en 50 ans, ces mêmes plantations devraient avoir séquestré environ 75 tonnes de carbone/hectare.

Effet à long terme du chaulage sur la vigueur d'érables à sucre de peuplements dépérissants

Dans les peuplements affectés par les précipitations acides et dépérissants, les érables réagissent favorablement à une fertilisation : dix ans après traitement, les arbres fertilisés ont un taux d'accroissement en diamètre au moins deux fois supérieur à celui des arbres non fertilisés (Moore *et al.* soumis).

Cartographie des charges critiques

Un tiers de la forêt commerciale du Québec reçoit des taux de précipitations acides plus importants que ceux que les écosystèmes sont capables de neutraliser, ce qui pourrait entraîner des baisses de productivité à long terme (Ouimet 2005).

Envahissement des érablières dépérissantes par le hêtre

L'ouverture du couvert que l'on observe dans les érablières affectées par les pluies acides et dépérissantes modifie la composition et la structure

de ces peuplements; dans certains cas, le nombre de gaules de hêtre a plus que doublé en 10 ans (Duchesne *et al.* 2005). Ces résultats nous questionnent quant à la composition et la structure à venir de plusieurs érablières au Québec affectées par la pollution atmosphérique.

Références

- ALABACK, P.B., et F.R. HERMAN., 1988. *Long-term response of understory vegetation to stand density in Picea-Tsuga forests.* Canadian journal of forest research 18 : 1522-1530.
- BRIGGS, R.D., et R.C.J. LIMIN., 1994. *Soil drainage class effects on early response of balsam fir to precommercial thinning.* Soil Science Society of America Journal 58 : 1231-1232.
- DUCHESNE, L., R. OUIMET, J-D MOORE et R. PAQUIN. *Changes in structure and composition of maple-beech stands following sugar maple decline in Québec, Canada.* For. Ecol. & Manage. 208 : 223-236.
- HALPERN, C.B., et T.A. SPIES., 1995. *Plant species diversity in natural and managed forests of the Pacific Northwest.* Ecological Applications 5 : 913-934.
- MOORE, J.-D. et R. OUIMET. *Long-term effects of liming on the nutrition, vigor and growth of sugar maple at Duchesnay, Québec, Canada,* soumis au Can. J. For. Res.
- OUIMET, R., 2005. *Cartographie des charges critiques d'acidité des forêts : 2^e approximation.* Rapport interne n°487. DRF. Gouvernement du Québec. 48 p.
- SINCLAIR, T.R., 1992. *Mineral nutrition and plant growth response to climate change.* Journal of Experimental Botany 43 : 1141-1146.
- THOMAS, S.C., C.B. HALPERN, D.A. FALK, D.A. LIGUORI, et K.A. AUSTIN., 1999. *Plant diversity in managed forest : understory responses to thinning and fertilization.* Ecological Applications 9 : 864-879.
- TREMBLAY, S., C. PÉRIÉ et R. OUIMET, 2005. *Changes in Organic Carbon Storage in a 50-year White Spruce Plantation Chronosequence Established on Fallow Land in Québec, Canada,* soumis au Can. J. For. Res.



La mesure des effets réels des traitements sylvicoles et les travaux de recherche en peuplement résineux : un suivi à long terme

Stéphane Tremblay



Il est bien connu que les travaux de recherche et de suivi effectués en foresterie doivent être réalisés sur un horizon de temps suffisamment long afin d'obtenir des réponses valables pour l'ensemble des questions qui se posent à l'échelle de la vie des peuplements. C'est en étant conscients de cette réalité, que les chercheurs de la Direction de la recherche forestière (DRF) ont établi des dispositifs de recherche portant sur divers traitements sylvicoles depuis près de 30 ans. Depuis le milieu des années 1990, tous ces dispositifs qui permettent de définir « **la règle de l'art** » pour l'application des traitements sont appuyés par un réseau de placettes installées pour la mesure des effets réels. Tel que spécifié dans le Manuel d'aménagement forestier (MRNFP, 2003), l'objectif principal de ces réseaux est : « ...de valider les hypothèses de rendement associées aux divers traitements. ». Parmi les divers traitements étudiés à la DRF, les principaux qui seront abordés lors de cette présentation sont les coupes de régénération ainsi que les coupes d'éclaircie précommerciale et commerciale. Pour ce qui est des autres travaux réalisés dans des peuplements résineux, une brève revue des sujets abordés permettra de dresser un portrait de la diversité des travaux de recherches qui sont menés par les chercheurs de la DRF.

