

Colloque de transfert de connaissances

Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie ?



Recueil des résumés longs
Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès de Québec

Note au lecteur

Le contenu des textes présentés dans ce recueil n'engage que la responsabilité des auteurs et ne reflète pas nécessairement la position du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec.

Comité organisateur et éditeurs

Patricia Raymond

Daniel Dumais

Marcel Prévost

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF)

Direction de la recherche forestière (DRF)

2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : (418) 643-7994 poste 6614

Courriel : patricia.raymond@mrnf.gouv.qc.ca

Conception graphique du document

Maripierre Jalbert, DRF, MRNF

Brigitte Boudreault, DRF, MRNF

Révision linguistique

Denise Tousignant, DRF, MRNF

Joanie Couture, DRF, MRNF

Sylvie Bourassa, DRF, MRNF

Crédits photos de la page couverture

Daniel Dumais et Patricia Raymond, DRF, MRNF

Le contenu de ce document peut être cité en indiquant la source :

Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie?* Colloque de transfert de connaissances. Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada. 64 p.

© Gouvernement du Québec

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, 2012

Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2012

ISBN : 978-2-550-64391-3

ISBN (PDF) : 978-2-550-64392-0

Colloque de transfert de connaissances

Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie ?

Recueil des résumés longs

Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès de Québec

crédit photo : Daniel Dumais



Programme du colloque

- 8 h 50 **Mot de bienvenue**
Patricia Raymond, Direction de la recherche forestière, MRNF
- 9 h 00 **Les défis de l'aménagement et de la sylviculture en forêt mixte**
Guy Lessard, Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO)
- 9 h 30 **La synthèse des enjeux écologiques pour l'aménagement écosystémique de la sapinière à bouleau jaune du Québec**
Frédéric Doyon, Université du Québec en Outaouais (UQO)
- 10 h 00 **Pause**
- 10 h 30 **L'influence des trouées sur la structure et la composition de la forêt mixte**
Daniel Kneeshaw, Université du Québec à Montréal (UQÀM)
- 11 h 00 **Le rôle des feux et des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette en forêt mixte**
Mathieu Bouchard, Direction de la recherche forestière, MRNF
- 11 h 30 **L'impact des coupes en forêt mixte**
Yan Boucher, Direction de la recherche forestière, MRNF
- 12 h 00 **Dîner**
- 13 h 30 **La sylviculture des peuplements mixtes à feuillus tolérants**
Marcel Prévost, Direction de la recherche forestière, MRNF
- 14 h 00 **La sylviculture des peuplements mixtes à feuillus intolérants**
Brian Harvey, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue (UQAT)
- 14 h 30 **La remise en production de peuplements mixtes dégradés avec présence de semenciers**
Jean-Claude Ruel, Université Laval
- 15 h 00 **Pause**
- 15 h 30 **La conversion structurale de jeunes peuplements réguliers : la convergence des intérêts écologiques et économiques**
Laurent Gagné, Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles
- 16 h 00 **La sylviculture des essences forestières en raréfaction**
Daniel Dumais, Direction de la recherche forestière, MRNF
- 16 h 30 **Synthèse et échanges**
- 16 h 45 **Fin du colloque**

crédit photo : Patricia Raymond



Remerciements

Le comité organisateur du colloque *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie?* tient à remercier les organisateurs du Carrefour Forêt Innovations 2011 pour leur appui et le support logistique durant la journée du colloque. Nos remerciements s'adressent aussi aux conférenciers, professionnels et techniciens et à toutes les personnes qui ont participé activement à la réussite de cet événement et à l'élaboration du présent document.

La conception de ce recueil des résumés longs des conférences a été rendue possible grâce à la contribution significative de M^{mes} Maripierre Jalbert et Brigitte Boudreault (DRF, MRNF), responsables du graphisme, de M^{mes} Denise Tousignant, Joanie Couture et Sylvie Bourassa (DRF, MRNF), responsables de la révision linguistique et de l'édition des textes.

Le comité organisateur remercie également les gestionnaires de la DRF (MM. Robert Jobidon et Jean-Pierre Saucier et M^{me} Claire Filion) pour leur soutien constant durant les différentes phases de préparation de ce colloque, ainsi que nos principaux commanditaires, le MRNF, l'Institut forestier du Canada, le Groupe DESFOR et Del Degan, Massé, experts-conseils.



**Ressources naturelles
et Faune**



Table des matières

Programme du colloque	iii
Remerciements	v
Mise en contexte	ix
Objectifs du colloque	ix
Résumés longs des conférences	1
Les défis de l'aménagement et de la sylviculture en forêt mixte	3
<i>Guy Lessard</i>	
La synthèse des enjeux écologiques pour l'aménagement écosystémique de la sapinière à bouleau jaune du Québec .	9
<i>Frédéric Doyon et Hirondelle Varady-Szabo</i>	
L'influence des trouées sur la structure et la composition de la forêt mixte	21
<i>Daniel Kneeshaw, Udayalakshmi Vepakomma et Benoît St-Onge</i>	
Le rôle des feux et des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette en forêt mixte	25
<i>Mathieu Bouchard</i>	
L'impact des coupes en forêt mixte	29
<i>Yan Boucher</i>	
La sylviculture des peuplements mixtes à feuillus tolérants	33
<i>Marcel Prévost, Patricia Raymond et Daniel Dumais</i>	
La sylviculture des peuplements mixtes à feuillus intolérants	39
<i>Brian Harvey</i>	
La remise en production de peuplements mixtes dégradés avec présence de semenciers	41
<i>Jean-Claude Ruel</i>	
La conversion structurale de jeunes peuplements réguliers : la convergence des intérêts écologiques et économiques	45
<i>Laurent Gagné, Luc Sirois et Luc Lavoie</i>	
La sylviculture des essences forestières en raréfaction.	49
<i>Daniel Dumais, Marcel Prévost, Patricia Raymond et Catherine Larouche</i>	
Synthèse des conférences	59
Écologie et sylviculture de la forêt mixte	61
<i>Patricia Raymond</i>	

crédit photo : Daniel Dumais



Mise en contexte

La sylviculture est considérée depuis longtemps comme un art et une science, mais elle est aussi maintenant vue comme une forme d'écologie appliquée. Au cours des années 1990, la pratique nouvelle de la sylviculture dans la forêt mixte québécoise a dû passer par une meilleure compréhension de son écologie. Les forestiers ont vite réalisé qu'il ne suffisait pas de transposer des traitements sylvicoles utilisés en forêt boréale ou feuillue, mais qu'il fallait mettre au point une sylviculture qui soit adaptée à ses réalités. Ainsi, la décennie 2000 a été marquée par une phase majeure d'acquisition de connaissances scientifiques. Ce colloque a donc pour but de réunir des spécialistes en écologie et en sylviculture pour faire état de ces connaissances dans une perspective de développement de pratiques sylvicoles adaptées à cette forêt complexe.

Objectifs du colloque

Ce colloque s'adresse à tous les acteurs du milieu forestier intéressés par l'écologie et la sylviculture de la forêt mixte. Il a pour premier objectif d'améliorer la compréhension du contexte et des caractéristiques écologiques de la forêt mixte, incluant la dynamique des perturbations naturelles et anthropiques. Le second objectif est de transmettre aux participants les plus récentes innovations et avancées scientifiques en matière de sylviculture adaptée à la forêt mixte. Il sera notamment question :

- Des défis et des enjeux écologiques liés à sa sylviculture;
- Du rôle des trouées naturelles, des épidémies d'insectes, du feu et des coupes forestières sur sa dynamique;
- De la sylviculture adaptée aux peuplements mixtes à feuillus tolérants et aux peuplements mixtes à feuillus intolérants;
- De la remise en production des peuplements dégradés et de la conversion structurale de jeunes peuplements réguliers;
- De la sylviculture des essences forestières en raréfaction.

crédit photo : Eric Saulnier



Résumés longs des conférences

Les défis de l'aménagement et de la sylviculture en forêt mixte

Guy Lessard, ing.f., M. Sc.^{1,2}



Au CERFO depuis 1991, M. Lessard est directeur en sylviculture et en aménagement forestier durable. Il s'occupe, avec son équipe, de différents projets de recherche, de formation et d'aide technique. En sylviculture, il a contribué à l'essor des coupes progressives ainsi qu'au développement de la sylviculture en forêt irrégulière. Ces travaux ont porté également sur la régénération et l'éducation d'espèces en régression comme le bouleau jaune, le chêne rouge, le pin blanc et les épinettes. À l'Ordre des ingénieurs forestiers, le cours sur le diagnostic sylvicole est placé sous sa responsabilité. Il a participé aux travaux sur le guide sylvicole provincial. En aménagement, il a implanté dans tout le Québec le calcul de possibilité avec le logiciel Sylva II et réalisé un imposant mandat de la Commission Coulombe analysant la problématique entourant les calculs de possibilité forestière (2004). Avec son équipe, il a produit plusieurs études, par exemple, sur l'intensification de la pratique sylvicole, l'impact de l'implantation des aires protégées, l'intégration de l'information écologique dans la planification, la gestion des risques comme le feu ainsi que l'aménagement intégré et l'implantation d'approches par chantier. Il a participé activement au plan de relance du Témiscamingue en y transférant les plus récentes innovations.

À l'Ordre des ingénieurs forestiers, le cours sur le diagnostic sylvicole est placé sous sa responsabilité. Il a participé aux travaux sur le guide sylvicole provincial. En aménagement, il a implanté dans tout le Québec le calcul de possibilité avec le logiciel Sylva II et réalisé un imposant mandat de la Commission Coulombe analysant la problématique entourant les calculs de possibilité forestière (2004). Avec son équipe, il a produit plusieurs études, par exemple, sur l'intensification de la pratique sylvicole, l'impact de l'implantation des aires protégées, l'intégration de l'information écologique dans la planification, la gestion des risques comme le feu ainsi que l'aménagement intégré et l'implantation d'approches par chantier. Il a participé activement au plan de relance du Témiscamingue en y transférant les plus récentes innovations.

¹ Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO)
2424, chemin Sainte-Foy
Québec (Québec) G1V 1T2
Téléphone : 418 659-4225
Télécopieur : 418 659-4226

² g.lessard@cerfo.qc.ca

³ À titre d'exemple, les Unités de gestion 73 et 74, dans le nord de l'Outaouais, ont présenté un phénomène d'enfeuillage marqué : il y a eu dix fois plus de bétulaies en 1995 qu'il n'y en avait en 1975. De plus, il ne restait que 400 ha de peuplements SS (sapinières à sapin) sur les 2 200 000 ha du territoire, qui appartiennent en majorité au domaine de la bétulaie jaune à sapin.

⁴ Par exemple, la surface terrière totale d'un peuplement ou son capital forestier en croissance sont des ordres de grandeur avec une grande étendue de données ($G_{\text{total}} = 7,4$ à $29,4$ (moyenne de $17,9$) ou $G_{\text{CC}} = 0,4$ à $16,4$ (moyenne de $8,4$)).

Une diversité d'états, de contextes et d'objectifs

La foresterie en forêt mixte se réalise dans une diversité d'états, de contextes opérationnels et d'objectifs. La diversité d'états s'exprime par un grand nombre d'attributs de peuplements (on n'a qu'à penser aux nombreuses espèces aux exigences écologiques variées, aux structures, aux densités), mais également de conditions édaphiques et climatiques. De plus, cette diversité d'états varie non seulement dans l'espace, mais également dans le temps³, par plusieurs mécanismes de renouvellement tant anthropiques que naturels, ce qui pourrait même prendre de nouvelles formes suite aux changements climatiques. La diversité de contextes opérationnels se manifeste par la présence ou non de débouchés pour les bois de trituration, les équipements utilisables pour les différents travaux en forêt, la disponibilité de main-d'œuvre, les distances de transport ou encore les moyens de financement à la portée des intervenants. Enfin, s'ajoute la diversité des objectifs issus de la multiplicité des fonctions, et des enjeux écologiques, sociaux et économiques que l'aménagiste forestier et le sylviculteur doivent gérer; on n'a qu'à penser aux fonctions fauniques qui sont par nature même multi-échelles. Pour compléter le tableau, ces spécialistes doivent effectuer leur travail à partir d'informations partielles, soit des ensembles flous et hétérogènes⁴.

Comment gérer une telle complexité et hétérogénéité ?

Devant les attentes de la société beaucoup plus présentes et multiples que par le passé et devant la diversité d'états et de contextes, le déploiement d'une réelle démarche d'ingénierie devient nécessaire, tant à l'échelle de l'aménagement forestier qu'à l'échelle de la sylviculture. Il faut d'abord définir les enjeux (COMITÉ SCIENTIFIQUE SUR LES ENJEUX DE BIODIVERSITÉ 2007), les attributs à atteindre, préparer une planification stratégique, prévoir un monitoring des actions et développer un processus de prescription sylvicole. Enfin, de nouvelles perspectives se présentent grâce à de nouveaux outils technologiques.

LESSARD, G., 2012. *Les défis de l'aménagement et de la sylviculture en forêt mixte*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? Colloque de transfert de connaissances*, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada. p. 3-8.



Figure 1. L'image satellitaire présente les patrons spatiaux de deux feux récents (en orangé, en bas à gauche et en haut à droite) qu'il est possible de comparer à des patrons de coupes à blanc en mosaïque (centre gauche) et aux coupes à blanc contiguës avec séparateurs. Bien que située dans le domaine de la pessière noire, cette figure illustre bien le défi de proposer un aménagement qui tienne compte du risque de perturbations naturelles, de patrons de répartitions spatiales écologiquement cohérents et d'une production durable de biens et de services (source : google map).

D'abord concevoir et « designer » la forêt de demain

L'aménagement forestier s'intéresse à la gestion de l'ensemble des activités forestières dans l'espace et dans le temps pour répondre à l'ensemble des besoins de la collectivité. Le principal défi de l'aménagiste forestier est de concevoir et proposer différents modèles possibles de forêt future dans un cadre d'aménagement forestier durable. Suite à la formulation des enjeux, un zonage fonctionnel permet de localiser les diverses fonctions avec divers niveaux d'intégration. Plusieurs scénarios de contextes, d'intégration, de choix de production des ressources peuvent alors être proposés et leurs impacts sur différentes fonctions peuvent être évalués. En aménagement, les principaux défis à relever sont liés à la conciliation d'enjeux de biodiversité, d'enjeux de production (ex. : disponibilité de bois d'œuvre de haute qualité, contrôle des coûts d'approvisionnement) et aux difficultés de concilier les différentes fonctions de la forêt (ex. : présence accrue du cerf *vs* régénération).

L'ensemble de cette planification s'effectue à une échelle stratégique. De la même manière qu'en dessin, on procède par une série d'esquisses de plus en plus précises, ou comme en architecture, on décide où met-

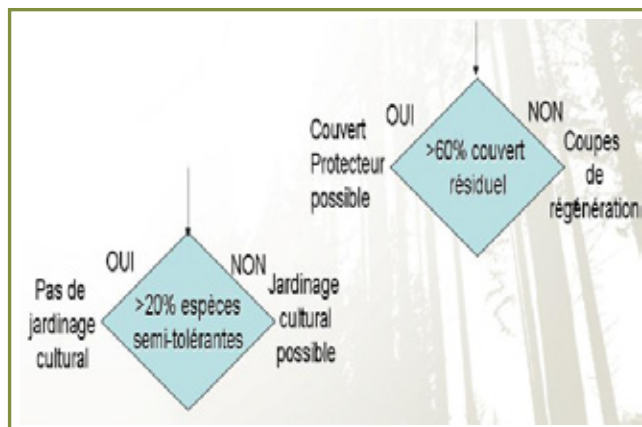


Figure 2. Exemple de paramètres pouvant être gérés dans un logigramme sylvicole pour dégrossir les familles de traitements.

tre la cuisine avant de déterminer la dimension des tiroirs. Les orientations et les stratégies générales sont ainsi posées *a priori* et adaptées au besoin par la suite.

Une démarche d'ingénierie pour le diagnostic sylvicole

La démarche diagnostique⁵ est une méthode basée sur le processus de solution de problèmes (NYLAND 1996, PINEAU et LESSARD 2003, OIFQ 2009) qui permet de déterminer ou de proposer le traitement sylvicole approprié selon les objectifs d'aménagement et les attributs désirés découlant du zonage fonctionnel. Elle fonctionne par options et argumentation : les traitements et leurs modalités découlent de l'analyse. La démarche diagnostique possède plusieurs avantages : elle est objective, structurée, rigoureuse, argumentée et flexible. Sa puissance est particulièrement intéressante face aux problèmes complexes lorsqu'elle prête place à la création de solutions innovantes. Parmi ses désavantages, on remarque qu'elle est plus longue et plus fastidieuse que la simple validation de conformité avec des normes, comme c'est le cas avec le régime forestier actuel.

Pour dégrossir rapidement les besoins sylvicoles d'un territoire, les logigrammes sont de plus en plus utilisés. La disponibilité de cartes numériques plus précises permet un traitement informatisé rapide pour séparer les grands régimes sylvicoles et les familles de traitements sylvicoles⁶ à une échelle stratégique. La figure 2 présente le type de grandes décisions pouvant être amorcées avec des logigrammes.

⁵ Initiée à l'Université Laval par BÉLANGER et PINEAU (1991) et développée par le CERFO, cette approche ressemble au *Silvicultural assessment* des guides ontariens et de Colombie-Britannique, ainsi qu'au *Problem Solving* que l'on retrouve chez Nyland. Elle fait fréquemment l'objet d'ateliers avec l'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec.

⁶ La notion de familles de traitements sylvicoles réfère à de grandes classes de prélèvement, à des types de procédés et de processus de récolte ou à des choix systématiques de prélèvement par essence ou sinon par classes de vigueur.

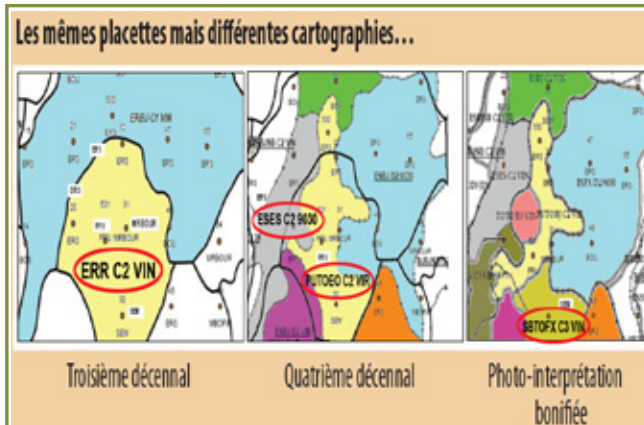


Figure 3. Augmentation de la précision de la cartographie et de la correspondance avec l'inventaire terrain. On remarquera que le peuplement mixte dominé par les érables se scinde en plus petits peuplements, dont l'un de thuya (TOTO) et un autre d'érable à sucre pur.

Afin d'alléger l'ensemble de la démarche, il y a la possibilité de développer certaines solutions pré-ingénierées. En effet, certaines situations se répètent à quelques nuances près et il est possible alors d'ajuster simplement le diagnostic déjà effectué.

Une approche par chantier (récemment dénommée par bassin de bois opérationnel ou BBO) est de plus en plus préconisée dans le traitement de la forêt. Les unités de référence (500 à 2 000 ha) sont délimitées à partir des contraintes physiques du territoire (ex. cours d'eau), un peu à l'instar des parcellaires qui servent encore de références pour définir les unités d'aménagement forestier.

Parmi les nombreuses utilités de ce découpage, on retrouve la possibilité de gérer la répartition spatiale à l'intérieur d'un secteur. Également, les traitements sylvicoles nécessitent souvent d'être harmonisés avec les autres traitements du même secteur au niveau des patrons ou des modalités (ex. : prélèvement, choix de la machinerie, etc.). On parle alors d'un processus d'agglomération qui comprend notamment l'intégration des petits polygones.⁷

De nouveaux outils

Par ailleurs, le développement récent d'outils tels que la photo-interprétation bonifiée et la cartographie fine (inspirés du NAIPF du MRNF) (Figure 3) offre de nouvelles perspectives d'avenir (LESSARD 2011). L'augmentation importante de la qualité des photos et de l'interprétation qui en découle permet de mieux discriminer les grandes caractéristiques et problématiques

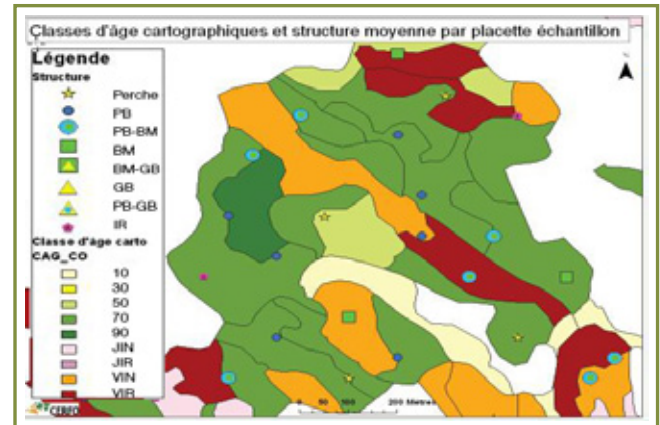


Figure 4. Correspondance entre l'âge cartographique et la structure des placettes-échantillons (selon le triangle des structures).

du territoire. Il y a également une meilleure correspondance entre le terrain et la cartographie (Figure 4). Les données de composition, de densité et de structure deviennent ainsi capitales dans le diagnostic sylvicole (JOANISSE *et al.* 2011c, 2011d; LESSARD *et al.* 2009a, 2009b). D'autres données utiles s'ajoutent à l'occasion comme le pourcentage de petites tiges marchandes (LESSARD 2011).

Parmi les changements de paradigmes qui s'imposent, l'utilisation accrue de la donnée cartographique devrait également aller de pair avec une meilleure compréhension de la statistique : l'utilisation des moyennes est souvent la norme alors que l'étendue des données devrait plutôt être considérée. Une bonne cartographie permet de mieux caractériser les peuplements que l'utilisation de quelques placettes représentant une fraction infime du peuplement.

D'autres outils présentent de nouvelles possibilités : les images à haute résolution pour des inventaires sur photos, le LiDAR (Figure 5), les nuages de points photogrammétriques (Figure 6) et les logiciels de simulation d'interventions sylvicoles⁸. Ces derniers outils permettront de mieux décrire les microstructures ou les structures internes des peuplements.