Les coupes de régénération



Photo : M.-A. Grenier

La coupe avec protection de la régénération permet-elle effectivement de protéger plus de régénération préétablie?

La coupe avec protection de la régénération et des sols (CPRS) est sans contredit le traitement sylvicole commercial le plus appliqué au Québec. Ce type de coupe résulte de l'évolution des pratiques à la suite de la prise de conscience de l'abondance de la

régénération préétablie dans les peuplements mûrs et surannés (Doucet, 1988) et de la capacité des marcottes à se développer adéquatement après la récolte (Paquin et Doucet, 1992; Doucet et Boily, 1995; Boily et Doucet, 1991, 1993). La CPRS permet d'obtenir un coefficient de distribution de la régénération (CDR) environ 20 % plus élevé immédiatement après la récolte comparativement à celui observé dans la coupe totale (CT) (Pominville, 1993; Tremblay, résultats préliminaires). De plus, le délai de régénération est nul sur près de 60 % des superficies récoltées par CPRS alors que cette situation n'est constatée que sur 40 % des aires traitées par coupe totale (Tremblay, résultats préliminaires). Cet avantage se maintient dans le temps puisque 85 % des aires récoltées par CPRS ont un $CDR \geq 60$ % cinq ans après la coupe tandis que la proportion qui atteint ce critère n'est que de 60 % dans les superficies traitées par CT (Tremblay, résultats préliminaires).

Une autre étape de l'évolution des coupes de régénération a été franchie avec l'apparition de la coupe avec protection de la haute régénération et des sols (CPHRS). Cette variante est née après que plusieurs études dont celle de Pothier *et al.* 1995 aient mis en évidence l'importance de ce type de régénération sur la production. Le principal effet découlant de la protection de la haute régénération lors des opérations est la diminution de l'âge de révolution.

L'éclaircie précommerciale



Photo : Gilles Therrien

L'éclaircie précommerciale permet-elle d'obtenir une production supérieure?

L'éclaircie précommerciale (EPC) est le second traitement le plus appliqué au Québec. Pour ce traitement, nous disposons de huit dispositifs de recherche et d'environ 2 200 placettes établies pour la mesure des effets réels. Les principaux résultats obtenus couvrent un horizon de 20 ans et indiquent qu'il n'y aurait pas d'effet sur le volume marchand du peuplement (Pothier 2002). Toutefois, l'EPC augmente la production en volume sciage en favorisant la croissance en diamètre des arbres résiduels. Le cas échéant, l'EPC permettrait peut-être de générer plus de produits à valeur ajoutée dans les peuplements traités.

Outre cet effet sur le volume sciage, l'éclaircie précommerciale peut être employée dans les peuplements très denses ($\geq 40\ 000$ tiges/ha) pour s'assurer que ces derniers produisent effectivement le volume marchand escompté. Elle est aussi appelée à jouer un rôle dans l'ajustement de la composition des peuplements lorsque les coupes de régénération risquent de se traduire par une diminution de la production des essences désirées.

L'éclaircie commerciale

L'éclaircie commerciale : qu'en est-il?

L'éclaircie commerciale (EC) est un traitement qui a connu une certaine popularité par le biais du programme des chantiers d'économie sociale. Toutefois, les effets de ce traitement sont peu documentés. C'est d'ailleurs pourquoi un réseau d'environ 300 placettes a été installé dans le cadre de la mesure des effets réels. Ce réseau est appuyé par 16 dispositifs de recherche qui serviront à examiner les impacts de divers taux de prélèvement, sur les dimensions dendrométriques, en fonction des caractéristiques initiales des peuplements. Les résultats permettront donc de raffiner les règles d'application de ce traitement tout en vérifiant les hypothèses de productions présentées dans le MAF pour les peuplements non éduqués.

D'autre part, comme la plupart des peuplements qui seront traités dans l'avenir auront préalablement subi une EPC, il apparaît nécessaire de vérifier et, au besoin, de redéfinir les mesures à utiliser ainsi que les rendements qui y seront associés. Cela est d'autant plus pertinent dans le contexte où ces peuplements devraient se situer dans la zone d'aménagement intensif, zone à l'intérieur de laquelle il faudrait privilégier l'obtention de produits à valeur ajoutée.

Retombées ...