Un nouveau régime sylvicole

Au Québec, le régime de la futaie irrégulière prend actuellement de plus en plus de place. Initié notamment dans la sapinière à bouleau blanc en bordure de lac ou de pistes de ski de fond afin de maintenir plus longtemps le couvert, il apparaît maintenant comme une option en plus des régimes de la futaie jardinée (pas de recherche d'équilibre des classes d'âges) et de la futaie

⁷ L'approche par chantiers a permis de générer près de 800 compartiments spatialement explicites pour l'ensemble des deux UAF du Témiscamingue.

⁸ On pensera aux logiciels comme Outil-DICA, ASEF ou SaMare, par exemple.

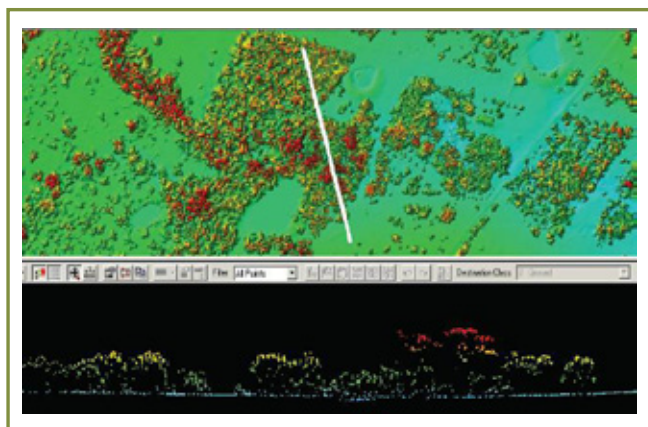


Figure 5. Identification des structures verticales (couleurs) du peuplement et transect (source : CERFO).

régulière (maintien plus longtemps d'un couvert partiel protecteur). Reconnu internationalement⁹ (LESSARD et KELEN 2004) et réputé proche de la nature, il utilise au maximum les forces de production de la station et présente une grande souplesse face à la variabilité et l'hétérogénéité. Ce régime présente de grands avantages en présence d'espèces à longévité variable puisqu'il permet un étalement de la récolte (CERFO 2007). Il permet également de maintenir plusieurs attributs de vieilles forêts (BOURNIVAL *et al.* 2011; CERFO 2011b; JOANISSE *et al.* 2011a, 2011b). Sa capacité à gérer la lumière par le contrôle du couvert est particulièrement utile pour la production d'espèces semi-tolérantes et le contrôle de la végétation concurrente. Plus de 6 000 ha répartis dans une quinzaine de dispositifs, d'essais et de projets de déploiement explorent ce régime et son application (BLOUIN et RYABEL 2000, BLOUIN *et al.* 2007, RAYMOND *et al.* 2009, BOURNIVAL *et al.* 2010, LALIBERTÉ *et al.* 2010, CERFO 2011a).

De nouveaux outils sylvicoles

Par ailleurs, on assiste au Québec à un raffinement des outils sylvicoles. Les guides sylvicoles permettent déjà d'améliorer nos connaissances sur l'autécologie des espèces, particulièrement le bouleau jaune, le thuya du Canada, les érables, les épinettes, le pin blanc et même le chêne rouge. L'importance du scarifiage n'est plus à démontrer (DESJARDINS *et al.* 2010). Les connaissances sur l'utilisation de trouées et des lisières se développent (LESSARD *et al.* 1999, PRÉVOST et RAYMOND 2010). De nouvelles méthodes de martelage¹⁰ apparaissent tels le marquage positif ou même la sélection de tiges par l'opérateur de récolte. Faire le ménage (par exemple ne ramasser que les tiges défectueuses S et M) ne suffit plus, une approche plus sylvicole, ayant une intention

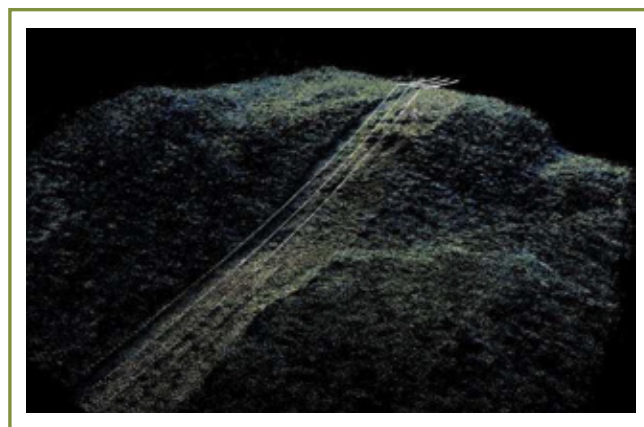


Figure 6. Drapé du modèle terrain présentant une multitude de points de hauteur sur la photo (site Internet de XEOS).

de production, est préconisée, plus près des fonctions sylvicoles de croissance du peuplement résiduel ou de la régénération à promouvoir. D'autre part, la machinerie évolue et plusieurs abatteuses multifonctionnelles sont en développement (ANONYME 2011).

Des besoins pour la mise en œuvre des connaissances acquises

En sylviculture, les recherches récentes ont permis d'approfondir plusieurs connaissances fondamentales. Il s'agit maintenant de les rendre opérationnelles : on peut penser aux difficultés de scarifier sous le couvert et aux modalités pour optimiser à la fois la croissance et le renouvellement des peuplements tout en maintenant les différentes fonctions des écosystèmes. Plusieurs questions demeurent parmi lesquelles :

- Comment transformer les nouvelles connaissances sur la gestion de la lumière en instructions de martelage ?
- Est-ce vraiment souhaitable d'avoir un couvert permanent pour des espèces semi-tolérantes ?
- Comment réaliser les coupes secondaires quand la régénération est mise en place ?
- Comment intégrer la dimension économique dans les coupes secondaires ?
- Quand enlever le couvert dans les coupes progressives et les coupes progressives irrégulières ?
- Que faire avec les différents types de peuplements dégradés ?
- Comment intégrer la rétention dans les coupes ?

⁹ *Femelschlag* (allemand), *Irregular Shelterwood* (anglais), Coupe progressive à régénération lente (France).

¹⁰ Un début de valorisation du travail de martelage a été récemment amorcé et devrait se poursuivre dans les prochaines années grâce à d'autres classifications de tiges (qualité, classe sylvicole, etc.) en complément à l'actuel système de priorisation de récolte MSCR.

Conclusion

La complexité et l'hétérogénéité de la forêt mixte doivent être gérées. Des changements de paradigmes et l'utilisation de méthodes de travail plus performantes deviennent alors une nécessité. Des méthodes d'ingénierie doivent être appliquées.

D'un côté, en aménagement, une forêt future est à concevoir. Différents scénarios sont créés avec différents niveaux d'intégration des diverses fonctions. La recherche opérationnelle, notamment la programmation linéaire, devient un outil indispensable pour l'évaluation des divers impacts. Mais, alors que toutes les unités de gestion travaillent à préparer des PAFI, il est grand temps que la réflexion sur les orientations, zonages fonctionnels et objectifs s'amorce. Quelle forêt mixte désire-t-on dans 50 ans ?

En sylviculture, au côté des nouvelles connaissances et des nouveaux outils (ex. futaie irrégulière), il est grand temps que les professionnels s'affranchissent des carcans normatifs pour devenir autonomes. C'est à travers une démarche diagnostique rigoureuse, inspirée des méthodes d'ingénierie de processus et adaptée à chaque situation, que l'on pourra faire face aux défis de la forêt mixte : quels attributs doit-on atteindre, quelles sont les problématiques actuelles et les options potentielles, incluant les plus farfelues ? Si on désire réellement créer de la richesse avec les moyens très modestes disponibles, il faudra faire preuve d'imagination et d'une grande capacité d'innovation. En ce sens, les guides sylvicoles peuvent être un atout pour les nouvelles connaissances, mais aussi un piège pour le processus de prescription sylvicole. Il faut conserver une place prépondérante à l'acte professionnel d'ingénierie dans le nouveau régime.

Références

- ANONYME, 2011. *Têtes multifonctionnelles : récolte et façonnage*. Revue opérations forestières 46(3) : 14-19.
- BLOUIN, D. et T. RYABEL, 2000. *Différentes méthodes de coupes progressives et productivité de récolte dans les peuplements mélangés à dominance résineuse, aire commune 41-02*. CERFO. Rapport 2000-05. 29 p. + 1 annexe.
- BLOUIN, D., G. LESSARD et P.L. DESJARDINS, 2007. *Régénération par coupe progressive irrégulière*. CERFO et Groupement forestier Baie-des-Chaleurs. Rapport 2007-03. 63 p. + 17 annexes.
- BOURNIVAL, P., D. BLOUIN, G. JOANISSE, G. LESSARD, M. RUEL, R. OUMET, J.-D. MOORE et L. DUCHESNE, 2010. *Implantation d'un dispositif de comparaison de traitements pour optimiser la fonction de régénération dans les érablières envahies par le hêtre*. CERFO et ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF). Rapport 2010-30. 39 p. + 4 annexes.
- BOURNIVAL, P., M. RUEL, D. BLOUIN, G. LESSARD et P.-E. LORD, 2011. *Suivi des indicateurs de biodiversité et de chablis à la suite d'une coupe progressive irrégulière pour répondre à l'OPMV4 - Cas d'une sapinière à épinettes de la Gaspésie située dans l'UAF 111-51*. CERFO. Rapport 2011 22. 54 p. + 6 annexes.
- CERFO, 2007. *Sylviculture adaptée aux peuplements mixtes : les coupes progressives irrégulières*. CERFO. Technote 2007-05. 4 p.
- CERFO, 2011a. *La coupe progressive irrégulière : pour une mise en œuvre opérationnelle*. CERFO. Technote 2011-02. 6 p.
- CERFO, 2011b. *La coupe progressive irrégulière en réponse à plusieurs enjeux de biodiversité*. CERFO. Technote 2011-01. 6 p.
- COMITÉ SCIENTIFIQUE SUR LES ENJEUX DE BIODIVERSITÉ, 2007. *Enjeux de biodiversité de l'aménagement écosystémique dans la réserve faunique des Laurentides*. Rapport préliminaire du comité scientifique. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec. 118 p.
- DESJARDINS, P.-L., D. BLOUIN et G. LESSARD, 2010. *Essais de différentes méthodes de préparation de terrain favorisant la régénération du bouleau jaune et de l'épinette blanche - Suivi après 3 ans*. Rapport du Groupement forestier coopératif Baie-des-Chaleurs et du CERFO. 66 p. + 4 annexes.
- JOANISSE, G., P. BOURNIVAL, G. LESSARD et L. VACHON, 2011a. *Évaluation des effets de la coupe progressive irrégulière sur la dynamique forestière : installation du dispositif de suivi du bois sur pied*. CERFO. Rapport 2011-21. 53 p. + 5 annexes.
- JOANISSE, G., P. BOURNIVAL, G. LESSARD, L. VACHON, F. GRENON, D. BLOUIN et D. DURAND, 2011b. *Cas de la sapinière à bouleau jaune : projet pilote de mise en œuvre dans l'UAF 012-53 des pratiques sylvicoles adaptées dans le cadre de l'OPMV 4*. CERFO. Rapport 2010-07. 69 p. + 8 annexes.
- JOANISSE, G., S. CÔTÉ, G. LESSARD, E. BOULFROY et D. BLOUIN, 2011c. *Bonification de la stratégie d'aménagement forestier de la station de Duchesnay*. CERFO. Rapport 2011-02. 118 p. + 10 annexes.
- JOANISSE, G., G. LESSARD, M. RUEL et P. BOURNIVAL, 2011d. *Projet de stratification opérationnelle dans l'élaboration des plans de sondage et des prescriptions sylvicoles à l'aide d'un raffinement de la photo-interprétation existante. Partie I*. CERFO. Rapport 2011-16. 216 p. + 8 annexes.
- LALIBERTÉ, J., D. BLOUIN, G. LESSARD et E. BOULFROY, 2010. *Essai de coupe progressive irrégulière dans un peuplement mixte de la sapinière à bouleau jaune (Dispositif du lac Turcotte, La Tuque) - Suivi de la régénération*. CERFO. Rapport 2010-29. 37 p. + 4 annexes.
- LESSARD, G., 2011. *Utilisation de la photo-interprétation fine. Rapport d'atelier présenté à l'Unité de gestion Manicouagan-Outardes et au ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec*. CERFO 2011-14. 60 p.

- LESSARD, G. et G. KELEN, 2004. *Entre les coupes progressives et le jardinage par trouées : le cas des coupes progressives irrégulières. Synthèse de littérature*. CERFO. 132 p.
- LESSARD, G., D. BLOUIN, F. GRENON et G. JOANISSE, 2009a. *Essai de régénération de chêne rouge dans une érablière de sommet. Diagnostic, prescriptions et suivi du martelage*. CERFO. Rapport 2009-11. 82 p.
- LESSARD, G., D. BLOUIN, G. JOANISSE et L. VACHON, 2009b. *Diagnostic et prescription de traitements sylvicoles dans les érablières à bouleau jaune de Lanaudière*. CERFO. Rapport 2009-10. 75 p.
- LESSARD, G., T. RYABEL, D. BLOUIN, M. HUOT, R. JOBIDON, C. CAMIRÉ et C. OLIVIER, 1999. *L'utilisation des trouées dans la régénération des forêts du Québec*, Cours n° 39. Encart de l'Aubelle 128 : 15.
- NYLAND, R.D., 1996. *Silviculture: Concepts and Applications*. McGraw-Hill series in Forest Resources. New York : McGraw-Hill. McGraw-Hill, New York. 633 p.
- OIFQ, 2009. *Manuel de foresterie*. Nouvelle édition entièrement revue et augmentée. Les Éditions MultiMondes, Québec. 1 540 p.
- PINEAU, M. et G. LESSARD. 2003. *Fondements de la foresterie*. Document de référence. Cours For 17239. Université Laval, Faculté de foresterie et de géomatique.
- PRÉVOST, M. et P. RAYMOND, 2010. *La coupe par trouées, une option pour régénérer la bétulaie jaune résineuse?* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 21. 2 p.
- RAYMOND, P., S. BÉDARD, V. ROY, C. LAROUCHE et S. TREMBLAY, 2009. *The irregular shelterwood system: review, classification, and potential application to forests affected by partial disturbances*. J. For. 107(8) : 405-413.

La synthèse des enjeux écologiques pour l'aménagement écosystémique de la sapinière à bouleau jaune du Québec

Frédéric Doyon, ing.f., Ph. D.^{1,2,4} et Hirondelle Varady-Szabo, biol., M. Sc.³



Frédéric Doyon est professeur en écologie forestière à l'Université du Québec en Outaouais et directeur scientifique à l'Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. Il est membre régulier du Centre d'étude de la forêt. Son expertise scientifique couvre les domaines de l'écologie du paysage, de la modélisation spatiale, de la dynamique naturelle de la forêt feuillue tempérée, et la sylviculture et la croissance des peuplements de cette forêt. Ses récents travaux portent sur les effets des changements climatiques

sur les forêts méridionales du Québec et la vulnérabilité et l'adaptation des communautés qui en dépendent.



Hirondelle Varady-Szabo a complété une maîtrise en entomologie forestière à l'Université McGill. Elle a d'abord travaillé comme chercheure à l'Arboretum Morgan de l'Université McGill et travaille maintenant depuis 5 ans au Consortium en foresterie Gaspésie-les-Iles où elle occupe le poste de chargée de recherche et de transfert de connaissances. Ses travaux portent sur la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique et la gestion intégrée des ressources.

Introduction

La sapinière à bouleau jaune est le domaine bioclimatique de la forêt tempérée le plus septentrional dont la limite nord correspond à celle du bouleau jaune. Ce type d'écosystème est observé presque exclusivement au Québec et en Ontario. Plusieurs éléments lui confèrent sa complexité et rendent son aménagement tout aussi complexe. Comme il constitue une zone de transition entre la forêt feuillue tempérée et la forêt boréale, il est composé de plusieurs espèces résineuses et feuillues aux caractéristiques écologiques variées. Il est situé à proximité des zones habitées. Ainsi, les usages sur le territoire sont multiples et des problèmes d'harmonisation sont fréquents. De plus, sa dynamique naturelle fait intervenir une multitude d'agents perturbateurs, tels les facteurs exogènes du feu et des épidémies de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, ainsi qu'une dynamique endogène de remplacement par trouées. Il en résulte une très grande diversité de peuplements forestiers.

Au Québec, l'aménagement écosystémique est devenu le nouveau paradigme d'aménagement forestier et ses fondements sont inscrits dans le nouveau régime forestier qui entrera en vigueur en 2013. Pour mettre en œuvre l'aménagement écosystémique, un processus a été développé, basé sur la comparaison des caractéristiques écologiques actuelles et celles jugées comme reflétant l'état naturel. Ainsi, des cibles de restauration peuvent être établies sur la base de la compréhension des écarts qui existent entre ces deux états. Cette évaluation se fait sur la base de six enjeux écologiques, ceux-ci étant : la modification de la composition végétale des forêts, la modification de la structure d'âge des forêts, la simplification de la structure interne des peuplements, la raréfaction de certaines formes de bois mort, la modification de l'organisation spatiale des forêts, et les espèces nécessitant une attention particulière pour assurer leur maintien. Les cibles de restauration peuvent par la suite servir à l'établissement de stratégies de mise en œuvre dans lesquelles des actions, incluant des pratiques sylvicoles spécifiques, concourent au rétablissement des caractéristiques naturelles jugées essentielles pour le bon fonctionnement de l'écosystème.

¹ Institut Québécois d'Aménagement de la Forêt Feuillue
58, rue Principale
Ripon (Québec) J0V 1V0

² Université du Québec en Outaouais
Département des sciences sociales
Secteur Foresterie
283, boul. Alexandre-Taché,
C.P. 1250, succursale Hull,
Gatineau (Québec) J8X 3X7

³ Consortium en foresterie Gaspésie-les-Iles
37, rue Chrétien, bureau 26
C.P. 5
Gaspé (Québec) G4X 1E1

⁴ fdoyon@iqaff.qc.ca

DOYON, F. et H. VARADY-SZABO, 2012. *La synthèse des enjeux écologiques pour l'aménagement écosystémique de la sapinière à bouleau jaune du Québec*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? Colloque de transfert de connaissances*, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada, p. 9-20.

Cette approche, qui fut proposée par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, a été appliquée à l'ensemble du Québec. Un travail important de documentation a donc été effectué par les Commission régionale des ressources naturelles et de territoire (CRRNT) de chacune des Conférences régionales des élus (CRÉ) lors de la confection du Plan régional de développement intégré des ressources et du territoire (PRDIRT). Nous nous sommes servis de cette importante source d'information pour faire la synthèse des enjeux écologiques liés à la sylviculture en forêt mixte.

Le but de ce travail était d'évaluer l'état d'avancement de la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique dans les régions du Québec comprenant la sapinière à bouleau jaune et d'identifier des solutions reliées à l'aménagement et à la sylviculture pour favoriser la restauration des états naturels. Plus spécifiquement, dans ce travail nous avons :

- relevé les enjeux écologiques de l'aménagement écosystémique identifiés par les CRRNT ayant trait spécifiquement au domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune (SaBj);
- présenté les différentes approches d'évaluation des enjeux écologiques;
- fait ressortir les enjeux écologiques communs et les spécificités régionales;
- distingué les enjeux écologiques documentés de ceux appréhendés;
- relevé les solutions identifiées pour répondre aux objectifs d'aménagement écosystémique.

1. Méthodologie

Pour cette synthèse, toutes les régions du Québec dans lesquelles on trouve de la sapinière à bouleau jaune ont été recensées (Figure 1). Deux régions, Chaudière-Appalaches et Côte-Nord, n'ont pas été considérées dans l'analyse étant donné la faible représentation de la sapinière à bouleau jaune sur leur territoire. Pour chacune des régions incluses à l'étude, tous les documents ayant servi à identifier les enjeux écologiques pour la confection des PRDIRT ont été analysés. Les informations ayant servi à réaliser le portrait des enjeux écologiques ont ensuite été utilisées afin de synthétiser des éléments communs et divergents aux différentes régions. La synthèse a porté plus particulièrement sur :

- les approches et les sources de données utilisées;
- les balises écologiques identifiées;
- les enjeux mis en priorité;
- les solutions proposées pour redresser la situation et réduire l'écart entre l'état de référence identifié et l'état actuel.

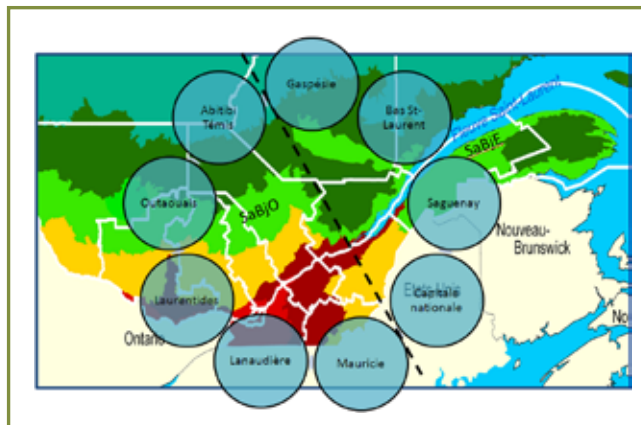


Figure 1. La synthèse des informations a été effectuée sur les 10 régions administratives couvertes par la sapinière à bouleau jaune (SaBjO = de l'ouest, SaBjE = de l'est).

2. Résultats et discussion

2.1 La documentation des enjeux écologiques

2.1.1 La modification de la composition végétale des forêts

Plusieurs méthodes ont été employées pour documenter l'enjeu de composition.

Pour le portrait de référence, diverses données ont été utilisées (Tableau 1) :

- Les données issues des carnets d'arpentage des premiers colons ont été utilisées dans les régions du Bas-Saint-Laurent, de l'Outaouais, de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et de Lanaudière (DUPUIS 2009, PINNA *et al.* 2009, MAURI ORTUNO 2010, MAURI ORTUNO et DOYON 2010);
- Les données provenant d'archives telles les plans d'aménagement (BOULFROY *et al.* 2010, CHAILLON 2010, JACQUES 2010, ALVAREZ *et al.* 2011); des placettes d'inventaire (BARRETTE et BÉLANGER 2007, CHAILLON 2010) ou des photographies aériennes (NOLET *et al.* 2001, BOUFFARD *et al.* 2003, BOUCHER *et al.* 2009, DOYON et BOUFFARD 2009a) ayant servi à la planification des compagnies forestières ont été utilisées dans les régions du Bas-Saint-Laurent, du Saguenay-Lac-Saint-Jean, de la Capitale-Nationale, de la Mauricie, de Lanaudière et des Laurentides;
- Les cartes écoforestières du 1^{er} Programme d'inventaire forestier du ministère des Ressources naturelles et de la Faune ont été utilisées dans les régions de l'Outaouais et Lanaudière (ROY *et al.* 2009, CRRNT PUBLIC DE L'OUTAOUAIS 2011);
- Les connaissances accumulées sur le régime de perturbations pour déterminer la variabilité naturelle des structures d'âge avec l'aide de la modélisation ont été utilisées dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue (LECOMPTÉ *et al.* 2010).

Tableau 1. Sources de données pour les états de référence (É. ref.) et les portraits actuels (P. act.) ainsi que le statut de l'analyse des écarts (A. écart) pour chacun des enjeux écologiques par région administrative du Québec comprenant de la sapinière à bouleau jaune. Les références citées dans le tableau (numéros) sont présentées en détail dans la liste des références à la fin du présent texte.

Régions	Composition			Structure d'âge			Structure interne			Bois mort			Organisation spatiale			Espèces sensibles	
	É. ref.	P. act.	A. écart	É. ref.	P. act.	A. écart	É. ref.	P. act.	A. écart	É. ref.	P. act.	A. écart	É. ref.	P. act.	A. écart	Portrait	A. écart
01	CA 1846-1900 ¹ PA 1930 ²	PI II, III, IV ¹ PI III ²	Oui ^{1,2}	PA 1930 ²	CÉ III ² CÉ IV ³	Oui ^{2,3}	*RL ³	*CÉ IV ³	*App ³	*RL ³	*RL ³	*App ³	*PA 1930 ³	*CÉ IV ³	*Oui ^{3@}	*LEMV ³ *LEDIA ³	*App ³
02	PAm 1925 ⁴ PI 1925 ⁴	*PAm I, II, III ⁵	App ⁶	PAm 1925 ⁴ PA 1925 ⁶	CÉ III ⁶	Oui ⁶	PAm 1925 ⁴ PI 1925 ⁴	CÉ III ⁶	App ⁶	RL ⁶	RL ⁶	App ⁶	PAm 1925 ⁶ PI 1925 ⁶	CÉ III ⁶	Oui ⁶	*LEMV ⁶	*App ⁶
03	PAm 1959 ^{7,8}	CÉ IV ⁷	Oui TC ⁷	PAm 1959 ⁸	CÉ IV ⁷	Oui ⁷	EFE ⁷ RL ⁷	RL ⁷	App ⁷	EFE ⁷	N.D.	N.D.	PAm 1959 ^{7,8}	N.D.	N.D.	*LEMV ⁹	*App ⁹
04	PI 1921-30 ¹⁰ PAm <1946 ¹¹ PI 1959-60 ¹²	CÉ IV ¹²	Oui ^{12,13}	M ¹²	CÉ IV ¹²	Oui ¹²	M ¹²	CÉ IV ¹²	Oui ^{12,13}	N.D.	N.D.	App ^{12,13}	IP ¹²	CÉ IV ¹²	App ^{12,13}	LEMV ¹²	App ¹²
*07	CÉ I ¹⁴ CA 1810-1900 ¹⁵	CÉ IV ¹⁵	Oui ^{14,15}	CÉ II ¹⁴	CÉ IV ¹⁵	Oui ¹⁴	CÉ II ¹⁴	CÉ IV ¹⁵	Oui ¹⁴	RL ¹⁷	N.D.	App ¹⁴	N.D.	CÉ IV ^{14@}	Oui ¹⁴	LEMV ¹⁴	App ¹⁴
08	M ¹⁶	CÉ IV ¹⁶	Oui ¹⁶	M ¹⁶	CÉ IV ¹⁶	Oui ¹⁶	M ¹⁶	CÉ IV ¹⁶	App ¹⁶	RL ¹⁸ M ¹⁶	N.D.	App ¹⁶	N.D.	CÉ IV ^{16@}	Oui ¹⁶	N.D.	□
11	CA 1836-75 ¹⁹	PI III ²⁰	Oui ²⁰	REP ²¹ CA 1836-75 ¹⁹	CÉ IV ²²	Oui ²²	*EFE ²³ *RL ²³	PI III ²³ CÉ IV ²³	App ²³	*EFE ²⁴ *RL ²⁴	*RL ²⁴ *PI 2007 ²⁴	*App ²⁴	BER ²¹	CÉ IV ^{25@}	Oui ²⁵	*LEMV ²⁵	*App ²⁵
14	PI 1921-30 ¹⁰ PAm <1946 ¹¹ CA 1810-1900 ²⁷	CÉ IV ²³	Oui ²⁹	PI 1921-30 ¹⁰ PAm <1946 ¹¹ PA 1945 ²⁷	CÉ IV ²⁹	Oui ²⁹	EFE ²⁸ RL ²⁸	PI ^{29,30}	Oui ²⁹	EFE ²⁸ RL ¹⁸	N.D.	App ²⁹	N.D.	CÉ IV ^{29@}	App ²⁹	N.D.	App ²⁹
15	PA 1928-45 ^{31,32,33,35} PAm 1957 ^{34,36}	CÉ IV ³⁷	Oui ³⁷	PA 1928-45 ^{31,32,33,35} Pam 1957 ^{34,36}	CÉ IV ³⁷	Oui ³⁷	PA 1928-45 ^{31,32,33,35}	CÉ IV ³⁷	Oui ³⁷	RL ¹⁸	DI ^{38,39}	Oui ³⁷	Pam 1957 ³⁴	CÉ IV ³⁴	Oui ³⁷	LEMV ⁴⁰ M ³⁷	Oui ³⁷

Régions administratives : 01 : Bas-Saint-Laurent, 02 : Saguenay-Lac-Saint-Jean, 03 : Capitale-Nationale, 04 : Mauricie, 07 : Outaouais, 08 : Abitibi-Témiscamingue, 11 : Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, 14 : Lanaudière, 15 : Laurentides.

* Effectué à l'échelle régionale comprend plus que la SaBj.

@ = Analyse spatiale de la connectivité et de la fragmentation, π = Évaluation de la sensibilité des espèces aux changements climatiques.

\$ = Modélisation à l'aide d'Indice de Qualité d'Habitat du grand pic, du moucheron tchèque, de la perdrix et de la paruline couronnée, de la martre, de la sittelle à poitrine rousse et du tétras du Canada.

N.D. = Non déterminé, CA = Carnets d'arpentage, PA = Photographie aérienne, PI = Placette d'inventaire, PAm = Plan d'aménagement, CÉ = Cartographie écoforestière.

PF = Possibilité forestière calculé par le FEC, M = Modélisation, RER = Registre des états de référence, RL = Revue de littérature, App = Appréhendé, TC = Type de couvert.

IP = Données historiques sur les perturbations naturelles. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF 2009).

LEMV = Liste des espèces désignées ou vulnérables, LEDIA = Liste d'espèces ayant subi une diminution importante de leur abondance.

I = 1^{re} (années 1970), II = 2^e (années 1980), III = 3^e (années 1990), IV = 4^e (ayant débuté en 2002) programme d'inventaire forestier du ministère des Ressources naturelles et de la Faune.

Tableau 2. Pourcentage de l'état de référence (É. ref.) et du portrait actuel (P. act.) et différence dans l'importance qu'occupait chaque type de couvert (feuillu, mixte et résineux) par région administrative du Québec comprenant de la sapinière à bouleau jaune (SaBj). Les aires d'étude réfèrent à la division comprenant de la SaBj utilisée pour documenter l'enjeu.

Région	Aires d'étude	Feuillu			Mixte			Résineux		
		É. ref.	P. act.	Enjeux	É. ref.	P. act.	Enjeux	É. ref.	P. act.	Enjeux
Gaspésie	RE 4g	12%	27%	↑15%	52%	50%	≈	35%	23%	↓12%
	RE 4h	15%	21%	↑6%	39%	54%	↑15%	46%	25%	↓21%
Bas-Saint-Laurent	BV Rimouski	3%	12%	↑9%	28%	22%	≈	64%	25%	↓39%
	BV Mitis	1%	11%	↑10%	29%	29%	≈	64%	27%	↓37%
Saguenay	SD SbBj	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Capitale nationale	SD SbBj de l'ouest	29%	29%	≈	40%	59%	↑19%	31%	12%	↓19%
Mauricie	SD SaBj de l'ouest	14%	29%	↑15%	51%	49%	≈	35%	28%	↓7%
Lanaudière	UAF 62-52	12%	31%	↑19%	49%	51%	≈	37%	17%	↓20%
Laurentides	SaBj de l'ouest	11-34%	20-52%	↑13% (Ft)	48-65%	32-49%	↓ 16% MR	9-22%	7-30%	↓ légère
Abitibi-Témiscamingue	SaBj UH MoJt1a*	N.D.	N.D.	↑ Fi	N.D.	N.D.	↓ des MR ↑ des MFiF	N.D.	N.D.	↓
	SaBj UH MoJt2a*	N.D.	N.D.	≈	N.D.	N.D.	↑ MF	N.D.	N.D.	↓
	SaBj UH Mos5a*	N.D.	N.D.	↓ Fi	N.D.	N.D.	↑ MF	N.D.	N.D.	↓
Outaouais	Région	27%	50%	↑23%	34%	35%	≈	43%	15%	↓28%

RE = Région écologique, BV = Bassin versant des rivières, SD = Sous domaine.

UAF = Unité d'aménagement forestier, UH = Unité homogène, N.D. = Non déterminé.

Ft = Feuillu tolérant, Fi = Feuillu intolérant, MR = Mixte à dominance résineuse, MFiF = Mixte à dominance feuillu intolérant

* = Estimation à partir de l'analyse réalisée au niveau des peuplements (LECOMPTE *et al.* 2010).

↑ = Augmentation, ↓ = Diminution, ≈ = Maintien.

Tableau 3. Différence dans l'importance qu'occupait chacune des principales espèces entre l'état de référence et le portrait actuel par régions administratives du Québec comprenant de la sapinière à bouleau jaune (SaBj). Les aires d'étude réfèrent à la division comprenant de la SaBj utilisée pour documenter l'enjeu.

Région	Aires d'étude	Épinettes	Sapin	Thuya	Pin	Érables	Peuplier	Bouleau jaune	Bouleau blanc
		Écart	Enjeux	Enjeux	Enjeux	Enjeux	Enjeux	Enjeux	Enjeux
Gaspésie-îles-de-la-Madeleine	RE 4g	↓10%	↓ 1 %	↓ 13 %	↓10 %	↑ 43 %	↑ 17 %	↓ 11 % #	↓ 11 % #
	RE 4h	↓ 23 %	↓ 2 %	↓ 2 %	↓ 2 %	↑ 18 %	↑ 14 %	↓ 10 %	↓ 19 %
Bas-Saint-Laurent	SD SaBj de l'est	↑ 4 %	↑ 21 %	↓ 18 %	↓ 2 %	↑ 40 %	↑ 36 %	↑ 1 %	↑ 34 %
Saguenay	SD SaBj	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Capitale nationale	SD SaBj de l'ouest	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Mauricie	SD SaBj de l'ouest	↓ 13%	↑ 5 %	↓ 0,9%	↓ 8%	≈	↑ 4%	↑ 4%	↑ 6%
Lanaudière	UAF 62-52	↓ 9%	↑ 11 %	↓ 1 %	↓ 10%	↑ 8%	↑ 10%	≈ 0%	≈ 0%
Laurentides	SaBj de l'Ouest	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Témiscamingue	SaBj UH MoJt1a*	↓ 10%	↓ 1%	↓ 1 %	↓ 1 %	↓ 2%	↑ 5%	N.D.	N.D.
	SaBj UH MoJt2a*	↓ 2%	↓ 10%	≈	↓ 2 %	↑ MRF	↑ 5%	N.D.	N.D.
	SaBj UH Mos5a*	↓ 2%	↓ 1%	↑ 1 %	↓ 1 %	≈	↓ 6%	N.D.	N.D.
Outaouais	Région	↓ 6%	↓ 7%	↑ 1 %	↓ 12 %	↑ 18% Ft	↑ 3%	↑ 2% #	↑ 2% #

RE = Région écologique, SD = Sous domaine.

UAF = Unité d'aménagement forestier, UH = Unité homogène.

MoJt = Forêt mélangée de l'Ouest à bouleau blanc, sapin et bouleau jaune typique.

inclus bouleau blanc et jaune

* = Estimation à partir de l'analyse réalisée au niveau des peuplements (LECOMPTE *et al.* 2010).

↑ = Augmentation, ↓ = Diminution, ≈ = Maintien.

Les placettes d'échantillonnage ou la cartographie des programmes d'inventaire forestier du ministère des Ressources naturelles et de la Faune ont servi à faire le portrait actuel de cet enjeu.

L'ensemble des régions ayant documenté l'enjeu de composition pour le domaine de la sapinière à bouleau jaune ont montré un remplacement du couvert résineux par un couvert feuillu ou mixte entre le portrait forestier actuel et le portrait forestier naturel (Tableau 2). Dans bien des régions, il est possible d'observer un double enfeuillement, soit l'augmentation des feuillus tolérants et des feuillus intolérants. Chacun de ces enfeuillements fait appel à des mécanismes différents. Premièrement, les coupes sélectives visant à récolter les meilleures tiges de résineux et donc les meilleurs semenciers ont favorisé la diminution des pins, du thuya et des épinettes (Tableau 3). Il est possible que ces essences aient subi une diminution réelle encore plus importante que celle documentée, car leur abondance avait probablement déjà baissé avant les années de référence utilisées pour les portraits naturels (DUPUIS 2009, PINNA *et al.* 2009). De plus, l'application de ces coupes partielles a favorisé le développement des feuillus tolérants. Deuxièmement, l'application d'un régime de futaies régulières à large échelle a favorisé la propagation des essences plus compétitives ou à croissance plus rapide comme l'érable à sucre, l'érable rouge, le peuplier faux-tremble et le sapin baumier (Tableau 3) (ABRAMS et SCOTT 1989, BERGERON et CHARRON 1994, ABRAMS 1998, FORTIN 2008). Le sapin est l'essence pour laquelle il y a le plus de divergence entre les régions. En effet, le Bas-Saint-Laurent, la Mauricie et Lanaudière ont documenté une augmentation de sa fréquence, l'Abitibi-Témiscamingue et l'Outaouais une diminution, et la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, une diminution non significative. Peu de régions ont documenté la fréquence du bouleau blanc individuellement (sans l'associer au bouleau jaune) et les résultats obtenus sont contradictoires. La région de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine a documenté une diminution, et le Bas-Saint-Laurent et la Mauricie ont documenté une augmentation (Tableau 3). La diminution du bouleau blanc en Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine provient, entre autres, du dépérissement important qu'a connu cette espèce (ainsi que le bouleau jaune) dans les années 1940. Les causes de ce phénomène ne sont toujours pas connues (PINNA *et al.* 2009).

La végétation compétitive est aussi un aspect important de l'enjeu de composition, car elle compromet le retour à un peuplement original. En effet, elle opprime la régénération préétablie et empêche l'établissement de la régénération désirée (VINCENT 1965, ARCHAMBAULT *et al.* 1998). La superficie en bétulaies jaunes résineuses potentiellement dégradées au Québec est estimée à 140 000 ha, soit 2,3 % de sa superficie totale (ROY et



Figure 2. Évaluation de l'enjeu des forêts mûres et surannées dans les différentes régions de la sapinière à bouleau jaune. La balise écologique utilisée par la région se trouve entre crochets et la valeur de l'état actuel est en italique.

PRÉVOST 2001). Dans ces peuplements, la régénération en essences désirées y est parfois présente, mais rarement libre de croître. D'après GASTALDELLO (2007) les principales espèces envahissantes sont l'érable à épis (*Acer spicatum* Lam), le cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pennsylvanica* L.f.) et la viorne à feuille d'aune (*Viburnum alnifolium* Marsh.).

2.1.2 Modification de la structure d'âge des forêts

La caractérisation d'états de référence en ce qui concerne la structure d'âge des forêts a pu être effectuée dans les différentes régions à l'aide d'une multitude de techniques (Tableau 1). Parmi les sources historiques utilisées, notons : 1) les placettes d'inventaire installées par les premières compagnies forestières, telles qu'employées par BARRETTE et BÉLANGER (2007) et TITLER (2010), 2) les carnets d'arpentage (PINNA *et al.* 2009), 3) les photos aériennes du début du XX^e siècle (NOLET *et al.* 2001, BOUFFARD *et al.* 2003, BOUCHER *et al.* 2009, DOYON et BOUFFARD 2009a; ALVAREZ *et al.* 2011), 4) les anciens plans d'aménagement forestier des compagnies forestières (NOLET *et al.* 2001; PUIGDEVALL 2009; SICARD *et al.* 2009a, 2009b; BOULFROY *et al.* 2010; ALVAREZ *et al.* 2011) et 5) les cartes écoforestières des premiers inventaires décennaux (ROY *et al.* 2009, CRRNT PUBLIC DE L'OUTAOUAIS 2011). D'autres se sont servis des connaissances accumulées sur le régime de perturbations pour déterminer la variabilité naturelle des structures d'âge à l'aide de la modélisation (LECOMTE *et al.* 2010, TITLER 2010).

Dans plusieurs cas, l'intérêt principal de leur analyse était centré sur l'importance que les vieilles forêts occuperaient naturellement dans le paysage ainsi que la caractérisation de sa variabilité sur le territoire (Figure 2). En général, pour l'ensemble des régions, un déficit important en vieilles forêts est observé. Pour certaines régions, tels la Gaspésie, le Bas-Saint-Laurent, le

Témiscamingue, la Mauricie et le Saguenay, ce déficit est très important. La seule région qui fasse défaut à cette généralité est celle des Laurentides. En effet, pour cette région, on observe actuellement plus de peuplements vieux qu'il y en avait au début du XX^e siècle. Cette situation peut s'expliquer par l'importance que les feux de 1923 ont eus dans cette région et l'augmentation notable des peuplements de feuillus tolérants à structure inéquienne (DOYON et BOUFFARD 2009b).

2.1.3 La simplification de la structure interne des peuplements

Il existe peu de sources pouvant servir de référence afin de définir des balises écologiques en matière de structure interne des peuplements. Les carnets d'arpentage comportent très peu d'information dendrométrique. Ainsi, pour plusieurs régions, cet enjeu a été appréhendé à partir de connaissances provenant de revues de la littérature (telles que fournies par DOYON et BOUFFARD 2009b, par exemple). Autrement, certaines régions se sont servies de la caractérisation de la structure effectuée à partir de placettes d'inventaire dans les écosystèmes forestiers exceptionnels (EFE) (ROY *et al.* 2009; JACQUES 2010; PERROTTE CARON *et al.*, en préparation, a) ou de placettes d'inventaires forestiers anciens (BARRETTE et BÉLANGER 2007, CHAILLON 2010). En comparant la position dans le triangle des structures des peuplements de référence provenant des écosystèmes forestiers exceptionnels avec les placettes d'inventaire, ROY *et al.* (2009) et PERROTTE CARON *et al.* (en préparation, a) ont pu présenter les différences qui existent entre les écosystèmes non altérés et ceux aménagés. Les photos aériennes anciennes ont pu aussi être utilisées à cette fin en ce qui concerne l'évaluation de la densité des peuplements ou bien de la nature régulière, irrégulière ou inéquienne (NOLET *et al.* 2001, BOUFFARD *et al.* 2003, DOYON et BOUFFARD 2009a). Pour les deux régions du Témiscamingue et de la Mauricie, une approche par modélisation a été utilisée en faisant référence au modèle des trois cohortes développé par BERGERON (2000) et HARVEY *et al.* (2002).

De façon générale, on remarque pour chacune des régions que la réduction de la quantité de peuplements vieux dans le territoire a pour effet de réduire la proportion de peuplements à structure complexe. On assiste donc à une simplification de la structure interne dans le paysage. Sur la base des structures d'âge identifiées à partir d'analyses dendrochronologiques de peuplements d'âges différents dans la sapinière à bouleau jaune, DOYON et LAFLEUR (2004) ont démontré qu'à mesure que le peuplement vieillit, de nouvelles cohortes s'ajoutent. Celles-ci apparaissent en séquences avec les périodes d'épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE). Après plusieurs épidémies, les peuplements comportent de multiples cohortes et

présentent une structure d'âge inéquienne. Les aménagements forestiers effectués durant les quatre dernières décennies ont eu pour effet de tronquer cette structure d'âge et d'en simplifier la représentation à une ou deux cohortes majoritairement. De plus, de par la nature fortement hétérogène de la sévérité de la perturbation TBE, DOYON et LAFLEUR (2004) ont aussi démontré que la structure spatiale horizontale de la sapinière à bouleau jaune est extrêmement complexe et hétérogène. Les perturbations catastrophiques et les coupes de régénération ont alors pour effet d'homogénéiser les surfaces.

2.1.4 La raréfaction de certaines formes de bois mort

La documentation des enjeux associés au bois mort est particulièrement difficile compte tenu du peu de données actuellement disponibles à ce sujet. Pour cette raison, la grande majorité des régions ont documenté l'enjeu de la raréfaction de certaines formes de bois mort en se basant sur une revue de littérature qui détaille l'impact des perturbations naturelles et les effets de l'aménagement forestier sur l'abondance et le recrutement de bois mort. Cette documentation a, dans tous les cas, été réalisée à l'échelle de la région ou du type de couvert (feuillu/conifère) et non pas à celle du domaine bioclimatique (Tableau 1). Il est donc difficile de dissocier les enjeux qui sont propres à la forêt mixte.

Généralement, la diminution en bois mort de qualité est appréhendée dans les différentes régions puisqu'il y a diminution de vieilles forêts qui en possédaient de grandes quantités. En Gaspésie, ANGERS *et al.* (2011) ont identifié et priorisé les principaux enjeux relatifs au bois mort. Par exemple, il y est mentionné que des actions immédiates devraient être apportées pour limiter la diminution des vieilles forêts possédant du bois mort de gros diamètre et pour limiter la diminution du bois dans les forêts issues de coupe totale (CPRS ou coupe progressive régulière). ANGERS *et al.* (2011) soulignent aussi l'importance de surveiller l'abondance du bois mort de qualité dans les peuplements issus de perturbation naturelle sévère (suite aux coupes de récupération), issus des coupes partielles ou issus de peuplements ayant subi une récolte de biomasse.