Tel que mentionné précédemment, les résultats obtenus dans les divers travaux réalisés sur la régénération préétablie ainsi que sur les coupes de régénération ont grandement influencé l'évolution des pratiques à partir de la CT jusqu'à la CPHRS. De plus, certains résultats obtenus ont été incorporés aux normes de vérification des opérations de récolte. C'est le cas, entre autres, des résultats de Ruel *et al.* 1995, qui permettent de caractériser l'aptitude de la régénération à survivre aux opérations de récolte et qui ont été intégrés au suivi de l'article 89 du RNI. La poursuite des travaux devrait également permettre d'améliorer notre connaissance des strates de retour et ainsi bonifier la prévision de la production des peuplements par essence.

Pour l'EPC, les résultats obtenus jusqu'à présent ont amené une correction de l'hypothèse de rendement inscrite au MAF. Toutefois, les différences observées pour le volume sciage appuient la nécessité de construire des tables de productions adaptées à l'EPC. Les informations recueillies permettront aussi de déterminer les stations susceptibles de réagir favorablement à l'éclaircie. Il sera dès lors possible de faire une sélection plus judicieuse des peuplements à traiter.

Jusqu'à présent, nous ne disposons d'aucun résultat à long terme pour l'EC. Cependant, l'analyse des données actuellement disponibles de même que celles qui seront récoltées dans les futurs dispositifs permettront de raffiner notre connaissance des effets de ce traitement. Comme l'EC devrait favoriser l'obtention de produits à valeur ajoutée, il faudra aussi caractériser l'impact de ce traitement lorsqu'il est réalisé dans un peuplement qui a préalablement été éduqué.

D'autres travaux de recherche

D'autres études sont réalisées dans le but de développer un modèle de croissance à l'échelle de l'arbre et de modéliser la dynamique et le rendement des pessières noires équiennes et inéquiennes. Entre autres, une étude porte plus spécifiquement sur l'élaboration de modèles qui permettent de déterminer l'indice de qualité de station des jeunes strates résineuses. Les résultats obtenus dans cette dernière sont d'ailleurs utilisés au Québec, il s'agit des modèles de croissance internodale en hauteur pour le sapin, l'épinette noire et le pin gris (Mailly et Gaudreault, 2005).

Références

- BOILY, J. et R. DOUCET, 1991. *Croissance en hauteur de la régénération de marcottes d'épinette noire dans des coupes d'une vingtaine d'années*. Ministère des Forêts du Québec, Dir. Rech. For., Note Rech. For. 42.
- BOILY, J. et R. DOUCET, 1993. *Croissance juvénile de marcottes d'épinette noire en régénération après la récolte du couvert dominant*. Can. J. For. Res. 23 : 1396-1401.
- DOUCET, R., 1988. *La régénération préétablie dans les peuplements forestiers naturels du Québec*. For. Chron. 64 : 116-120.
- DOUCET, R. et J. BOILY, 1995. *Croissance en hauteur de la régénération d'épinette noire et de sapin baumier après la coupe*. Ministère Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière, Note Rech. For. N°68.
- MAILLY, D. et M. GAUDREULT, 2005. *Modèles de croissance internodale pour l'épinette noire, le pin gris et le sapin baumier au Québec*. For. Chron. 81 : 114-124.
- MRNFP, 2003. *Manuel d'aménagement forestier, 4^e édition*. Gouvernement du Québec.
- PAQUIN, R. et R. DOUCET, 1992. *Croissance en hauteur de la régénération préétablie dans des pessières noires boréales régénérées par marcottage, au Québec*. Can. J. For. Res. 22 : 613-621.



POMINVILLE, P., 1993. *Évolution quinquennale de la régénération protégée lors des opérations de récolte par abattage manuel dans des sapinières*. For. Chron. 69 : 569-578.

POTHIER, D., 2002. *Twenty-year results of precommercial thinning in a balsam fir stand*. For. Ecol. & Manage. 168 : 177-186.

POTHIER, D., R. DOUCET et J. BOILY, 1995. *The effect of advance regeneration height on future yield of black spruce stands*. Can. J. For. Res. 25 : 536-544.

TREMBLAY, S., 2005. Résultats préliminaires non publiés.