2.1.5 La modification de l'organisation spatiale des forêts

L'enjeu écologique de la modification de l'organisation spatiale des forêts considère les éléments de fragmentation et de connectivité des habitats. Pour caractériser cet enjeu, il est difficile, voire impossible, d'utiliser des états de référence de forêts n'ayant jamais été altérées par l'homme, car les écosystèmes forestiers exceptionnels et les réserves écologiques sont souvent trop petits pour présenter une forme de récurrence suffisante pour en déduire une structure spatiale de réfé-

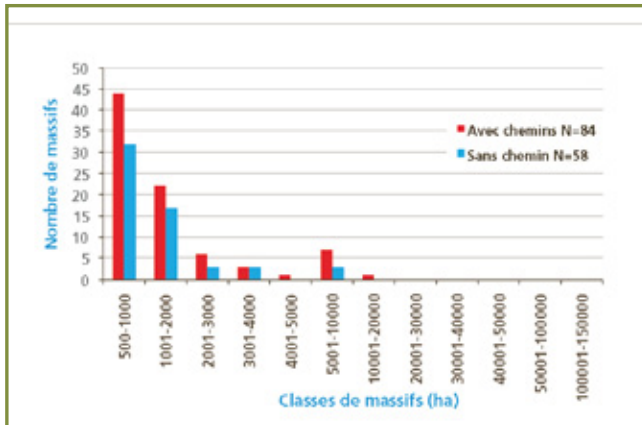


Figure 3. Distribution de fréquence des massifs forestiers en fonction de la taille et la présence de chemins (selon l'inventaire de 2005).

rence. Les conditions des références les plus anciennes proviennent des photos aériennes et des plans d'aménagement forestier anciens. Ces sources d'information ont été utilisées pour la caractérisation de l'organisation spatiale des forêts au Bas-Saint-Laurent (BOUCHER *et al.* 2009), au Saguenay-Lac-Saint-Jean (CRNT DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN 2011), dans la région de la Capitale-Nationale (BOULFROY *et al.* 2010, JACQUES 2010) et dans les Laurentides (SICARD *et al.* 2009a). Une autre approche très originale faisant appel à la modélisation du paysage a été utilisée en Mauricie (TITLER 2010). Cependant, on a observé dans d'autres régions des analyses de structures spatiales visant à identifier les problèmes de fragmentation de connectivité à partir de données actuelles.

En général, on observe une réduction de la variabilité des classes de superficie des peuplements dans les paysages aménagés, comparativement à ce qu'un paysage naturel pourrait contenir (voir, par exemple, TITLER 2010). On observe aussi une augmentation de la fragmentation causée par le déploiement du réseau routier et des coupes forestières. Par exemple, les travaux effectués par LECOMTE *et al.* (2010) montrent clairement que la distribution des classes de superficie présente des déficits dans les grandes classes de taille pour la forêt actuelle, et que ce déficit est principalement dû au déploiement du réseau routier forestier (Figure 3). Dans d'autres cas, on peut observer des inversions de la matrice sur des secteurs d'assez grande superficie (dominance de forêt *vs* dominance des ouvertures). De plus, tel que montré dans SICARD *et al.* (2009b), à l'échelle des perturbations, les coupes présentent une structure spatiale fort différente de celle que les feux peuvent produire (Figure 4).

La réduction des peuplements vieux a contribué à la perte de connectivité de ces habitats. Par exemple, dans la région de Lanaudière, les peuplements vieux de résineux, ou mixtes à dominance résineuse, pré-

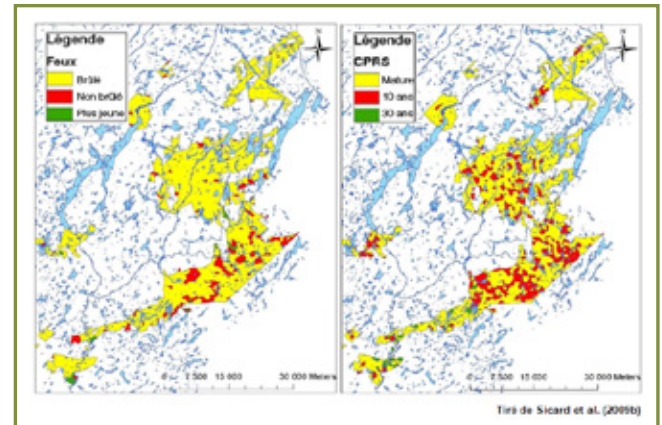


Figure 4. Comparaison de la structure spatiale d'un secteur issu de feu, peu de temps après la perturbation (à gauche) et 90 ans plus tard (à droite). À gauche, le jaune présente la partie brûlée, et le rouge présente les îlots résiduels. À droite, le jaune présente les peuplements matures, et le rouge présente les éléments perturbés par les coupes.

sentent une proportion très réduite par rapport à l'état de référence (ROY *et al.* 2009). De surplus, l'analyse de connectivité montre qu'il n'existe pratiquement plus de grands massifs comportant des conditions d'intérieur et que les îlots résineux résiduels sont isolés. De plus, l'analyse de connectivité intégrale comme développée par PASCUAL-HORTAL et SAURA (2006) a permis à PERROTE CARON *et al.* (en préparation, b) de démontrer que la majorité des unités territoriales de référence de la Gaspésie possèdent une connectivité plus basse que celle que l'on aurait retrouvée dans l'état de référence. Cette diminution serait causée par la réduction des massifs de peuplements de 12 m et plus.

2.1.6 Les espèces nécessitant une attention particulière pour assurer leur maintien

La documentation de cet enjeu est complexe, étant donné le grand nombre d'espèces fauniques et floristiques nécessitant une attention particulière pour assurer leur conservation dans un contexte d'aménagement forestier et le peu de connaissances disponibles les concernant. En effet, le suivi des habitats et des populations est limité, voire absent dans plusieurs cas (particulièrement pour les espèces qui ne comportent pas d'importance sociale ou économique). De plus, les connaissances sur l'abondance des espèces fauniques et floristiques en forêt naturelle ou préindustrielle étant rares et éparses, il devient presque impossible d'évaluer les écarts entre portrait naturel et actuel.

La majorité des régions ont considéré cet enjeu en identifiant les espèces fauniques et floristiques présentes sur leur territoire, sans égard au domaine bioclimatique spécifique, et qui se trouvent dans la liste des espèces désignées ou susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables (Tableau 1). SICARD *et al.*

(2009b) ont ajouté à cette analyse une modélisation de l'évolution de la qualité de l'habitat pour différentes espèces animales; cette modélisation permet d'avoir une appréciation de l'ampleur de la perte d'habitats pour certaines espèces. Les autres régions ont soit mentionné la possible perte d'espèces fauniques et floristiques associée à des enjeux écologiques, comme la diminution des vieilles forêts, ou n'ont pas documenté cet enjeu. Généralement, il est recommandé de maintenir les habitats connus de ces espèces et dans certains cas, de réaliser des suivis de populations. Certaines régions ont poussé l'exercice en identifiant les effets connus de l'aménagement forestier pour les espèces à statut précaire présentes sur leur territoire. Par exemple, PINNA *et al.* (2010) ont identifié l'effet de l'aménagement forestier sur ces espèces se trouvant en territoire gaspésien et ont proposé des interventions pour les valoriser. Ils ont aussi, à l'aide d'experts fauniques, classé des espèces selon le niveau de priorité de protection (mineur ou majeur). SICARD *et al.* (2009b) ont aussi fait la synthèse des modalités d'interventions et des suivis permettant de répondre aux besoins de chacune des espèces menacées, vulnérables ou susceptibles considérées dans le cadre du processus de certification FSC de l'UAF 064-51.

2.2 Synthèse des pratiques et solutions

Plusieurs solutions reliées à l'aménagement et à la sylviculture peuvent répondre à certains enjeux écologiques. Dans cette section, une synthèse des pistes de solutions identifiées dans les rapports traitant sur les enjeux écologiques de l'aménagement écosystémique est présentée. Deux documents ayant servi à cette synthèse traitent directement des solutions reliées à l'aménagement écosystémique. Le premier s'intitule « *Projet de développement d'une approche d'aménagement écosystémique dans la réserve faunique des Laurentides* » (COMITÉ D'EXPERTS SUR LES SOLUTIONS 2009) et le deuxième « *Priorités d'action en réponse aux enjeux jugés prioritaires pour la forêt mauricienne* » (BEAULIEU *et al.* 2010). Les autres documents consultés amènent des pistes de solutions suite à la documentation des enjeux écologiques pour leur région (SICARD *et al.* 2009b; LECONTE *et al.* 2010; PINNA *et al.* 2010; ROY *et al.* 2010; VARADY-SZABO et CÔTÉ 2010; ANGERS *et al.* 2011; CRRNT PUBLIC DE L'OUTAOUAIS 2011; PERROTTE CARON *et al.*, en préparation).

2.2.1 Solutions pour les enjeux relatifs à la composition

Le double enfeuillage de la forêt est le principal enjeu de composition qui concerne l'ensemble de la sapinière à bouleau jaune. Afin de répondre à cet enjeu, les objectifs d'aménagement devraient favoriser les essences résineuses en recul par le maintien de semenciers et de la régénération préétablie, tout en contenant l'envahissement d'essences feuillues et d'arbustes compétitifs.

Plusieurs solutions sylvicoles peuvent répondre à ces objectifs d'aménagement. Premièrement, toutes les coupes permettant une rétention des semenciers d'essences désirées pour au moins une rotation (coupe avec protection des petites tiges marchandes, coupes progressives irrégulières, coupe à rétention variable) peuvent permettre d'augmenter la régénération des essences désirées et aider à conserver une proportion des arbres matures. Deuxièmement, les traitements de la futaie régulière pouvant maintenir des arbres matures pendant seulement une rotation permettent à ces tiges d'assurer un rôle de semencier (coupe progressive régulière, éclaircie commerciale adaptée). Troisièmement, certaines coupes sont davantage adaptées au maintien d'un peuplement d'une essence désirée. Par exemple, la coupe en chapelet permet de maintenir la régénération de thuya occidental (HÉBERT 2009) et la coupe progressive irrégulière, la régénération du bouleau jaune, de l'épinette blanche ou rouge, du pin blanc ou du thuya occidental (CERFO 2011). Quatrièmement, les traitements d'éducation comme les dégagements et les éclaircies précommerciales adaptées permettent aussi de sélectionner des espèces désirées. Finalement, il est possible de favoriser les espèces désirées à l'aide de plantations et d'enrichissement.

2.2.2 Solutions pour les enjeux de structure d'âge, de structure interne et de bois mort

La documentation des enjeux et les connaissances disponibles sur l'écologie des forêts se situant dans la sapinière à bouleau jaune permettent de constater que les forêts issues de perturbations naturelles possèdent généralement une moyenne d'âge plus élevée, une structure interne plus complexe et une plus grande quantité de bois mort de qualité. En augmentant la proportion de vieilles forêts sur le territoire, il est possible de répondre en partie à ces trois enjeux, puisqu'une structure complexe et du bois mort de qualité en quantité font partie des attributs des vieilles forêts. Afin d'augmenter la portion de vieilles forêts dans le paysage, il a été proposé de compléter le réseau des aires protégées ou de rallonger les révolutions de coupes. Il est aussi possible de maintenir des attributs propres aux vieilles forêts dans les forêts aménagées en s'inspirant de l'effet des perturbations naturelles mineures.

Dans les portions de forêt aménagées, plusieurs outils peuvent servir à maintenir dans le paysage des forêts qui se rapprochent de celles issues de perturbations naturelles mineures (éclaircie jardinatoire, coupe de jardinage avec modalités particulières, coupes progressives irrégulières et coupes avec protection des petites tiges marchandes) ou majeures (coupe avec protection de la régénération et des sols, coupes à rétention variable, coupes de récupération avec modalités particulières, coupes progressives régulières).

Une sylviculture demeure néanmoins à développer afin de maintenir le couvert et les attributs déjà existants de vieilles forêts tout en accélérant la reconstitution de ceux-ci. Une approche développée aux États-Unis visant ces objectifs est appelée « *structural complexity enhancement* » (KEETON 2006). Un essai expérimental a été effectué en forêt feuillue au Québec (McCULLOUGH et DOYON 2010) et pourrait aussi être transféré dans le contexte de la dynamique naturelle des peuplements de la sapinière à bouleau jaune.

2.2.3 Solutions pour l'enjeu d'organisation spatiale

Des changements dans l'organisation spatiale des peuplements ont été documentés dans la majorité des régions touchant la sapinière à bouleau jaune. Les principaux objectifs d'aménagement forestier qui en découlent sont d'augmenter les proportions de massifs et de forêt d'intérieur, d'augmenter la connectivité entre les peuplements et de diminuer l'effet de lisière.

Les solutions d'aménagement ou sylvicoles permettant de répondre à ces objectifs peuvent être de plusieurs ordres. Premièrement, reconnaître les échelles distinctives de patrons récurrents pourrait permettre de saisir les échelles d'intervention. Par exemple, à la lumière des constats présentés en rapport à cet enjeu, on constate une homogénéisation de la forêt à petite échelle, soit celle des bouquets et des peuplements, mais une fragmentation de massifs forestiers à une échelle plus grande. De plus, le maintien d'un couvert forestier par l'ajout d'aires protégées, le rallongement des révolutions ou l'utilisation de coupes partielles pourraient permettre d'augmenter les proportions de massifs et de forêt d'intérieur. L'agglomération des coupes totales et des coupes partielles pourrait aussi répondre à cet objectif. Cependant, compte tenu du rattrapage important à effectuer, il serait primordial d'identifier les peuplements actuels ou potentiels pouvant contribuer le plus à la connectivité fonctionnelle du paysage (par analyse de la centralité avec l'analyse des réseaux de graphes, par exemple). Finalement, la fermeture et la remise en production de certains tronçons de chemins forestiers pourraient permettre de diminuer l'effet de lisière créé par ceux-ci. Une planification à l'échelle du paysage est nécessaire, car bien que les coupes partielles puissent permettre le maintien d'un couvert forestier, elles impliquent davantage de construction de chemins et un risque accru de fragmentation. Il sera donc nécessaire de planifier les solutions optimales en prenant chacun de ces aspects en considération.

2.2.4 Solutions pour l'enjeu des espèces à statut précaire

Afin de maintenir les populations d'espèces à statut précaire, l'aménagement doit être fait en fonction des besoins de l'espèce. Il peut donc être nécessaire d'établir une protection intégrale de l'habitat ou de faire un

aménagement adapté. Par exemple, le Cyripède royal est une espèce floristique qui est favorisée à court et moyen terme par l'ouverture du couvert forestier, et qui peut tolérer un bris occasionnel de ses parties aériennes. Il pourrait donc être possible d'effectuer certains travaux forestiers dans des peuplements abritant des populations de cette espèce sans leur nuire, si les interventions réalisées ont pour but le maintien des conditions environnementales propices aux populations en place (PINNA *et al.* 2010).

Conclusion

Le paradigme de l'aménagement écosystémique appliqué aux écosystèmes forestiers exige une connaissance approfondie du fonctionnement des écosystèmes dans un contexte non altéré, afin d'en dégager les conditions représentatives et la variabilité de celles-ci. Cette synthèse a permis de constater l'importante quantité d'information déjà existante sur le sujet. Il existe au Québec un corpus important de sources historiques de données. Sa profondeur temporelle permet de dégrossir la variabilité naturelle des écosystèmes. Le chantier de l'aménagement écosystémique s'appuie maintenant sur une assise solide pour sa mise en œuvre puisque l'analyse des écarts pour l'évaluation des enjeux écologiques a été exécutée par l'ensemble des régions couvertes par la sapinière à bouleau jaune.

Une très grande convergence en ce qui concerne les enjeux écologiques de la sapinière à bouleau jaune a pu être observée. D'un côté, il est étonnant de remarquer que les mêmes enjeux écologiques se retrouvent dans presque toutes les régions. D'un autre côté, on peut supposer que l'historique de développement forestier et les politiques d'application des pratiques d'aménagement forestier ont été suffisamment similaires dans toutes ces régions pour conduire aux mêmes conditions requérant des efforts de restauration.

La sapinière à bouleau jaune a longtemps été un écosystème peu documenté. Se situant à la marge de la forêt tempérée et de la forêt boréale, cet écosystème comprend des éléments complexes des deux grands biomes tout en possédant ses propres caractéristiques uniques. Fort heureusement, plusieurs études ont récemment porté sur cet écosystème particulier; notre synthèse montre que les aménagistes ont su tirer profits de ces connaissances pour identifier des balises écologiques. Néanmoins, l'exercice a aussi permis de déceler des lacunes importantes en matière de connaissances et de recherche. Les enjeux écologiques de structure interne, de bois mort, d'organisation spatiale et ceux sur les espèces nécessitant des interventions spécifiques sont difficiles à documenter avec une approche comparative entre un état de référence et les conditions actuelles. En effet, pour ces quatre enjeux, la connais-

sance des états de référence est très lacunaire. Une meilleure connaissance des écosystèmes non altérés est requise pour une caractérisation de l'habitat (structure et bois mort). En ce qui concerne l'organisation spatiale des paysages, la modélisation reste jusqu'à présent probablement le meilleur outil pour offrir une meilleure compréhension des conditions naturelles. Cependant, en ce qui concerne les espèces à statut précaire, l'identification des enjeux écologiques par analyse des écarts à un état de référence ne nous semble pas appropriée. En effet, plusieurs de ces espèces sont rares et leur distribution actuelle est très mal connue. Suggérons pour ces espèces d'appliquer une approche de filtre fin qui n'exige pas nécessairement de connaître l'état de référence mais demande de bien comprendre l'état des populations actuelles, de leurs exigences en termes d'habitats et de leur dynamique démographique.

Malgré certaines lacunes, les connaissances déjà acquises ont permis d'entrevoir plusieurs solutions possibles pour répondre aux enjeux écologiques identifiés. Plusieurs solutions sont déjà mises en œuvre au Québec. Par contre, il est difficile de proposer des solutions et de souhaiter répondre aux enjeux écologiques sans bien comprendre les seuils écologiques à partir desquels une dégradation de l'écosystème et des services qu'il nous procure est observable. En effet, il est nécessaire de se poser la question : Combien de peuplements est-il nécessaire d'aménager selon un aménagement écosystémique ? Ou, combien d'attributs de vieille forêt, de peuplements naturels, de connectivité, etc., suffisent pour maintenir la biodiversité en place ? Peu de régions se sont positionnées sur ces « seuils » à respecter, mais beaucoup ont mis en place des comités d'experts ou de concertation pour réfléchir à la question. Cet aspect de la mise en œuvre est complexe, car les connaissances sur les seuils écologiques sont éparpillées et rarement directement transférables à un endroit ou un enjeu donné. De futures recherches sur les seuils à utiliser sont donc nécessaires. Elles pourront se faire sous forme de suivis des solutions mises en place et des seuils utilisés. Ces recherches permettront d'adapter les seuils et les solutions en fonction de l'atteinte des objectifs. Une gestion adaptative, où les suivis serviront à améliorer les pratiques d'aménagement, est essentielle à la mise en place de l'aménagement écosystémique dans l'ensemble des forêts québécoises, incluant la sapinière à bouleau jaune.

Références

ABRAMS, M.D., 1998. *The red maple paradox*. *Bioscience* 48(5) : 355-364.

ABRAMS, M.D. et M.L. SCOTT, 1989. *Disturbance-Mediated Accelerated Succession in Two Michigan Forest Types*. *Forest Sci.* 35(1) : 42-49.

[40] ALLARD, E., 2009. *Modalités d'interventions associées aux espèces menacées, vulnérables ou susceptibles*. Service de l'innovation et de l'expérimentation, Coopérative Forestière des Hautes-Laurentides, dans le cadre de la certification FSC. Novembre 2009. 19 p.

[34] ALLARD, E. et P. GAUTHIER, 2009. *Effets des perturbations sur le territoire de la concession Maclaren*. Service de l'innovation et de l'expérimentation, Coopérative Forestière des Hautes-Laurentides, dans le cadre du projet « Le Bourdon », programme des collectivités forestières sur le territoire de l'UAF 064-51. 65 p.

[11] ALVAREZ, É., L. BÉLANGER, L. ARCHAMBEAULT et F. RAULIER, 2011. *Portrait préindustriel dans un contexte de grande variabilité naturelle : une étude de cas dans le centre du Québec (Canada)*. *For. Chron.* 87(5) : 612-624.

[18] ANGERS, V.-A., 2009. *L'enjeu écologique du bois mort - Complément au Guide pour la description des principaux enjeux écologiques dans les plans régionaux de développement intégré des ressources du territoire*.

[24] ANGERS, V.-A., H. VARADY-SZABO, A. MALENFANT et M. BOSQUET, 2011. *Mesure des écarts des attributs de bois mort entre la forêt naturelle et la forêt aménagée en Gaspésie*. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé, Québec. 51 p.

ARCHAMBEAULT, L., J. MORISSETTE et M. BERNIER-CARDOU, 1998. *Forest succession over a 20-year period following clearcutting in balsam fir - yellow birch ecosystems of eastern Québec, Canada*. *For. Ecol. Manag.* 102 : 61-74.

[10] BARRETTE, M. et L. BÉLANGER, 2007. *Reconstitution historique du paysage de la région écologique des hautes collines du Bas-Saint-Maurice*. *Can. J. For. Res.* 37 : 1147-1160.

[13] BEAULIEU, N., P. BOUDREAU et R. TITTLER, 2010. *Priorités d'action en réponse aux enjeux jugés prioritaires pour la forêt mauricienne*. Rapport soumis dans le cadre du projet TRIADE. 6 p.

BERGERON, Y., 2000. *Species and stand dynamics in the mixed woods of Quebec's southern boreal forest*. *Ecology* 81 : 1500-1516.

BERGERON, Y. et D. CHARRON, 1994. *Postfire stand dynamics in a southern boreal forest (Québec): A dendroecological approach*. *Écoscience* 1(2) : 173-184.

[2] BOUCHER, Y., D. ARSENAULT, L. SIROIS et L. BLAIS, 2009. *Logging pattern and landscape changes over the last century at the boreal and deciduous forest transition in Eastern Canada*. *Landscape Ecology* 24 : 171-184.

[21] BOUCHER, Y., M. BOUCHARD, P. GRONDIN et P. TARDIF, 2011. *Le registre des états de référence : intégration des connaissances sur la structure, la composition et la dynamique des paysages forestiers naturels du Québec méridional*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 161. 40 p.

- [31]BOUFFARD, D., F. DOYON et E. FORGET, 2003. *Historique et dynamisme écologique de la végétation forestière de la réserve faunique Rouge-Matawin de 1930 à nos jours*. Rapport de l'Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. 75 p. + annexes.
- [8]BOULFROY, E., G. LESSARD et F. GRENON, 2010. *Portrait de la forêt préindustrielle de la région de Portneuf*. Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier - volet 2. CERFO, Québec. 114 p.
- CERFO, 2011. *La coupe progressive irrégulière en réponse à plusieurs enjeux de biodiversité*. Technote 2011-01. 6 p.
- [4]CHAILLON, P.E., 2010. *Portrait de la forêt préindustrielle dans le Bas-Saguenay Charlevoix*. Rapport rédigé pour les partenaires pour le développement forestier durable des communautés du Charlevoix et du Bas-Saguenay. 112 p.
- COMITÉ D'EXPERTS SUR LES SOLUTIONS, 2009. *Projet de développement d'une approche d'aménagement écosystémique dans la réserve faunique des Laurentides*. Fiches techniques. Québec. 130 p.
- [3]CONFÉRENCE RÉGIONALE DES ÉLUES ET LA CRNT DU BAS-SAINT-LAURENT, 2010. *Plan Régional de Développement Intégré des Ressources et du Territoire (PRDIRT)*. 284 p.
- [9]CRNT et CRÉ DE LA CAPITALE-NATIONALE. *La biodiversité, une richesse dans la région de la Capitale-Nationale*. 8 p. Disponible en ligne <http://www.crecn.qc.ca/fichiers-contribute/3-Biodiversite.pdf>.
- [6]CRNT DU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN, 2011. *Portrait de la ressource forêt du Saguenay-Lac-Saint-Jean*. Préparé par le Groupe Optivert. 218 p. + annexes.
- [14]CRRNT PUBLIC DE L'OUTAOUAIS, 2011. *Plan régional de développement intégré des ressources naturelles et du territoire public de l'Outaouais*. Gatineau. 406 p.
- [22]DESROSIERS, M., H. VARADY-SZABO et A. MALENFANT, en préparation. *Caractérisation de la structure d'âge des forêts actuelles (2008) et détermination des écarts avec la forêt préindustrielle de la Gaspésie - Analyse par région écologique et par unité homogène de végétation*. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé.
- [33]DOYON, F. et D. BOUFFARD, 2009a. *Reconstitution historique du dynamisme du paysage forestier de l'UAF 064-51 au cours du 20^e siècle (version 1.0) pour Coopérative Forestière des Hautes-Laurentides*. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue (IQAFF). Juin 2009. 98 p.
- [17]DOYON, F. et D. BOUFFARD, 2009b. *Enjeux écologiques de la forêt feuillue tempérée québécoise*. Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts. ISBN : 978-2-550-56794-3. 63 p.
- DOYON, F. et B. LAFLEUR, 2004. *Caractérisation de la structure et du dynamisme des peuplements mixtes à bouleau jaune : pour une sylviculture irrégulière proche de la nature*. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue (IQAFF), Ripon, Québec. Rapport technique. 57 p. + 3 annexes.
- [30]DOYON, F. et P. NOLET, 2007. *Application de la sylviculture irrégulière aux peuplements feuillus jugés inaptes au jardinage et prédiction du rendement par la modélisation*. Rapport d'étape. Deuxième Année (2006-2007). Présenté au ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Direction régionale de l'Outaouais (07). Rapport technique de l'Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. 25 p. + 4 Annexes.
- [1]DUPUIS, S., 2009. *Reconstitution de la composition des forêts préindustrielles du sud-est du Québec à partir des archives d'arpentage (1846-1949)*. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Rimouski, Maîtrise en gestion de la faune et des habitats. 83 p. + annexe.
- [39]FORTIN, M., 2008. *Relecture de placettes des CJ de l'UAF 064-51 : phase 2 exécution*. Coopérative Forestière des Hautes-Laurentides, Service de l'innovation et de l'expérimentation. Présenté au ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 96 p.
- [38]FORTIN, M. et P. GAUTHIER, 2007. *Expérimentation de coupes partielles dans les jeunes peuplements où des tiges résiduelles de sapins ont atteint leur maturité. Secteur La Herse, unité d'aménagement 064-51*. Travaux réalisés dans le cadre du réseau d'innovation et d'expérimentation-forêt. Coopérative Forestière des Hautes-Laurentides. Présenté au ministère des Ressources naturelles et de la Faune. 33 p.
- FORTIN, S., 2008. *Expansion postcoloniale du tremble (Populus tremuloides) dans le bassin de la rivière York, en Gaspésie*. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 115 p.
- GASTALDELLO, P., 2007. *Remise en production des bétulaies jaunes résineuses dégradées : Étude du succès d'installation de la régénération et des variations abiotiques et physiologiques à l'intérieur du lit de germination*. Mémoire. Université Laval.
- HARVEY, B.D., A. LEDUC, S. GAUTHIER et Y. BERGERON, 2002. *Stand-landscape integration in natural disturbance-based management of the southern boreal forest*. For. Ecol. Manage. 155(1-3) : 369-385.
- HÉBERT, B., 2009. *Essai de coupe en chapelet - petites trouées - dans des peuplements de thuya en Gaspésie*. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé. 25 p.
- [7]JACQUES, M.-F., 2010. *Portrait de la forêt tempérée de la région de Portneuf*. Document non publié. 21 pages.
- KEETON, W., 2006. *Balancing ecological and economic objectives while managing for old-growth forest characteristics*. Dans : *Proceedings of the International Conference: Ecologisation of Economy as a Prerequisite for Sustainable Development*. Ukrainian National Forestry University, L'viv, Ukraine. p. 21-30.
- [16]LECOMTE, N., P. CROCKER, D. CYR, E. FRÉCHETTE, B. LAIB, O. VALERIA et V.-A. ANGERS, 2010. *Détermination des enjeux écologiques reliés à la mise en place d'un aménagement écosystémique et propres aux forêts de l'Abitibi-Témiscamingue*. Rapport interne de la Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue. 158 p.

- [127] MAURI ORTUNO, E., 2010. *Modélisation de la distribution précoloniale du pin blanc en Moyenne-Mauricie à partir des carnets d'arpentage*. Mémoire M. Sc., Département des sciences du bois et de la forêt, Université Laval, Québec. 89 p.
- [128] MAURI ORTUNO, E. et F. DOYON, 2010. *Estimation de la distribution des essences forestières au 19^e siècle dans l'Outaouais à l'aide des carnets d'arpentage des limites des concessions forestières*. Rapport technique de l'Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, Ripon, Québec. 83 p. + annexes.
- McCULLOUGH, V. et F. DOYON, 2010. *Application du jardinage écosystémique en Outaouais : Premier essai au Québec en forêt feuillue*. Rapport technique. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue, Ripon, Québec. 54 p.
- [129] MRNF, 2009. *Le portrait de l'évolution de la forêt publique sous aménagement du Québec méridional des années 1970 aux années 2000*. Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Forêt Québec, Direction des inventaires forestiers et Direction de l'environnement et de la protection des forêts. 142 p.
- [130] NOLET, P., E. FORGET, D. BOUFFARD et F. DOYON, 2001. *Reconstitution historique du dynamisme du paysage forestier du bassin de La Lièvre au cours du 20^e siècle, version 1.0*. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue (IQAFF). Août 2001. 122 p.
- PASCUAL-HORTAL, L. et S. SAURA, 2006. *Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation*. *Landscape Ecology* 21 : 959-967.
- [131] PERROTTE CARON, O., H. VARADY-SZABO, A. MALENFANT et M. BOSQUET (en préparation, a). *Portrait de la structure interne des forêts gaspésiennes actuelles (2008) et comparaison avec la forêt naturelle (données historiques 1836 à 1940 et EFE-catégorie des forêts anciennes)*. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé.
- [132] PERROTTE CARON, O., H. VARADY-SZABO et A. MALENFANT (en préparation, b). *Portrait de l'organisation spatiale définie d'après la mesure de l'intensité du morcellement et de la connectivité des forêts actuelles et détermination des écarts avec la forêt naturelle de la Gaspésie*. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé.
- [133] PINNA, S., H. VARADY-SZABO et M. CÔTÉ, 2010. *Les espèces à statut précaire associées à la forêt gaspésienne*. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé. 31 p.
- [134] PINNA, S., A. MALENFANT, B. HÉBERT et M. CÔTÉ, 2009. *Portrait forestier historique de la Gaspésie*. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé. 204 p.
- [135] PUIGDEVALL, J.P., 2009 *Portrait historique de l'UAF 064-51 selon la concession McLaren*. Rapport final. La Coopérative forestière des Hautes-Laurentides (CFHL), Service de l'innovation et de l'expérimentation. 24 p.
- ROY, V. et M. PRÉVOST, 2001. *Caractérisation des bétulaies jaunes résineuses dégradées de la sapinière à bouleau jaune*. Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, Volet 1. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. 24 p.
- [136] ROY, M.-È., V. McCULLOUGH, É. FORGET et F. DOYON, 2009. *Portrait forestier historique du territoire des unités d'aménagement forestier 062-51 & 062-52*. Rapport technique. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. 90 p.
- [137] ROY, M.-È., V. McCULLOUGH, E. MAURI ORTUNO et F. DOYON, 2010. *La détermination des enjeux écologiques régionaux liés à la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique sur le territoire des unités d'aménagement forestier (UAF) 62-52 & 62-51*. Rapport technique. Institut québécois d'aménagement de la forêt feuillue. 67 p. + annexes.
- [138] SICARD, V., P. GAUTHIER, É. ALLARD et J.P. PUIGDEVALL, 2009a. *La description et documentation des enjeux écologiques régionaux liés à la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique sur le territoire des unités d'aménagement forestier (UAF) 64-51 et 61-52. Partie 1 : Portrait historique de la forêt laurentidienne*. Rapport du Service de l'innovation et de l'expérimentation, Coopérative Forestière des Hautes-Laurentides. Remis à Commission des ressources naturelles et du territoire des Laurentides. 45 p. + annexes.
- [139] SICARD, V., P. GAUTHIER, É. ALLARD et J.P. PUIGDEVALL, 2009b. *La description et documentation des enjeux écologiques régionaux liés à la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique sur le territoire des unités d'aménagement forestier (UAF) 64-51 et 61-52. Partie 2 : forêt actuelle, évaluation des écarts, description des enjeux et pistes de solutions*. 62 p.
- [140] TITLER, R., 2010. *Portrait de la forêt pré-industrielle, actuelle, analyse d'écart et principaux enjeux écologiques de la région administrative de la Mauricie*. Rapport effectuée en collaboration avec N. Beaulieu et P. Boudreau. 69 p. + annexes.
- [141] VARADY-SZABO, H. et M. CÔTÉ, 2010. *Mesure des écarts de composition forestière entre la forêt préindustrielle (de 1836 à 1940) et la forêt aménagée (de 1995 et 2003) en Gaspésie*. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé. 55 p.
- VINCENT, A.B., 1965. *Growth habits of mountain maple in the Ontario claybelt*. *For. Chron.* 41 : 330-344.

L'influence des trouées sur la structure et la composition de la forêt mixte

Daniel Kneeshaw, B. Sc., Ph. D.^{1,3}, Udayalakshmi Vepakomma, B.A., Ph. D.¹ et Benoit St-Onge, B. Sc., Ph. D.²



Daniel Kneeshaw est professeur au Département des sciences biologiques et est membre du Centre d'études de la forêt. Ses travaux de recherche portent sur la gestion durable des forêts, la dynamique de la forêt après perturbations (surtout les perturbations partielles, comme le chablis et les épidémies d'insectes), l'écologie de la forêt mixte, les techniques sylvicoles alternatives, la mortalité des arbres et la dynamique des trouées. Il s'intéresse également aux stratégies de planification

de la conservation, de la foresterie autochtone et de la perception des différents publics aux stratégies d'aménagement forestier. Il utilise les techniques de travail sur le terrain et de la modélisation surtout à l'échelle du paysage.

¹ Université du Québec à Montréal
Département des sciences biologiques
141, avenue du Président-Kennedy
Montréal (Québec) H2X 3Y5
Téléphone : 514 987-3000

² Université du Québec à Montréal
Département de géographie
400, rue Sainte-Catherine Est
Montréal (Québec) H2L 2C5
Téléphone : 514 987-3000

³ kneeshaw.daniel@uqam.ca

La forêt mixte est dynamisée par une grande suite de perturbations. Les plus fréquentes sont les ouvertures du couvert forestier causées par la mort d'une ou de quelques tiges, soit les trouées. La forêt mixte est composée d'une diversité d'espèces qui ont chacune leur propre autécologie. Plusieurs recherches se sont déjà interrogées sur les facteurs permettant la coexistence de ces espèces. Par exemple, il a été observé que la longévité, la tolérance à l'ombre et la dimension du houppier sont des facteurs importants qui expliquent la coexistence du sapin baumier et du bouleau jaune (KNEESHAW et PRÉVOST 2007). Par ailleurs, les caractéristiques des trouées peuvent aussi influencer le recrutement des espèces (KNEESHAW et BERGERON 1998, PHAM *et al.* 2004). En effet, les grandes trouées peuvent permettre le recrutement des espèces intolérantes à l'ombre avant que le couvert forestier ne se referme. Du côté des petites trouées, elles sont rarement considérées comme des endroits propices au recrutement des espèces intolérantes à l'ombre. Toutefois, lorsque les trouées de petite taille se déplacent, elles permettent le recrutement de la régénération poussant dans le sous-couvert. En d'autres termes, les arbres au-dessus de ces semis et gaules devront mourir afin de permettre une ouverture du couvert forestier qui les dégage (BAN *et al.* 1998). Les trouées éphémères ne favorisent pas non plus le recrutement comme le font les trouées qui persistent pendant plusieurs années. Malgré la reconnaissance de ces informations, il n'y a pas de renseignements sur le déplacement réel ou la durée de vie des trouées. Notre étude se penche donc sur des questions relatives aux déplacements des trouées et de leur durée. En d'autres mots, nous voulons savoir si les trouées sont éphémères ou si elles persistent avec les années.

Les trouées influencent le recrutement, mais elles peuvent aussi avoir un impact sur la réponse de croissance des arbres environnants. La croissance latérale des arbres peut être responsable de la fermeture des petites trouées. La présence des trouées peut donner lieu à de nouvelles conditions microclimatiques (exposition au vent) pouvant mener à une hausse de la mortalité des arbres adjacents. La disponibilité des ressources causée par l'ouverture du couvert forestier peut aussi entraîner une augmentation du taux de croissance des

KNEESHAW, D., U. VEPAKOMMA et B. ST-ONGE, 2012. *L'influence des trouées sur la structure et la composition de la forêt mixte*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? Colloque de transfert de connaissances*, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada. p. 21-24.

arbres entourant les trouées. Par ailleurs, si les coupes de petites trouées étaient davantage utilisées dans la forêt mixte, il serait utile de déterminer jusqu'à quelle distance la trouée exerce un effet sur la croissance des arbres en périphérie de l'ouverture. Par exemple, si l'augmentation de croissance s'étend sur 2 ou 3 m dans la forêt, les coupes par trouées n'auront pas la même importance que si l'augmentation de croissance qui allait jusqu'à 5 ou 10 m dans la forêt. De plus, on peut aussi se demander si les différents groupes d'espèces répondront de la même façon. On peut prétendre que les feuillus intolérants à l'ombre répondront mieux que les résineux tolérants à cause d'une croissance indéterminée, tandis que d'autres observent une réponse semblable entre résineux et feuillus (VEPAKOMMA *et al.* 2011).

Le recrutement des semis pourrait aussi subir l'influence de la compétition des espèces arbustives. Dans la forêt mixte, plusieurs études ont identifié une forte compétition par des espèces comme l'érable à épis (AUBIN *et al.* 2005). Par contre, étant donné que la dynamique des trouées est présente depuis des milliers d'années, on peut se demander jusqu'à quel point cette compétition limite le recrutement des arbres.

Méthodes

Nous avons abordé les questions concernant le rôle des trouées dans la dynamique de la forêt mixte avec deux approches distinctes : les travaux traditionnels sur le terrain et l'évaluation au-dessus du couvert forestier utilisant la technologie LIDAR (*Light Detection And Ranging*) et les images de haute résolution.

Les données utilisées pour cette étude proviennent du secteur de conservation de la forêt d'enseignement et de recherche du lac Duparquet, qui est localisée dans la sapinière à bouleau blanc de l'Ouest. Les espèces dominantes sont le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides*) et le sapin (*Abies balsamea*), mais le bouleau blanc (*Betula papyrifera*), l'épinette blanche (*Picea glauca*) et l'épinette noire (*Picea mariana*) ainsi que le thuya (*Thuja occidentalis*) sont aussi présents. Les données terrains sont constituées de mesures de régénération des espèces arborescentes et de compétition des espèces arbustives. Les données de télédétection ont été prises à différents moments dans le temps (1998, 2003 et 2007) dans les forêts naturelles afin de suivre l'évolution du couvert forestier. Le LIDAR est construit sur le principe de l'émission d'un signal lumineux discret ou continu et de la réception de sa portion réfléchi par tout objet intercepté. Les signaux de retour sont composés des premiers retours ou de ceux interceptés par le haut des arbres, et des derniers retours ou ceux réfléchis par le sol. La différence entre ces retours représente la hauteur du couvert forestier (VEPAKOMMA *et al.* 2008).

Ces signaux sont interpolés pour créer la surface du couvert forestier et ainsi définir les ouvertures. Les données des images de haute résolution ont été utilisées pour déterminer les grandes catégories d'espèces : feuillus ou résineux.

Résultats et discussion

Nos premières observations montrent que les trouées sont très dynamiques dans le temps, car elles se sont agrandies et refermées sur de courtes périodes de temps, soit 4 ou 5 ans. La superficie ouverte de la forêt a augmenté par la création de nouvelles trouées ainsi que par l'expansion de trouées déjà existantes. Les taux de création de nouvelles trouées et celui d'agrandissement des trouées sont plus élevés dans les vieilles forêts et les forêts matures que dans les jeunes forêts, car ces dernières ont des arbres qui sont généralement plus jeunes et plus vigoureux. Nous avons aussi observé que, dans la majorité des peuplements, les trouées sont plus souvent formées par la mort des résineux que par celle des feuillus.

En évaluant l'évolution de la forêt pendant 9 ans, nous avons observé que 40 % de la portion en trouées de la forêt de 1998 (22,8 %) s'est refermée avant les mesures de 2007 et que 60 % est restée ouverte. Cette longue période d'ouverture pourrait être bénéfique pour le recrutement de la régénération. Les deux tiers de la forêt sont demeurés fermés au cours de cette période, tandis que le tiers restant a été dynamisé par l'ouverture ou la fermeture de trouées. Nous avons aussi observé que 24,5 % de la forêt a été en trouées à un moment ou à un autre lors de la période évaluée, mais que seulement une faible proportion de ces trouées représentait de nouvelles ouvertures. En fait, 4,8 % de la superficie en trouées était de nouvelles ouvertures en 2003, et 7,0 % en 2007. La plupart de ces nouvelles trouées sont apparues dans les classes de grandeurs de moins de 40 m² dans la première période de mesures, et de moins de 100 m² dans la dernière période de mesures. De plus, ce sont les petites trouées (< 100 m²) qui ont complètement disparu. Nous avons remarqué que la plupart des trouées présentes en 1998 se sont agrandies, et qu'elles se sont aussi déplacées au cours des neuf années d'observation. Concrètement, alors qu'un côté de la trouée se refermait, l'autre côté s'agrandissait, de sorte que la superficie fermée était inférieure à celle qui s'ouvrait. Cette observation laisse entrevoir un mécanisme potentiel qui explique la capacité des espèces intolérantes à l'ombre de pouvoir se maintenir dans les vieilles forêts mixtes (VEPAKOMMA *et al.*, accepté).

En plus du dynamisme d'ouverture et de fermeture des trouées, nous avons évalué l'influence des trouées sur la croissance des arbres avoisinants et sur la régénération. Nous avons observé que des arbres situés

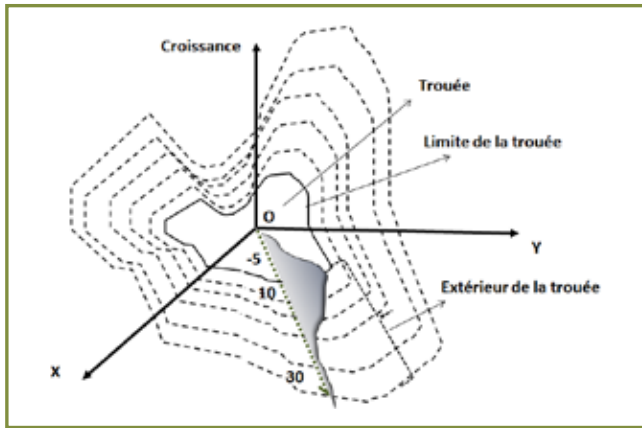


Figure 1. Réponse de croissance de la régénération à l'intérieur d'une trouée et des arbres à l'extérieur d'une trouée. La distance à l'intérieur ou à l'extérieur de la trouée correspondant à la position d'une tige est mesurée en mètres. La croissance est représentée par la zone grise; elle est exprimée en mètre et compilée sur 9 ans.

jusqu'à 30 m de la bordure de l'ouverture connaissent une augmentation de croissance (Figure 1). Toutefois, c'est à une distance de 4 m de la bordure de la trouée que les conifères ont eu un maximum de croissance; cette distance est de 8 m pour les feuillus. À l'intérieur des trouées, la régénération de feuillus et de conifères située à quelques mètres de la bordure des trouées a eu une meilleure croissance que la régénération établie ailleurs dans la trouée. Toutefois, les feuillus intolérants semblaient pousser mieux dans les grandes ouvertures (800 m²) tandis que les conifères ont atteint un maximum de croissance dans les trouées de 200 m². La croissance en hauteur de la régénération a été le mode de fermeture dominant, alors qu'environ 1 % de la superficie totale ouverte s'est refermée par la croissance latérale des arbres avoisinants. Nous nous serions attendus à ce que les feuillus soient responsables de la plupart des fermetures latérales. Cependant nos résultats montrent peu de différence entre la croissance latérale des conifères et des feuillus dans les trouées (VEPAKOMMA *et al.* 2011). Par contre, nous avons pu constater que les feuillus intolérants à l'ombre avaient refermé plus de trouées dans les jeunes forêts que dans les vieilles forêts, où les conifères ont veillé davantage à la fermeture du couvert forestier.

Sur le terrain, nous avons observé que les semis d'épinette blanche et de sapin étaient moins abondants et qu'ils ont poussé moins haut en présence des arbustes compétitifs. Le sapin a été affecté négativement par l'if et l'érable à épis ainsi que par la compétition totale. Quant à l'épinette blanche, elle était moins abondante et elle a poussé moins en hauteur en présence de l'érable à épis et de la compétition totale (un indice de la compétition de toutes espèces voisines confondues) (Tableau 1). Avec une quantité de lumière

Tableau 1. Relations (régressions linéaires ou régression logistique) entre la densité et la hauteur du sapin baumier et de l'épinette blanche et le recouvrement des espèces compétitives arbustives. *Acer* = *Acer spicatum* (érable à épis), *Taxus* = *Taxus canadensis* (if du Canada), Total = l'ensemble de toutes les espèces arbustives avoisinantes confondues.