Productivité des débroussailliers en dégagement – de la recherche vers les opérations

Denise Dubeau



La métier de débroussaillier est difficile, c'est un fait. Plusieurs facteurs peuvent en être responsables, dont la charge physique de travail élevée, combinée avec les conditions matérielles et salariales de ces emplois. L'introduction d'un taux unitaire (\$/ha) variable en fonction du niveau de difficulté du terrain pour le dégagement de régénération contribuerait à permettre aux débroussailliers d'obtenir un salaire plus équitable pour leur travail, tout en respectant leurs limites physiques. Pour bien connaître les phénomènes et les interactions en cause, une étude multidisciplinaire est menée conjointement par la DRF, l'Université Laval et l'École Polytechnique de Montréal. Elle porte sur la productivité des débroussailliers en dégagement de la régénération, sur l'organisation du travail et sur la charge physique associée au travail de débroussaillier.

Cette étude poursuit trois objectifs principaux :

- 1) l'élaboration d'un profil du débroussaillier;
- 2) l'étude de la charge physique de travail et l'analyse ergonomique de l'activité;
- 3) l'estimation de la productivité des débroussailliers par les méthodes traditionnelles de modélisation.

Les observations ont été réalisées dans neuf régions du Québec, dans le cadre des opérations régulières. Au total, 95 travailleurs ont participé à cette étude entre 2000 et 2003, dont 13 dans la région du Saguenay – Lac-St-Jean. Un inventaire avant traitement était réalisé dans douze parcelles de 4 m², réparties uniformément dans le bloc étudié (30 x 40 m). La couverture végétale était mesurée pour chaque espèce de plantes forestières : hauteur moyenne, hauteur maximale, estimation de la proportion de la parcelle recouverte (% de recouvrement). Les arbres et arbustes d'espèces commerciales et non commerciales étaient dénombrés par classe de hauteur : 15 cm à 1 m, 1 à 2 m, 2 à 3 m, > 3 m. La pente du terrain était mesurée à l'aide d'un clinomètre.

Pendant le traitement du bloc, le débroussaillier faisait l'objet d'observations continues afin de mesurer sa productivité, les délais de toute nature qui interfèrent

avec sa production ainsi que les obstacles qui nuisent à sa progression. Les obstacles considérés comprenaient les arbres renversés, résidus de coupe, pierres, souches, chicots, trous et bosses. Chaque obstacle nuisible était mesuré à la fin de l'étude. De plus, le travailleur portait un cardiofréquencemètre qui enregistrait sa fréquence cardiaque du travailleur à intervalle fixe de cinq secondes. Les mesures de fréquence cardiaque obtenues visaient à calculer la charge de travail associée au travail de débroussaillier et à identifier les facteurs de site qui avaient le plus d'impact sur sa charge de travail (pente du terrain, obstacles). Pendant les pauses et après l'étude, le travailleur participait à des entrevues structurées et semi-structurées concernant l'organisation du travail, ainsi que la santé et la sécurité. L'investigation comprenait aussi un volet socio-économique, ainsi que des questions sur les perceptions du débroussaillier face à différents aspects de son travail. Enfin, chaque obstacle identifié en cours de travail était mesuré et la qualité du dégagement était évaluée.

Au terme de l'étude, un profil général du débroussaillier a été dressé. L'âge moyen et la structure d'âge observée présentent des caractéristiques particulières. Les débroussailliers observés