Régressions linéaires multiples			
Variable dépendante	Équation	R ²	p
Densité d' <i>Abies balsamea</i>	$2,65 - 0,2 \text{ Acer} - 6,0 \text{ Taxus}$	0,28	0,0000
Hauteur d' <i>Abies balsamea</i>	$4,8 - 0,1 \text{ Acer} - 0,01 \text{ Total} - 0,04 \text{ Taxus}$	0,24	0,0000
Hauteur de <i>Picea glauca</i>	$4,6 - 0,1 \text{ Acer} - 9,6 \text{ Total}$	0,26	0,0000
Régression logistique			p
Présence de <i>Picea glauca</i>	$-0,6 - 8,7 \text{ Acer}$		0,00008

similaire, le sapin a connu une meilleure croissance en dessous des arbres d'espèces autres que l'érable à épis. Le taux de mortalité était aussi plus élevé (82 % des semis de sapin sont morts) en dessous de l'érable à épis comparativement à d'autres espèces (19 %). Il pourrait donc y avoir une compétition forte pour les éléments nutritifs entre les semis de résineux et l'érable à épis. Ou encore la plus faible mortalité dans le sous-bois de la forêt mature pourrait refléter une plus longue période d'acclimatation à une faible quantité de lumière (5-15 %) que dans les trouées en dessous des espèces compétitives, comme l'érable à épis (quantité de lumière 30-40 % dans la trouée avant le recrutement de l'érable à épis et 5-15 % en dessous de l'érable à épis). Nous avons effectivement observé une grande abondance d'érables à épis dans les trouées et une moindre abondance en dessous du couvert forestier de la forêt mature. De plus, les érables à épis semblent répondre à la formation des trouées avec une croissance plus rapide que celle des sapins. Il est à noter que les sapins aussi réagissent à l'ouverture du couvert et croissent en hauteur, ce qui a pour effet d'augmenter leur biomasse non photosynthétique et leur point de compensation (MESSIER *et al.* 1999). Par conséquent, nous pouvons supposer que lorsque les érables à épis dépassent la hauteur des sapins, la lumière baisse en dessous du seuil nécessaire à leur survie, même s'ils ont été récemment dégagés de l'ombre des arbres.

À grande échelle, les analyses de LIDAR montrent que la croissance, la décroissance et le déplacement des ouvertures créent une mosaïque qui change lors de la fermeture et de l'ouverture des trouées, ce qui modifie ainsi les conditions pour le recrutement des espèces intolérantes, semi-tolérantes et tolérantes à l'ombre. À une échelle plus locale, la grande longévité de certaines espèces, ainsi qu'un recrutement limité

aux conditions de forte luminosité et aux lits de germination particuliers, peuvent aussi faire en sorte que les espèces qui semblent se régénérer faiblement arrivent à maintenir une dominance dans la voute forestière. En plus de la longévité, une mortalité élevée des espèces vulnérables aux perturbations comme le charlis ou les épidémies d'insectes, un recrutement varié des espèces en fonction des caractéristiques des trouées (petite ou grande, déplacement ou persistance) et une compétition arbustive peuvent retarder ou avancer la succession. En somme, si les forestiers ne considèrent pas l'ensemble de ces mécanismes naturels lors de leurs interventions, ils peuvent modifier la composition et la structure des forêts mixtes.

Références

- AUBIN, I., C. MESSIER et D.D. KNEESHAW, 2005. *Population structure and growth acclimation of mountain maple along a successional gradient in the southern boreal forest*. *Écoscience* 12 : 540-548.
- BAN, Y., H. XU, Y. BERGERON et D.D. KNEESHAW, 1998. *Gap regeneration of shade-intolerant Larix gmelini in old-growth boreal forests of northeastern China*. *Journal of Vegetation Science* 9 : 529-536.
- KNEESHAW, D.D. et Y. BERGERON, 1998. *Canopy gap characteristics and tree replacement in the southeastern boreal forest*. *Ecology* 79 : 783-794.
- KNEESHAW, D.D. et M. PRÉVOST, 2007. *Natural canopy gap disturbances and their role in maintaining mixed species forests of central Québec*. *Can. J. For. Res.* 37 : 1534-1544.
- MESSIER, C., R. DOUCET, J.-C. RUEL, Y. CLAVEAU, C. KELLY et M.J. LECHOWICZ, 1999. *Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests*. *Can. J. For. Res.* 29 : 812-823.
- PHAM, A.T., L. DE GRANDPRÉ, S. GAUTHIER et Y. BERGERON, 2004. *Gap dynamics and replacement patterns in gaps of the northeastern boreal forest of Québec*. *Can. J. For. Res.* 34 : 353-364.
- VEPAKOMMA, U., M.-J. FORTIN et D.D. KNEESHAW, accepté. *Spatial contiguity and continuity of disturbance in boreal forests: Gap persistence, expansion, shrinkage and displacement*. *J. Ecol.*
- VEPAKOMMA, U., D. KNEESHAW et B. ST-ONGE, 2011. *Boreal forest height growth response to canopy gap openings: an assessment with multi-temporal lidar data*. *Ecol. Applic.* 21 : 99-121.
- VEPAKOMMA, U., B. ST-ONGE et D. KNEESHAW, 2008. *Spatially explicit characterization of boreal forest gap dynamics using multi-temporal lidar data*. *Remote Sensing of Environment* 112 : 2326-2340.

Le rôle des feux et des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette en forêt mixte

Mathieu Bouchard, ing.f., Ph. D.^{1, 2}



Mathieu Bouchard est ingénieur forestier, détenteur d'une maîtrise à l'Université Laval et d'un doctorat en sciences de l'environnement à l'Université de Montréal. À l'emploi du ministère des Ressources naturelles et de la Faune depuis 2008, il a occupé successivement des postes au sein du groupe de travail sur l'aménagement écosystémique, au sein de la Direction de la conservation des forêts, puis à la Direction de la recherche forestière.

¹ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-7994
Télécopieur : 418 643-2165

² mathieu.bouchard@mrf.gouv.qc.ca

Parmi les perturbations sévères que l'on retrouve en forêt mixte, les feux et les épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette occupent une place particulière de par leur fréquence et leur sévérité. D'une part, au plan de la dynamique forestière naturelle et de la biodiversité, on croit que ces perturbations sont importantes pour le fonctionnement des écosystèmes forestiers. D'autre part, pour ce qui touche à l'utilisation de la forêt mixte, ces mêmes perturbations représentent parfois un risque significatif, car elles peuvent réduire la quantité de matière ligneuse disponible pour l'industrie de la transformation, ou encore endommager certaines infrastructures (dans le cas des feux). De nos jours, une bonne compréhension des impacts écologiques et socio-économiques des perturbations naturelles est un préalable important à la planification forestière en forêt mixte.

Les feux et les épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette sont des perturbations récurrentes dans la forêt mixte : leur présence en forêt préindustrielle est relativement bien attestée, quoique leur occurrence dans le temps et dans l'espace soit très hétérogène (Figure 1). Ces deux types de perturbations peuvent entraîner des épisodes de mortalité majeurs dans le couvert forestier dominant. Ces épisodes sont importants pour la dynamique forestière, car ils favorisent la formation de peuplements forestiers, réguliers ou irréguliers, dont la composition pourra différer des peuplements qui étaient présents avant perturbation. En conditions naturelles, les feux sévères favorisent généralement la venue de peuplements forestiers dominés par des essences comme l'épinette noire, le peuplier, le bouleau blanc ou encore le pin gris dans certaines circonstances. Dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune, les feux de moindre sévérité pourraient aussi contribuer à la présence de certains peuplements dominés par les pins rouges et les pins blancs. Quant aux épidémies de tordeuse, elles entraînent souvent la venue ou le maintien de peuplements dominés par le sapin baumier, surtout dans les régions où le climat est plus froid et le relief plus montagneux. Dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune, on observe souvent la présence de peuplements mélangés suite à une épidémie. Lors d'une

BOUCHARD, M., 2012. *Le rôle des feux et des épidémies de tordeuse des bourgeons de l'épinette en forêt mixte*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? Colloque de transfert de connaissances*, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada, p. 25-27.

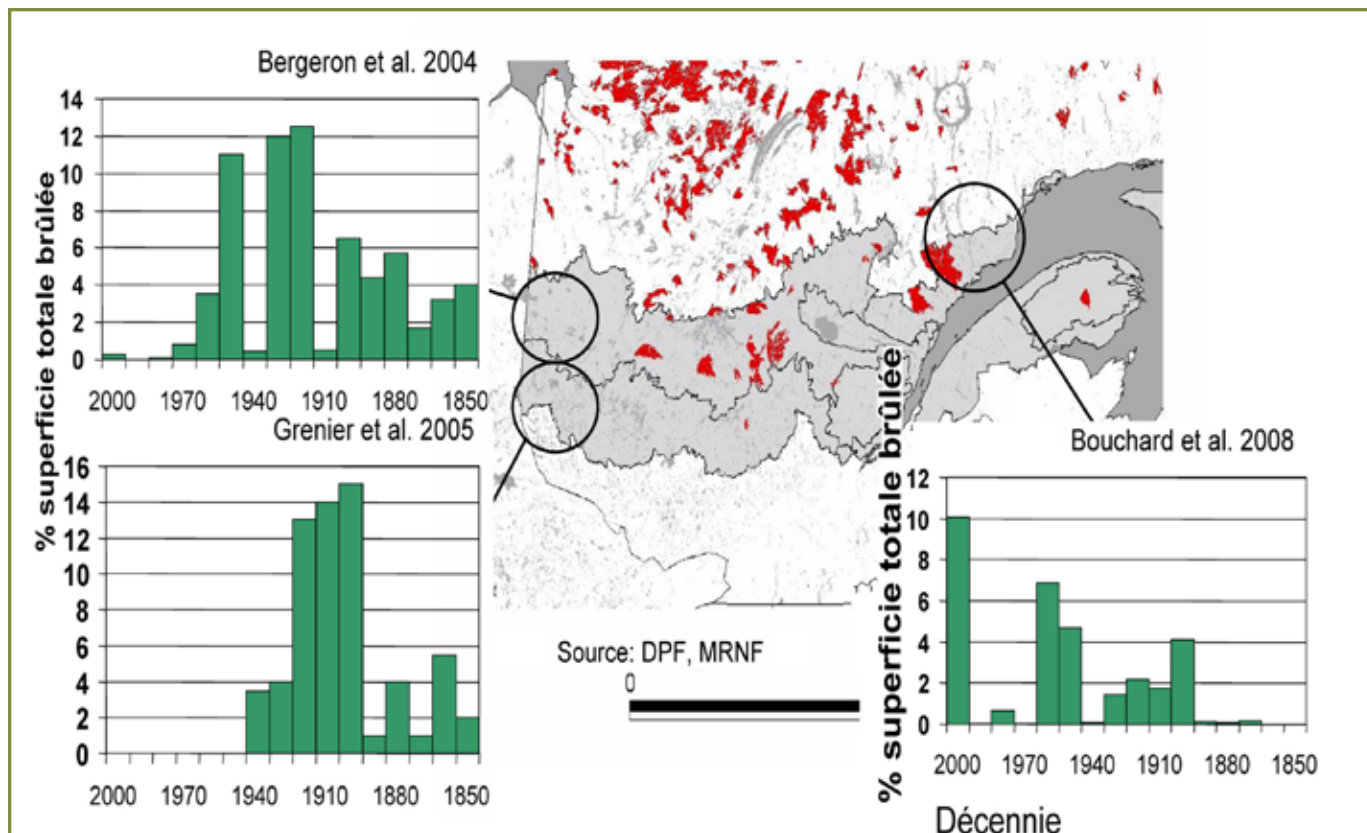


Figure 1. Variation spatiale et temporelle dans la mortalité créée par les feux de forêt. La carte illustre les grands feux (> 40 km²) qui sont survenus entre 1980 et 2010, et les graphiques illustrent la variation temporelle dans les superficies brûlées pour trois territoires de forêt mixte qui ont été étudiés plus précisément.



Figure 2. Jeunes sapins et érables à épis qui se sont établis en sous-étage, suite à de la mortalité créée dans le couvert dominant par une épidémie de tordeuse des bourgeons de l'épinette (crédits photo : M. Bouchard).

épidémie de tordeuse, on peut également observer de la mortalité partielle dans une très forte proportion des peuplements présents dans les territoires affectés, ce qui peut créer un effet d'éclaircie pour les arbres matures restants, ou encore favoriser la formation de peuplements de structure biétagée ou irrégulière lorsque la pénétration de la lumière en sous-étage est suffisante (Figure 2).

Les habitats fauniques et floristiques générés par les perturbations sévères, incluant les peuplements formés d'espèces pionnières ou encore les grandes concentrations de bois mort, sont importants pour plusieurs communautés biologiques spécialisées. En général, en forêt mixte, le rôle des habitats générés par les perturbations naturelles pour le maintien de la biodiversité a été assez bien démontré dans le domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau blanc (GAUTHIER *et al.* 2008), mais beaucoup moins dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune. Dans ce dernier domaine, l'impact des aménagements forestiers effectués au fil des décennies, ou même depuis plus d'un siècle dans certains cas, limitent fortement l'étude de la dynamique naturelle des écosystèmes forestiers. Cependant, tout porte à penser que les legs biologiques des perturbations naturelles peuvent également jouer un rôle important pour le maintien de la biodiversité dans ce domaine bioclimatique (BOUCHARD *et al.* 2008, BOUCHER *et al.* 2011).

Sur le plan socio-économique, les feux et les épidémies font également l'objet de préoccupations importantes étant donné leur impact sur la source d'approvisionnement des industries de transformation. À court terme, les perturbations peuvent

endommager des peuplements que l'on prévoyait récolter et les rendre impropres à la transformation, et peuvent donc forcer une réorganisation complète de la cédule de récolte pour assurer la récupération des bois. À plus long terme, si les perturbations sont fortement récurrentes, elles risquent de réduire la disponibilité en matière ligneuse dans une unité d'aménagement donnée. Le fait de ne pas en tenir compte dans la détermination des niveaux de récolte (possibilité forestière) pourrait entraîner des ruptures de stock à plus ou moins brève échéance.

Différentes stratégies ont été développées et peaufinées au fil des années pour atténuer l'impact des perturbations naturelles sur les activités d'aménagement forestier, comme par exemple la lutte directe contre les perturbations et la récupération des peuplements fortement endommagés. Il a aussi été proposé de modifier les caractéristiques de la forêt pour diminuer la susceptibilité ou la vulnérabilité des peuplements, par exemple en gérant la composition des peuplements, ou encore l'abondance relative des différentes classes d'âge à l'échelle de l'unité d'aménagement (par exemple en réduisant la superficie des sapinières matures pour diminuer la vulnérabilité aux épidémies). La prise en compte de la récurrence des perturbations dans les calculs de possibilité forestière pourrait également diminuer le risque de rupture de stock pour le futur.

Dans l'ensemble, les feux et les épidémies d'insectes font l'objet de perceptions qui peuvent paraître contradictoires. D'une part, elles sont perçues comme un mécanisme important pour le fonctionnement des écosystèmes et le maintien de la biodiversité en forêt mixte. Le maintien d'attributs forestiers et de legs biologiques associés aux perturbations occupe d'ailleurs une place centrale dans le contexte de la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique. D'autre part, le contrôle et la suppression des perturbations représentent une facette

importante de l'aménagement forestier en forêt mixte, permettant de limiter les impacts négatifs des perturbations sur les activités socio-économiques (approvisionnements pour les industries de transformation) et la sécurité publique (dans le cas des feux). Pour les années qui viennent, un défi important en forêt mixte sera d'intégrer ces deux aspects et de développer leur complémentarité, afin de mettre en place une approche plus cohérente de prise en compte des perturbations naturelles en aménagement forestier.

Références

- BERGERON, Y., S. GAUTHIER, M. D. FLANNIGAN, et V. KAFKA, 2004. *Fire regimes at the transition between mixedwood and coniferous boreal forest in northwestern Quebec*. Ecology 85 : 1916-1932.
- BOUCHARD, M., D. KNEESHAW et Y. BERGERON, 2008. *Ecosystem management based on large-scale disturbance pulses: a case study from sub-boreal forests of western Quebec (Canada)*. For. Ecol. Manage. 10 : 1734-1742.
- BOUCHARD, M., D. POTHIER et S. GAUTHIER, 2008. *Fire return intervals and tree species succession in the North Shore region of eastern Quebec*. Can. J. For. Res. 38 : 1621-1633.
- BOUCHER, Y., M. BOUCHARD, P. GRONDIN et P. TARDIF, 2011. *Le registre des états de référence : intégration des connaissances sur la structure, la composition et la dynamique des paysages forestiers naturels du Québec méridional*. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 161. 40 p.
- GAUTHIER, S., M.-A. VAILLANCOURT, A. LEDUC, L. DE GRANDPRÉ, D.D. KNEESHAW, H. MORIN, P. DRAPEAU et Y. BERGERON, 2008. *Aménagement écosystémique en forêt boréale*. Presses de l'Université du Québec. 568 p.
- GRENIER, D.J., Y. BERGERON, D.D. KNEESHAW et S. GAUTHIER, 2005. *Fire frequency for the transitional mixedwood forest of Timiskaming, Quebec, Canada*. Can. J. For. Res. 35 : 656-666.

L'impact des coupes en forêt mixte

Yan Boucher, biol., Ph. D.^{1,2}



Yan Boucher est biologiste et chercheur scientifique à la Direction de la recherche forestière (DRF) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF). En 2008, il complète un doctorat en Sciences de l'environnement (UQAR-UQAM) qui portait sur le développement à long terme de la végétation en réponse aux coupes des XIX^e et XX^e siècles. À la DRF, il s'intéresse à reconstituer les écosystèmes forestiers préindustriels à partir d'archives

historiques, de même qu'aux conséquences des perturbations naturelles et de l'aménagement sur le développement des forêts. Le volet appliqué de ses recherches consiste à intégrer les connaissances des caractéristiques et de la dynamique des forêts naturelles dans le cadre d'un aménagement écosystémique.

¹ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-7994
Télécopieur : 418 643-2165

² yan.boucher@mrnf.gouv.qc.ca

Introduction

Depuis le début du XIX^e siècle, les forêts tempérées du Québec ont subi d'importantes transformations liées aux activités anthropiques. L'aménagement forestier et la colonisation des terres ont contribué à modeler les forêts que nous connaissons aujourd'hui. À partir d'exemples provenant de la sapinière à bouleau jaune de l'est du Québec, nous présentons les conséquences des pratiques forestières du XIX^e et du XX^e siècle sur le développement de la structure d'âges et la composition des forêts contemporaines (Figures 1a et 1b).

Méthodologie

L'écologie historique a permis de reconstituer l'âge et la composition des paysages forestiers, de même que l'historique des pratiques forestières. Dans un premier temps, nous avons consulté des cartes forestières historiques, élaborées par la compagnie forestière Price Brother's en 1930, comme principale source d'information pour brosser le portrait des forêts naturelles de la région du Bas-Saint-Laurent (Figures 2 et 3). Dans un second temps, nous avons réalisé une analyse dendrochronologique d'un échantillon des bois flottés entre 1820 et 1970 sur la rivière Rimouski, afin de reconstituer un portrait des essences exploitées dans l'ensemble du bassin versant (Figures 4a et 4b).



Figure 1. a) Exploitation forestière et b) brûlis d'abatis au début du XX^e siècle. Crédits photo : Archives nationales du Québec.

BOUCHER, Y., 2012. *L'impact des coupes en forêt mixte*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? Colloque de transfert de connaissances*, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada, p. 29-32.

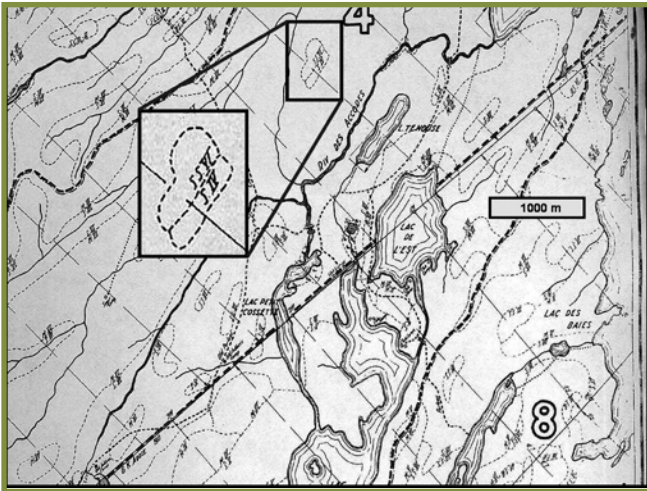


Figure 2. Cartographie des peuplements forestiers en 1930 par la compagnie Price Brother's. Crédit : Archives nationales du Québec, Fonds Price P666.

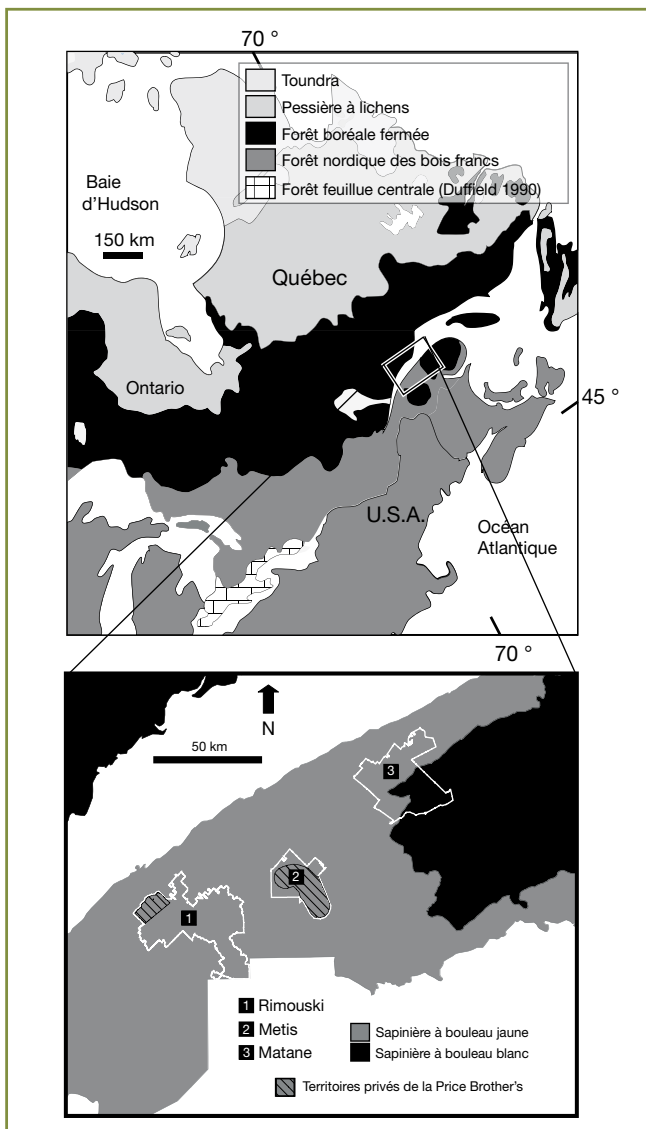


Figure 3. Localisation des territoires étudiés au Bas-Saint-Laurent, Québec (BOUCHER *et al.* 2009b).