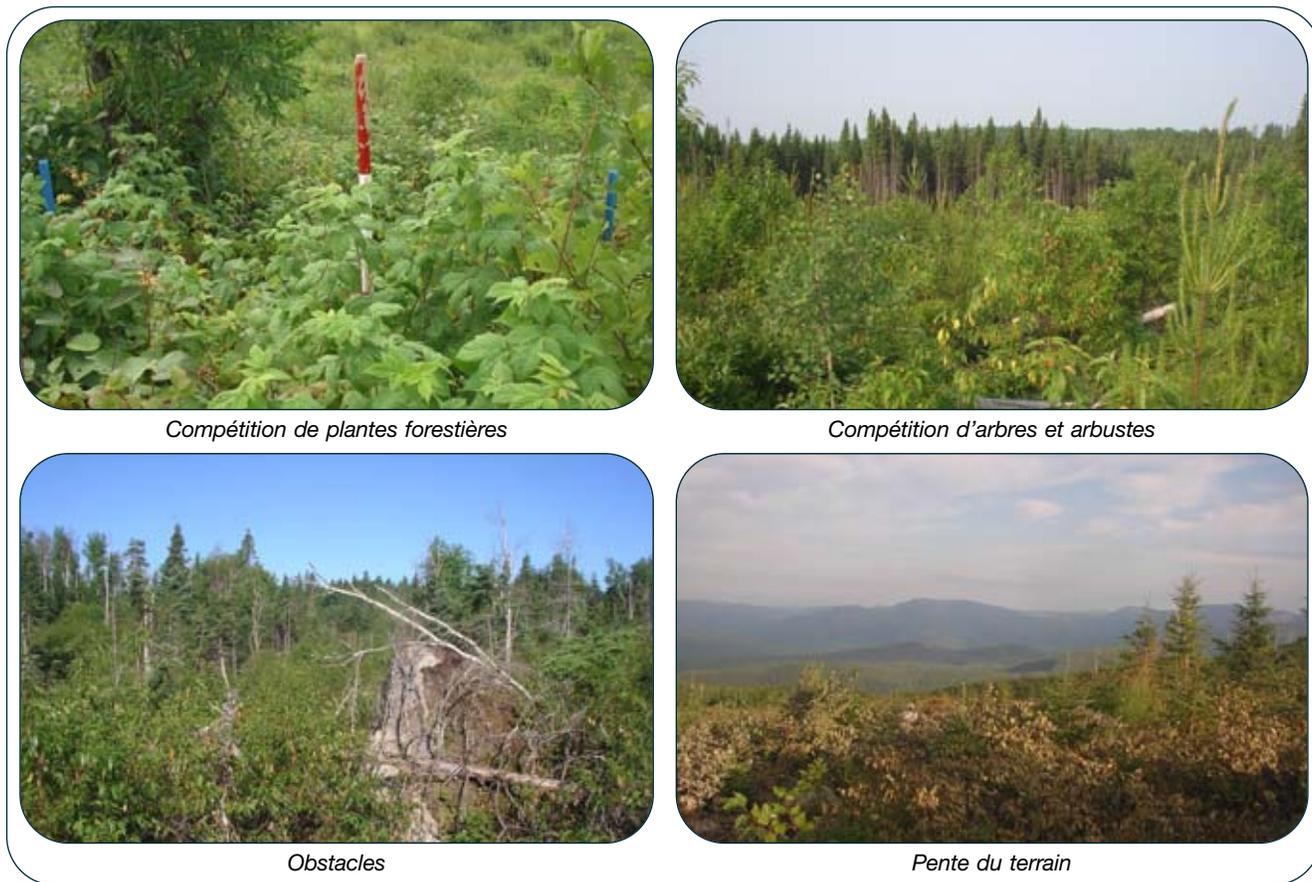


Figure 1. Catégories de facteurs mesurés.

ont en moyenne 37 (\pm 11) ans, et la classe d'âge de 45 à 64 ans est sous-représentée chez les débroussaillers par rapport à la population active du Québec. Ceci pourrait être relié à l'exigence physique élevée de ce travail ainsi qu'aux difficultés de rétention de la main d'oeuvre. Par ailleurs, 58 % de ces travailleurs ont moins de cinq ans d'expérience (Langlois 2004), symptôme d'un roulement de personnel élevé. D'ailleurs, 11 % des sujets de l'étude indiquent que le salaire à forfait représente pour eux une importante source de stress, et 7 % affirment que les critères de qualité leur occasionnent le plus grand stress. Il semble que plusieurs débroussaillers peu expérimentés se découragent devant la difficulté à obtenir un salaire jugé équitable et quittent le milieu. L'étude a aussi révélé que les douleurs qui dérangent le plus se situent

au bas du dos (27,9 % des répondants), aux chevilles et aux pieds (23,3 %) et *ex-aequo* aux épaules et aux genoux (11,6 %).

La charge physique de travail mesurée est considérée comme élevée selon les limites proposées par Wu et Wang (2002). Pour des travailleurs employés à l'année travaillant huit heures par jour, incluant les pauses, ces auteurs déterminent la moyenne quotidienne acceptable à 24,5 % de la fréquence cardiaque maximale. Les débroussaillers observés travaillent en moyenne à 41 % de leur fréquence cardiaque maximale pendant 7,9 heures (\pm 3,1) (Chiasson 2004). Une telle charge physique, si elle est maintenue longtemps, peut augmenter le niveau de fatigue des travailleurs et, par conséquent, le risque d'accidents.

Les conséquences à long terme d'une charge physique de travail élevée ne sont pas connues. Il est donc important de trouver des mécanismes permettant aux travailleurs de diminuer cette charge de travail.