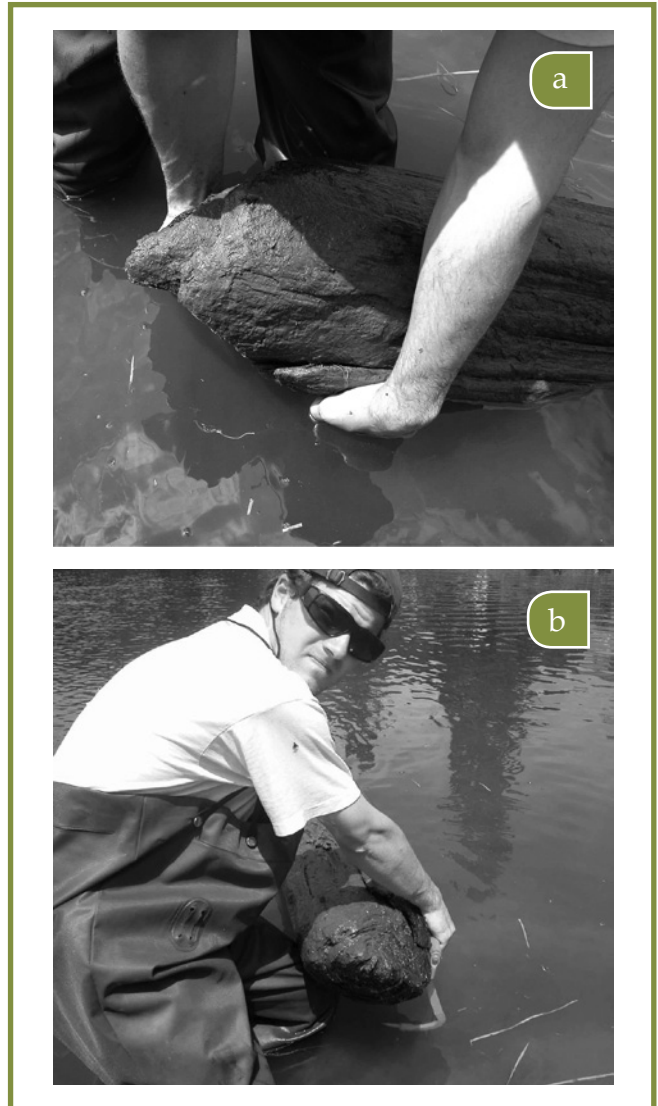


Figure 4. a) et b) Récupération de billes de bois flottées sur la rivière Rimouski. Crédits photo : Yan Boucher.

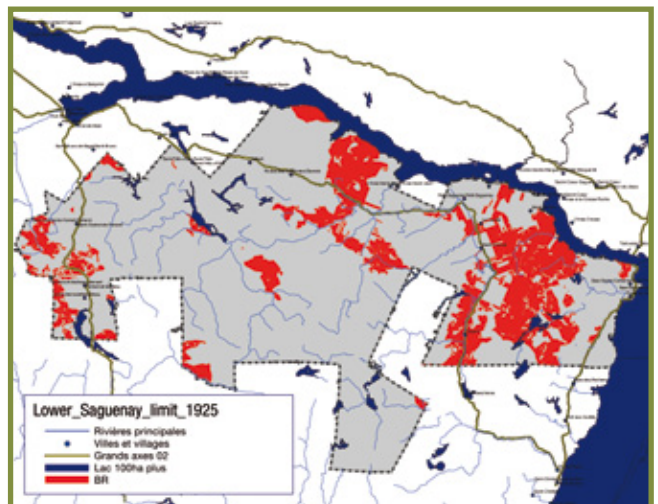


Figure 5. Délimitation des brûlis récents en 1925 dans la concession forestière « Lower Saguenay ».

Résultats et discussion

Entre la fin du XIX^e et le début du XX^e siècle, dans le domaine de la sapinière à bouleau jaune, les vagues successives de colonisation ont considérablement accentué le taux de brûlage des forêts situées à la marge des zones colonisées. En effet, les feux d'abattis réalisés après les activités de défrichage échappaient souvent au contrôle des colons et se propageaient dans les forêts avoisinantes. Par exemple dans le secteur du Bas-Saguenay-Charlevoix (Figure 5), on observe que plus de 25 % de la superficie cartographiée en 1925 avait été détruite par un feu entre 1900 et 1925. Au début du XIX^e siècle, l'introduction des coupes forestières a opéré de profonds changements, tant à l'échelle du paysage que du peuplement. Les coupes à diamètre limite et les coupes totales pratiquées extensivement ont progressivement entraîné le rajeunissement des paysages forestiers et la prolifération des essences pionnières (bouleau blanc, peuplier faux-tremble), au détriment des essences de fin de succession (épinettes et thuya occidental) et des essences pyrophiles longévives (pin rouge, pin blanc) (Figure 6).

Avec le temps, les pratiques forestières ont été de plus en plus intensives et ont engendré des conditions forestières qui se sont écartées de la structure et de la composition des forêts naturelles. L'analyse des bois flottés sur la rivière Rimouski démontre que l'exploitation de la sapinière à bouleau jaune s'est opérée en trois phases (Figure 7). Dans la première (1820-1900), l'exploitation était concentrée sur les tiges d'épinette blanche, de thuya occidental, de pin rouge et de pin blanc à fort diamètre (Figure 8). Dans la seconde phase (1901-1960), l'essor de l'industrie du sciage et des pâtes et papiers a entraîné l'exploitation de l'ensemble des conifères, incluant le sapin baumier, jusque là considéré comme une essence de peu de valeur. Avant 1930, les coupes sélectives étaient réalisées en hiver et visaient presque exclusivement les conifères d'un diamètre supérieur à 25 cm. La troisième phase d'exploitation des forêts régionales (1960-2000) correspond à l'avènement de la mécanisation et d'une exploitation beaucoup plus intensive que les coupes sélectives pratiquées antérieurement. Des coupes totales étaient alors réalisées durant toute l'année, tant sur les espèces conifériennes que feuillues. Elles ont eu des répercussions importantes sur la structure et la composition forestière des paysages forestiers du Bas-Saint-Laurent. Par ailleurs, à la suite des vastes coupes de récupération de la dernière épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (1980), la plantation massive d'épinette noire, d'épinette blanche et d'épinette de Norvège à la fin du XX^e siècle a aussi modifié la composition forestière des paysages (Figure 9).

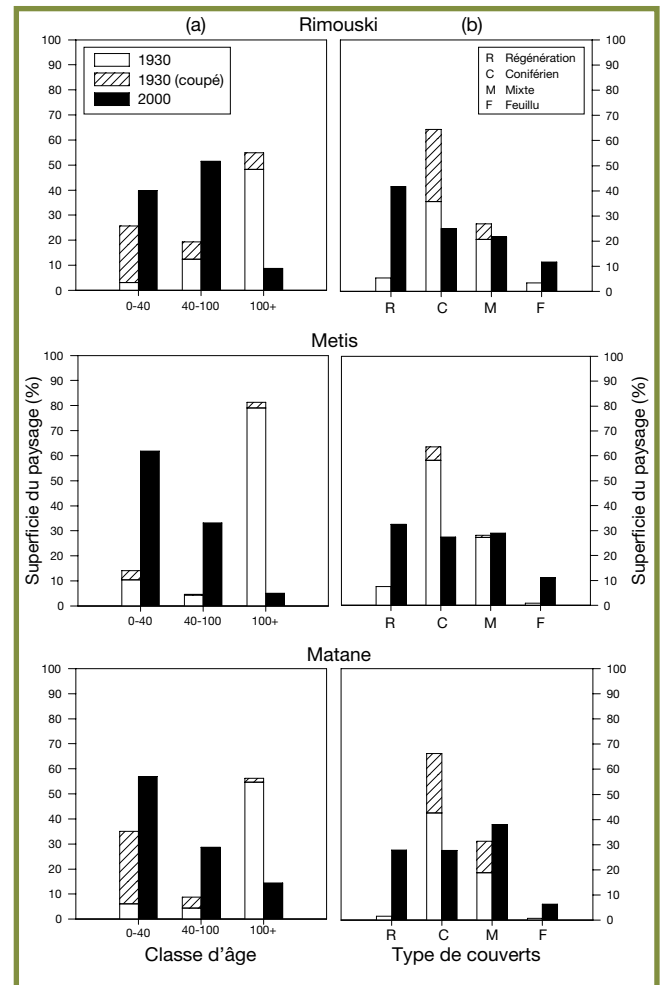


Figure 6. a) Age et b) type des couverts du territoire d'étude entre 1930 et 2000 (BOUCHER *et al.* 2009c).

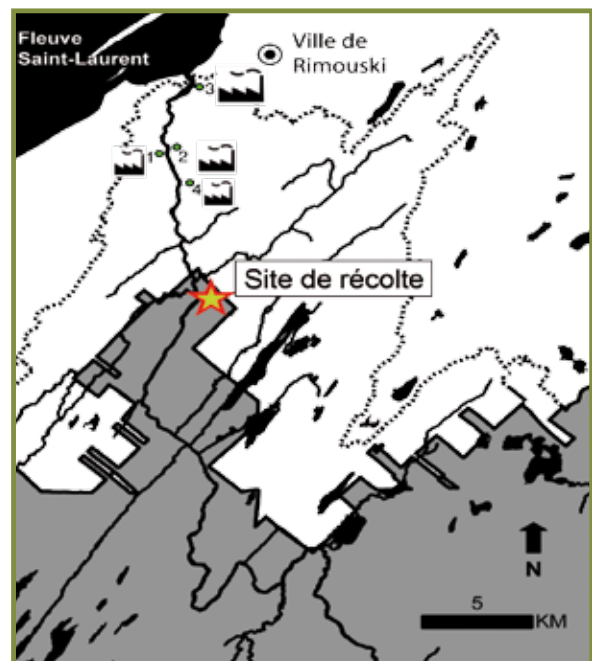


Figure 7. Site de récolte des billots dravés dans le bassin versant de la rivière Rimouski, Québec.

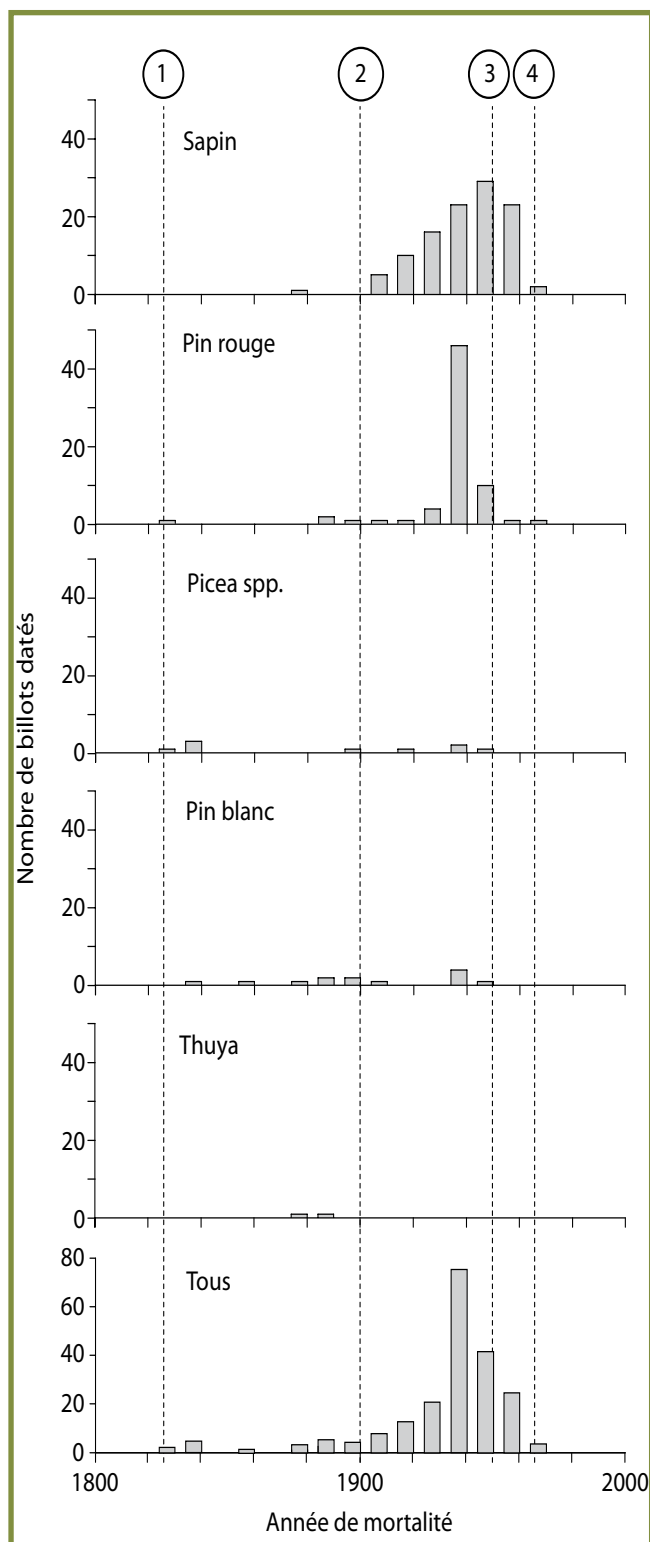


Figure 8. Chronologie des arbres coupés dans le bassin versant de la rivière Rimouski. Les chiffres correspondent à des événements majeurs de l'histoire forestière régionale. 1 : Début des coupes dans la région. 2 : Installation du moulin de la compagnie Price Brother's 3 : Début de la mécanisation des coupes. 4 : Arrêt de la drave sur la rivière Rimouski (BOUCHER *et al.* 2009a).

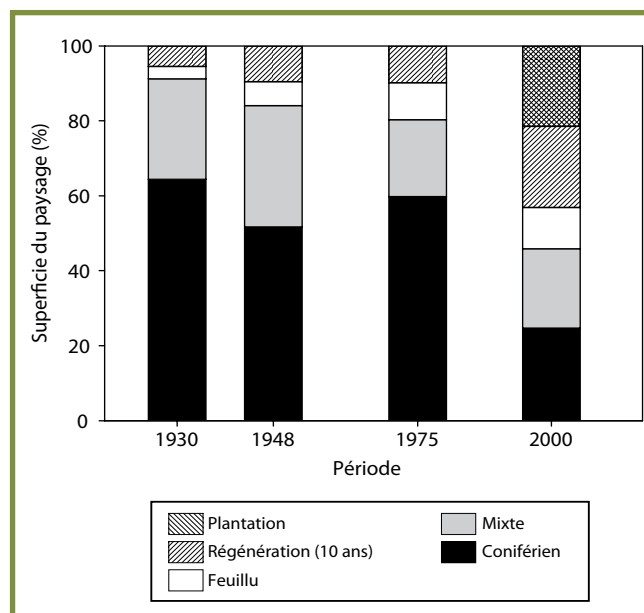


Figure 9. Répartition des types de couverts dans le bassin versant de la rivière Rimouski entre 1930 et 2000 (BOUCHER *et al.* 2009a).

Implications pour l'aménagement

Dans un contexte d'aménagement écosystémique, la foresterie devra innover et développer des pratiques sylvicoles qui reproduisent davantage des patrons de mortalité des perturbations naturelles. L'adoption de pratiques sylvicoles plus diversifiées, comme des coupes partielles s'inspirant du régime des perturbations naturelles, restaurerait la structure interne diversifiée de la forêt mixte. Les objectifs de composition, quant à eux, devraient s'inspirer des assemblages d'espèces de l'époque préindustrielle, tout en tenant compte des effets anticipés des changements climatiques sur la répartition des essences forestières. Des études supplémentaires sont nécessaires afin de mieux décrire la forêt naturelle et sa dynamique, et aussi, afin d'expérimenter des solutions sylvicoles qui permettront de bien planifier un aménagement écosystémique de la forêt mixte du Québec.

Références

- BOUCHER, Y., D. ARSENEAULT et L. SIROIS, 2009a. *Logging history (1820-2000) of an heavily exploited southern boreal forest landscape : insights from sunken logs and forestry maps*. For. Ecol. Manage. 258 : 1359-1368.
- BOUCHER, Y., D. ARSENEAULT et L. SIROIS, 2009b. *La forêt préindustrielle du Bas-Saint-Laurent et sa transformation (1820-2000) : implications pour l'aménagement écosystémique*. Nat. Can. 133 : 160-169.
- BOUCHER, Y., D. ARSENEAULT, L. SIROIS et L. BLAIS, 2009c. *Logging patterns and landscape changes over the last century at the transition between boreal and deciduous forest zones in eastern Canada*. Landscape Ecology 24 : 171-184.

La sylviculture des peuplements mixtes à feuillus tolérants

Marcel Prévost, ing.f., Ph. D.^{1,2}, Patricia Raymond, ing.f., Ph. D.¹ et Daniel Dumais, ing.f., M. Sc.¹



Marcel Prévost est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1979. En 1982, le même établissement lui décerne un diplôme de maîtrise ès sciences et, en 1988, il obtient le grade de *Philosophiæ Doctor*. Il est chercheur à la Direction de la recherche forestière depuis 1987. Pendant quelques années, ses activités de recherche ont principalement porté sur la sylviculture des forêts résineuses. Il a étudié l'effet de la préparation de terrain sur les propriétés du sol et sur l'établissement et la croissance

de l'épinette noire. Il s'est aussi intéressé à la foresterie des milieux humides et à l'impact de diverses interventions sylvicoles sur l'environnement, notamment en étudiant l'effet du drainage des tourbières boisées sur la croissance des arbres et sur la qualité des eaux de ruissellement. Depuis 1995, il est également impliqué en sylviculture des forêts mixtes, sujet qui est devenu son principal domaine de recherche. Ses travaux portent sur la mise au point de stratégies sylvicoles pour les peuplements mixtes de belle venue, pour les strates en régénération et pour les peuplements dégradés. Il étudie principalement les effets des interventions sylvicoles sur les conditions microenvironnementales, la dynamique de régénération, la croissance et le rendement.

¹ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-7994
Télécopieur : 418 643-2165

² marcel.prevost@mrf.gouv.qc.ca

Introduction

Les peuplements de belle venue de la forêt mixte ont une grande valeur, car ils sont constitués d'espèces recherchées avec des tiges de qualité. Il s'agit principalement de bétulaies jaunes résineuses constituées de bouleau jaune, d'épinette rouge, d'épinette blanche et de sapin, et dont le volume marchand peut dépasser les 200 m³/ha. La bétulaie jaune résineuse est généralement de structure inéquienne ou irrégulière, lorsqu'on considère l'ensemble des espèces. Elle contient une bonne quantité de petites tiges marchandes de bouleau jaune et d'épinettes (10 à 20 cm de diamètre) dont le potentiel de croissance est encore très grand. De plus, il y a souvent une bonne quantité d'épinettes rouges et de sapins préétablis. Dans ce type de peuplement, il est donc logique que le processus de régénération mise d'abord sur le capital forestier qui est déjà en place. Par ailleurs, la dynamique naturelle de la bétulaie jaune résineuse est semblable à celle de l'érablière et liée à la création de petites trouées par la mort d'individus âgés, le chablis et les épidémies d'insectes (GRONDIN *et al.* 1996). Dans un contexte d'aménagement écosystémique, une telle dynamique pourrait être reproduite par des coupes de faible intensité (PRÉVOST *et al.* 2003), alors que des études ont montré que la coupe totale conduit à l'envahissement du parterre par les espèces de compétition (ARCHAMBAULT *et al.* 1998).

Défis sylvicoles

Quand on aborde la sylviculture de la bétulaie jaune résineuse, il faut considérer au départ qu'elle occupe des sites très riches, où les espèces de compétition sont omniprésentes. Les espèces préétablies comme l'érable à épis, le noisetier et la viorne, de même que les espèces dont les graines sont enfouies dans le sol, tels le cerisier de Pennsylvanie et le framboisier, vont éventuellement nuire à la régénération et à la croissance des espèces désirées. Par ailleurs, les espèces que l'on veut régénérer ou maintenir dans le couvert ont toutes des caractéristiques écologiques et particularités sylvicoles très variées, en termes de tolérance à l'ombre, de stratégie de reproduction, de longévité, de taux de croissance, etc. (Tableau 1).

PRÉVOST, M., P. RAYMOND et D. DUMAIS, 2012. *La sylviculture des peuplements mixtes à feuillus tolérants*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? Colloque de transfert de connaissances*, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada. p. 33-38.

Tableau 1. Quelques caractéristiques écologiques des espèces généralement rencontrées dans la bétulaie jaune résineuse

	Sapin baumier	Épinette blanche	Épinette rouge	Bouleau jaune	Bouleau blanc	Érable rouge
Tolérance à l'ombre	+++	+-	++	+-	--	++
Lits de germination	Divers	Minéral Organique Bois	Minéral Bois (ombre)	Minéral Organique Bois	Minéral Organique Bois	Divers
Années	2 – 4	2 – 6	3 – 8	2 – 3	1	1 – 2
Longévité	70 (200)	> 200	400	> 300	> 100	150
Autres	Tordeuse Carie	Difficile à établir	Tolère la suppression	Branches adventives	Espèce pionnière	Rejets de souche

En ce qui a trait à la tolérance à l'ombre, seuls le sapin et l'épinette rouge sont assez tolérants pour s'établir sous le couvert, si l'on fait exception de l'érable rouge, qui est toujours présent dans ce type de peuplement, et du hêtre, que l'on retrouve parfois. Il est donc possible de miser sur la régénération préétablie. Toutefois, en raison de leur faible tolérance à l'ombre, très peu de bouleaux jaunes et d'épinettes blanches sont préétablis et il faut plutôt compter sur leur régénération à la suite de la coupe.