La productivité est principalement influencée par deux paramètres associés à la densité végétale, et, dans une moindre mesure, par la quantité d'obstacles présents sur le terrain (Tableau 1). Dans les conditions observées, il faut en moyenne 14,8 heures effectives ($\pm 6,8$) pour dégager un hectare. La productivité est principalement influencée par le % de recouvrement des framboisiers, fougères et épilobes, ainsi que par la densité d'arbres et d'arbustes (tiges ≥ 1 m, équation 1). Ces deux variables expliquent à elles seules 54 % de la variabilité de la productivité.

Tableau 1. Modèles de prédiction du temps effectif

Modèles	R ² (%)	RMSE
Équation 1 Prod = 7,16 + 0,288 x recouvrement + 0.000122 x tiges>1m/ha	54	4.7
Équation 2 Prod = 3,06 + 0,256 x recouvrement + 0.000117 x tiges>1m/ha + 0.022 x nb. d'obstacles	61	4.8

La productivité est aussi affectée, dans une moindre mesure, par la quantité d'obstacles présents sur le terrain. Le deuxième modèle (équation 2) inclut les deux premiers facteurs auxquels on a ajouté le nombre d'obstacles au sol qui sont susceptibles d'avoir un impact sur la productivité. L'ajout de ce facteur augmente le pouvoir explicatif du modèle à 61 %. La pente du terrain n'est pas incluse dans le modèle puisque les travailleurs sont affectés de façon variable par ce facteur. Aucune relation mathématique n'a été observée entre la charge physique de travail et la pente du terrain.

Applications pratiques

Le modèle présenté à l'équation 1 prédit la productivité à l'aide de deux paramètres à mesurer sur le terrain. Il s'agit de dénombrer les arbres et arbustes d'au moins 1 m de hauteur (Tiges ≥ 1 m) dans des parcelles de 4 m² et d'estimer le % de recouvrement des framboisiers, fougères et épilobes. Pour obtenir une estimation de la production hebdomadaire des travailleurs, il faut ajouter les délais encourus au cours des périodes de travail. L'estimation du pourcentage de recouvrement pose un problème pratique en conditions opérationnelles puisque cette mesure comprend une portion de subjectivité. L'équipe de recherche travaille actuellement à la mise au point d'une méthode de mesure qui soit applicable en conditions opérationnelles.

De même, l'estimation de la quantité d'obstacles nuisibles (équation 2) est laborieuse et mal définie puisque les obstacles produisent des effets très variables sur les débroussailleurs. L'équipe travaille actuellement à identifier les obstacles qui ont un réel effet sur la productivité des débroussailleurs et à développer un outil de classification des terrains en fonction de l'historique du peuplement et des caractéristiques physiographiques du terrain. Cet outil permettrait d'ajuster les taux admissibles en fonction de la quantité estimée d'obstacles, et ce, sans avoir à prendre de mesures sur le terrain. La livraison des résultats est prévue pour 2006.

Références

- CHIASSEON, M.-È., 2004. *Évaluation de la charge de travail des débroussailleurs*. Département de mathématiques et de génie industriel. Montréal, QC, École Polytechnique de Montréal, 81 p.
- DUBEAU, D., L.G. LEBEL et D. IMBEAU., 2003. *Étude intégrée des ouvriers sylvicoles débroussailleurs au*

Québec. XII^e Congrès forestier Mondial, Centre des congrès de Québec, Québec, Canada, FAO. Aussi disponible sur internet :

<http://www.mmf.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Dubeau-Denise/Note128.pdf>

HUARD, S., 2004. *Évaluation de la charge de travail en dégagement de régénération*. Département de mathématiques et de génie industriel. Montréal, QC, École Polytechnique de Montréal : 160 p.

LANGLOIS, J., 2004. *Intégration des facteurs humains dans l'étude du travail de débroussailleur : dégagement de la régénération naturelle et artificielle*. Faculté de foresterie et géomatique, Département des sciences du bois et de la forêt. Sainte-Foy, QC, Université Laval : 142 p.

TOUPIN, D., 2004. *Étude multidisciplinaire des débroussailleurs forestiers au Québec : intégration des mesures de l'effort du travailleur dans le système de rémunération*. Faculté de foresterie et géomatique, Département des sciences du bois et de la forêt. Sainte-Foy, QC, Université Laval : 110 p.

WU, HSIN-CHIEH et MAO-JIUN J. WANG., 2002. *Relationship between maximum acceptable work time and physical workload*. Ergonomics 45 (4) : 280-289.



*Ressources naturelles
et Faune*

Québec 