La qualité du lit de germination prend une grande importance pour la régénération des essences désirées. À cet égard, les épinettes et les bouleaux préfèrent tous des sols perturbés, où la litière de feuilles a été enlevée. Le sapin et l'érable rouge sont peu exigeants et se régénèrent facilement sur une variété de lits de germination. L'épinette rouge se distingue toutefois de toutes les autres espèces. Elle exige un substrat de qualité bien pourvu en eau, mais germe beaucoup mieux sous un certain ombrage. Elle supporte donc mal les conditions extrêmes rencontrées dans les coupes totales (DUMAIS et PRÉVOST 2007, 2008).

La fréquence des bonnes années semencières varie d'une espèce à l'autre. Celles-ci sont plus espacées chez les épinettes que chez les bouleaux. Par ailleurs, la longévité des arbres diffère beaucoup, notamment entre le sapin, l'épinette rouge et le bouleau jaune. Ainsi, la bétulaie jaune résineuse contient souvent une bonne proportion de sapins mûrs qui doivent être récoltés avant d'être perdus, alors que le bouleau et l'épinette pourraient encore attendre des centaines d'années.

Finalement, chaque espèce a ses propres particularités sylvicoles. Par exemple, le sapin est extrêmement vulnérable à la tordeuse des bourgeons de l'épinette, ce qui en fait un élément essentiel dans la dynamique naturelle de ce type de peuplement. Par ailleurs, l'épinette rouge est particulièrement tolérante à la suppression, ce qui lui permet de subsister sous couvert. Cette particularité pourrait être mise à profit en faisant de la

protection de la régénération préétablie un élément clé de la stratégie de reproduction, compte tenu des difficultés de régénérer cette espèce (PRÉVOST 2008, PRÉVOST *et al.* 2010). Finalement, l'érable rouge est une espèce compagne opportuniste (ABRAMS 1998), généralement de moindre qualité et assez abondante dans la bétulaie jaune résineuse. Le sous-bois contient généralement beaucoup de semis d'érable rouge préétablis. De plus, l'espèce se régénère massivement par de vigoureux rejets de souche à la suite de la coupe. Toute intervention sylvicole doit prendre en considération que l'érable rouge peut rapidement occuper l'espace d'espèces plus recherchées (FEI et STEINER 2009).

Objectifs sylvicoles

Dans la bétulaie jaune résineuse, le principal objectif sylvicole est de régénérer les espèces de grande valeur qui sont déjà présentes. Le bouleau jaune est une espèce de grande qualité qui se retrouve naturellement presque toujours en présence d'autres espèces. Il est associé au Québec, puisque 50 % du volume en Amérique du Nord s'y trouve, dans deux domaines bioclimatiques, l'érablière à bouleau jaune et la sapinière à bouleau jaune. La régénération des épinettes est aussi un objectif incontournable puisqu'elles peuvent atteindre de grandes dimensions. De plus, la conservation de la composante résineuse est l'un des enjeux sylvicoles majeurs pour ce type de peuplement. L'épinette rouge a un attrait particulier, puisqu'elle se trouve uniquement en forêts mixte et feuillue et qu'elle est souvent préétablie dans la bétulaie jaune résineuse.

Les conditions pour régénérer le bouleau jaune sont assez bien connues (ERDMANN 1990). Il faut une source de semences et puisque c'est une espèce dont la tolérance à l'ombre est intermédiaire, une ouverture du couvert est nécessaire. De plus, la perturbation de la litière est essentielle, car les graines doivent tomber dans des lits de germination réceptifs, ce qui n'est pas le cas de la litière de feuilles. Par la suite, les conditions météorologiques doivent permettre de garder la surface du sol humide. Un certain contrôle de la compétition est également nécessaire et peut se faire de façon indirecte, en limitant l'ouverture du couvert, ou de façon directe, en l'enlevant par scarifiage. Pour créer ces conditions, diverses études effectuées en forêt feuillue du nord-est américain recommandent la coupe totale suivie du scarifiage, dans des trouées allant de 400 à 3 000 m² (MARQUIS 1965) ou dans des bandes de 20 à 40 m de largeur (METZGER 1980). Il est également recommandé de créer des conditions qui imitent le chablis d'individus ou de petits groupes d'arbres (WILLIS et JOHNSON 1978).

L'épinette rouge a des exigences écologiques particulières (BLUM 1990). Il lui faut un lit de germination de qualité (sol minéral ou bois en décomposition), et l'humidité doit être maintenue pour assurer la survie

des plantules, en raison de leur enracinement superficiel. L'espèce est aussi très sensible à la pleine lumière, aux hautes températures et au gel (DUMAIS et PRÉVOST 2007). On recommande donc la création d'ouvertures partielles pour maintenir un certain couvert, soit en pratiquant de petites trouées ou le jardinage par groupes d'arbres. La littérature rapporte que les trouées sont efficaces pour régénérer les différentes espèces présentes dans une forêt mixte de feuillus et d'épinettes (OOSTING et REED 1942), mais que le jardinage par pied d'arbre serait plus indiqué pour l'épinette rouge (FRANK et BLUM 1978).

Programme de recherche

Depuis bientôt 15 ans, la Direction de la recherche forestière (DRF) mène des études sur la sylviculture de la bétulaie jaune résineuse. À la fin des années 1990, les premiers travaux ont testé des coupes partielles uniformes avec des taux de prélèvements plus élevés que le jardinage conventionnel. Ensuite, en 1999, l'approche par trouées systématiques et par parquet a été mise à l'essai. En 2003, ces approches ont été comparées au jardinage par groupes d'arbres. Plus récemment, le jardinage par groupes d'arbres a été combiné à la plantation d'épinette rouge, en raison des difficultés de régénérer cette espèce par ensemencement naturel. Certains de ces dispositifs expérimentaux à long terme ont commencé à apporter de l'information.

Coupes partielles uniformes

Une première étude a fait l'expérimentation de différentes intensités de coupes partielles uniformes (prélèvement de 40, 50 et 60 % de la surface terrière, laissant 14, 16 et 19 m²/ha, respectivement), et une CPRS qui correspond à une ouverture de 0,5 ha. Les coupes partielles ont été l'objet d'une sélection préalable des tiges selon des critères d'espèces cibles à récolter en priorité (principalement le sapin mature), de vigueur et de qualité, dans un objectif d'amélioration du peuplement. Les traitements ont été appliqués sur deux sites, à Armagh (comté de Bellechasse, en 1997), et à Duchesnay (comté de Portneuf, en 1998). L'objectif principal était de favoriser l'ensemencement naturel du bouleau jaune et des épinettes, en comptant à la fois sur les semenciers laissés sur pied et sur la perturbation produite par la coupe, lors d'une opération de scarifiage passif. L'étude visait également à augmenter la croissance des tiges résiduelles.

Les résultats de régénération (PRÉVOST 2008) ont fait ressortir les conditions dans lesquelles les traitements avaient été efficaces (Figure 1). Les coupes à Armagh ont été faites en présence d'une épaisse couche de neige, qui a été très hâtive en 1997. Le sol a donc été

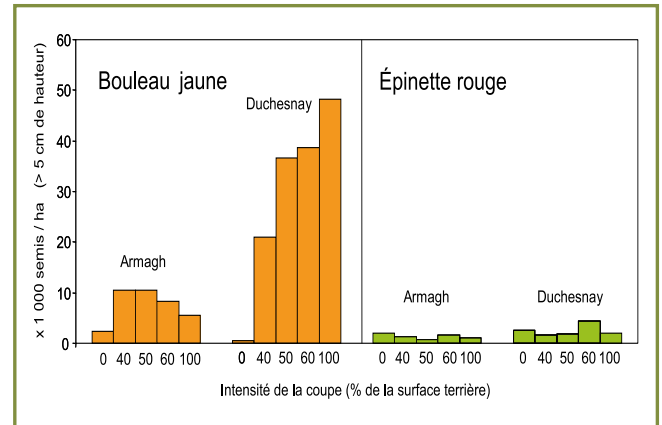


Figure 1. Densité des semis de bouleau jaune et d'épinette rouge après 5 ans, selon l'intensité de la coupe dans les sites d'Armagh et de Duchesnay (Adapté de PRÉVOST 2008).

peu perturbé et la régénération en bouleau jaune a été faible, quoique légèrement meilleure dans les coupes partielles que dans la CPRS et le témoin. La compétition est surtout venue de l'érable à épis et de l'érable rouge (non présenté). À Duchesnay, les mêmes traitements ont été appliqués sans couvert de neige. La perturbation du sol a été adéquate et la régénération a été excellente pour le bouleau jaune, surtout dans les prélèvements à 50, 60 et 100 %. Elle a été bonne pour l'épinette rouge dans la coupe à 60 %, soit celle qui avait laissé 14 m²/ha. La compétition à ce site est surtout venue du cerisier, principalement dans la coupe à 100 % (non présenté).

Les récentes analyses ont porté sur la réaction des tiges résiduelles après 10 ans (PRÉVOST et DUMAIS, en révision). L'un des buts des coupes partielles était de prélever à l'avance une partie de la mortalité, et ce fut le cas dans les deux sites. Par contre, la mortalité a été plus grande à Armagh (60 à 140 tiges/ha) qu'à Duchesnay (20 à 90 tiges/ha). Alors que la coupe à 40 % a permis de prélever les deux tiers de la mortalité à Duchesnay, aucune des coupes n'a été aussi efficace à Armagh. L'une des raisons est que la composition du peuplement comprenait plus de sapins et de bouleaux blancs qui ont continué de mourir sur pied dans ce dernier site. La deuxième raison est un chablis partiel survenu le 17 septembre 1999, lors de la tempête associée à l'Ouragan Floyd, qui a fait des dommages notamment dans la Beauce et dans Bellechasse. Le sapin, l'épinette et l'érable rouge ont été touchés dans tous les traitements, y compris le témoin, alors que le bouleau jaune a bien résisté à cet événement météorologique.

Le recrutement de tiges dans la classe marchande a également été très différent entre les deux sites, étant relié à la composition du sous-étage avant la coupe. Le recrutement était principalement constitué d'épinette,

de sapin et de bouleau jaune à Armagh, alors qu'il était constitué de sapin et de hêtre à Duchesnay. La croissance en diamètre des tiges résiduelles s'est aussi avérée reliée à la structure des peuplements. L'article à venir (PRÉVOST et DUMAIS, en révision) analyse plus à fond l'effet de la structure des deux peuplements sur la mortalité, le recrutement et la croissance des tiges résiduelles.

Coupe partielle avec trouées

La deuxième étude a expérimenté des coupes par trouées de 20, 30 et 40 m de diamètre et une coupe par parquet (100 m x 100 m). Le dispositif a été complété par un scarifiage par placeaux sur la moitié des ouvertures et par un prélèvement du tiers des tiges entre les trouées, combinant ainsi l'approche par trouées et la coupe partielle uniforme. Le dispositif a été établi en 1999 à Rivière-à-Pierre (comté de Portneuf), avec la collaboration du Service canadien des forêts, de FERIC, de l'Université Laval, de Gestofor et du Groupement forestier de Portneuf. L'objectif principal était d'ensemencer le bouleau jaune dans les trouées en essayant de trouver leur grandeur optimale. L'étude visait également à estimer l'effet d'ajouter un scarifiage actif aux perturbations déjà créées lors de la coupe (scarifiage passif).

Les résultats de régénération ont été publiés dans PRÉVOST et RAYMOND (2010) et PRÉVOST *et al.* (2010). D'abord, le fait de synchroniser la coupe et le scarifiage avec une bonne année semencière a permis d'établir une abondante régénération de bouleau jaune. Ensuite, les résultats ont fait ressortir l'effet de la grandeur des ouvertures et de la position à l'intérieur et autour des ouvertures. L'établissement a été meilleur dans les coupes par trouées de 20, 30 et 40 m que dans le parquet et le témoin (non présenté). Après 6 ans, l'analyse des niches de régénération a montré que les ouvertures scarifiées et les lisières des trouées avaient une plus grande densité de semis de bouleau jaune de plus de 30 cm de hauteur que les ouvertures non scarifiées et le sous-bois entre les trouées (Figure 2). D'autre part, l'étude du succès d'établissement en fonction de la nature du lit de germination a indiqué qu'un scarifiage moins intense aurait probablement été aussi efficace que la création de placeaux.

La perte de régénération préétablie à la suite du scarifiage a été le principal résultat pour les résineux. Ainsi, le sapin était moins abondant dans les trouées scarifiées que dans les autres niches de régénération. Toutefois, il s'est bien établi dans la lisière sud des ouvertures, où le microclimat ombragé s'apparentant plus au sous-bois semble lui avoir été favorable.

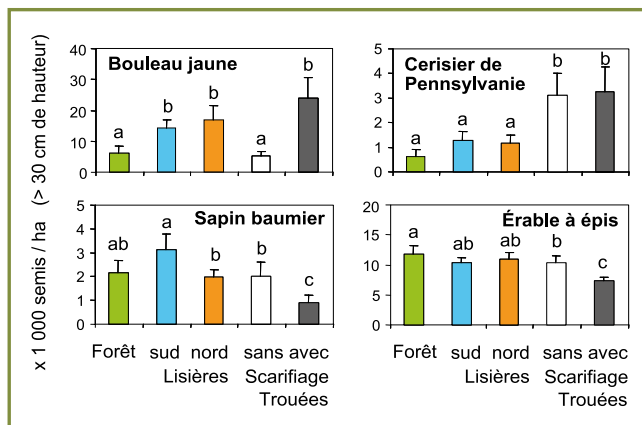


Figure 2. Densité des semis de bouleau jaune, de sapin baumier, de cerisier de Pennsylvanie et d'érable à épis, selon la niche de régénération 6 ans après un jardinage avec trouées (Adapté de PRÉVOST *et al.* 2010).

Les espèces de compétition dont les graines étaient enfouies dans le sol, comme le cerisier et le framboisier, ont envahi toutes les grandeurs d'ouvertures, qu'elles aient été scarifiées ou non. L'érable à épis, qui était déjà préétabli dans le sous-bois, était quelque peu moins abondant dans les trouées scarifiées. Il semble toutefois s'être accommodé de toutes les autres niches de régénération, ce qui indique que cette espèce de compétition demeurera une composante importante de la strate en régénération.

Jardinage par pied d'arbre, par groupes d'arbres et avec trouées

Une troisième étude a découlé des résultats des premières études dans les comtés de Bellechasse et de Portneuf. Les grandes trouées avaient été jusqu'à un certain point profitables au bouleau jaune. Toutefois, les espèces de compétition avaient eu tendance à les envahir et ces trouées n'étaient nullement propices au développement des résineux. Par ailleurs, les études sur la coupe partielle uniforme avaient montré des résultats encourageants pour régénérer le bouleau jaune, contrôler la compétition et conserver l'épinette rouge. L'ensemble de ces résultats laissent donc supposer qu'il existait un degré intermédiaire d'ouverture qui profiterait plus aux espèces désirées qu'à la compétition, reproduisant mieux la dynamique naturelle par petites trouées.

L'étude, établie à Armagh en 2003, compare sur un même site trois approches : 1) le jardinage par pied d'arbre, 2) le jardinage par groupes d'arbres, créant des trouées de 5 à 15 m de diamètre avec prélèvement prioritaire du sapin mature, et 3) les trouées systématiques de 30 m, conformes à la pratique en vigueur dans l'Unité de gestion des Appalaches. Le dispositif,

qui comprend quatre répétitions, permettra de comparer statistiquement les trois approches et d'estimer l'effet de la grandeur des ouvertures sur la dynamique de la régénération et la lumière.

Après 7 ans, la densité des tiges d'espèces commerciales ayant dépassé les 30 cm de hauteur semblait reliée au traitement. Les trois types de coupes ont favorisé l'établissement massif du bouleau jaune et de l'érable rouge, avec 6 000 à 9 000 semis/ha. Par contre, le sapin (2 000 à 3 000 semis/ha) et l'épinette rouge (< 2 000 semis/ha) étaient beaucoup moins abondants. Le nombre de semis d'épinette rouge avait toutefois tendance à être plus élevé dans les unités témoin, intermédiaire dans les coupes par groupes d'arbres et par pied d'arbre, et minimal dans les coupes par trouées systématiques. Les analyses et les prochains suivis permettront d'estimer jusqu'à quel point les traitements se différencient significativement, pour la régénération des conifères entre autres.

Jardinage par groupes d'arbres et enrichissement en épinette rouge

Les années suivantes ont mené à un contexte nouveau. Le rôle important des petites trouées dans la dynamique naturelle de la forêt mixte était mieux connu (KNEESHAW et PRÉVOST 2007), et il était de plus en plus question des enjeux de biodiversité liés à la raréfaction de certaines espèces, notamment l'épinette rouge (FORTIN 2003). Il en était de même du problème d'enfeuillage qui touchait particulièrement la forêt mixte, en raison de la difficulté de conserver les résineux. De plus, durant cette période, l'aménagement écosystémique devenait une priorité ministérielle. Ces changements ont conduit à de nouveaux besoins de recherche.

Ainsi, en 2008, un nouveau dispositif a été établi dans le comté de Portneuf. Il fait l'essai de trouées de dimensions et d'emplacements variables en pratiquant la coupe de jardinage par groupes d'arbres selon trois niveaux de surface terrière résiduelle (13, 16 et 19 m²/ha). De plus, la régénération a été enrichie par la plantation d'épinette rouge sur la moitié de chaque unité expérimentale. L'objectif général est d'estimer l'effet de la combinaison de traitements sur la régénération, le rendement et les attributs des vieilles forêts. La sélection des tiges à couper a suivi le classement MSCR et les priorités de récolte de la région, sans utiliser les diamètres optimaux de récolte, ni prélever d'épinette d'un diamètre inférieur à 35 cm. L'étude a également prévu le martelage positif de dix chicots à l'hectare à conserver et d'arbres vivants à valeur faunique, soit des arbres ayant des cavités ou produisant des fruits, incluant un vétéran à l'hectare.

Comme prévu, les plus grandes trouées sylvicoles ont rapidement été envahies de végétation de compétition. Le bouleau jaune s'est également établi, principalement aux endroits perturbés par la machinerie. Il s'agissait d'ailleurs d'une perturbation délibérée à l'intérieur des trouées, soit un scarifiage léger fait par la débusqueuse, dans le but de créer des lits de germination réceptifs. Par ailleurs, l'épinette rouge plantée 2 ans plus tôt dans les trouées était vigoureuse, ce qui laissait entrevoir un suivi des plus intéressants dans le futur.

Implications sylvicoles et perspectives d'avenir

Il est impossible de tirer des conclusions solides en se basant sur des résultats à court terme, mais certaines grandes lignes peuvent être tracées. Les différentes études confirment que l'amélioration du lit de germination est le premier facteur à considérer pour régénérer le bouleau jaune sous nos conditions. Il faut donc éviter les coupes d'hiver, ou sinon, planifier un scarifiage léger. Il est également possible de combiner les opérations de récolte et de scarifiage en modifiant le débardeur, par exemple à l'aide d'un râteau.

La régénération de l'épinette rouge est problématique. Les meilleurs résultats d'ensemencement ont été obtenus avec le jardinage par pied d'arbre et par groupes d'arbres qui laissaient sur pied de 13 à 20 m²/ha. Ces interventions se sont également avérées profitables au bouleau jaune. Cependant, la difficulté de régénérer l'épinette rouge fait ressortir la grande valeur de la régénération préétablie et l'importance de la protéger, qu'il s'agisse de semis, de gaules ou de perches. De plus, puisque la régénération de l'épinette est un long processus, la conservation des semenciers devrait aussi faire partie des mesures à prendre afin de bénéficier d'un ensemencement périodique. Par ailleurs, l'enrichissement par la plantation sera une avenue inévitable, surtout pour les superficies déjà dégradées. Il apparaît tout aussi évident qu'il faudra des interventions qui vont respecter les exigences écologiques de l'épinette rouge, si l'on veut conserver la composition en espèces de la bétulaie jaune résineuse. En ce sens, le maintien d'un couvert semble essentiel, et l'ouverture se doit d'être graduelle. Une diversité dans la grandeur des ouvertures pourrait aussi favoriser la diversité des espèces dans ce type de peuplement.

Les études nous ont renseignés sur la façon de conserver la composition en essences, mais il reste beaucoup à apprendre. L'estimation des rendements que l'on peut espérer à la suite de ces interventions sera une priorité. Éventuellement, il faudra définir les interventions futures et identifier les scénarios sylvicoles

dans lesquels elles s'inscriront. La qualité des tiges résiduelles sera un autre aspect à considérer, par exemple, il faudra évaluer la formation de branches adventives chez le bouleau jaune à la suite de coupes de forte intensité. Finalement, dans une perspective plus globale, il faudra juger de l'effet des différentes approches sur la biodiversité.

Références citées

- ABRAMS, M.D., 1998. *The red maple paradox. What explains the widespread expansion of red maple in eastern forests?* BioSci. 48 : 355-364.
- ARCHAMBAULT, L., J. MORISSETTE et M. BERNIER-CARDOU, 1998. *Forest succession over a 20-year period following clearcutting in balsam fir–yellow birch ecosystems of eastern Québec, Canada.* For. Ecol. Manage. 102 : 61-74.
- BLUM, B.M., 1990. *Picea rubens Sarg. (red spruce).* Dans *Silvics of North America. Vol. 1. Conifers.* R.M. Burns et B.H. Honkala (Éds). USDA For. Serv. Agric. Handb. 654 : 250-259.
- DUMAIS, D. et M. PRÉVOST, 2007. *Management for red spruce conservation in Québec: The importance of some physiological and ecological characteristics – A review.* For. Chron. 83 : 378-392.
- DUMAIS, D. et M. PRÉVOST, 2008. *Les coupes partielles sont-elles favorables à la régénération préétablie d'épinette rouge?* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 12. 2 p.
- ERDMANN, G.G., 1990. *Betula alleghaniensis Britton (yellow birch).* Dans *Silvics of North America. Vol. 2. Hardwoods.* R.M. Burns et B.H. Honkala (Éds). USDA For. Serv. Agric. Handb. 654 : 133-147.
- FEI, S. et K.C. STEINER, 2009. *Rapid capture of growing space by red maple.* Can. J. For. Res. 39 : 1444-1452.
- FORTIN, M., 2003. *Raréfaction de l'épinette rouge.* Chapitre 2 du document : *Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière.* P. Grondin et A. Cimon (Éds). Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier. p. 45-65.
- FRANK, R.M. et B.M. BLUM, 1978. *The selection system of silviculture in spruce-fir stands—procedures, early results, and comparison with unmanaged stands.* USDA For. Serv. Res. Pap. NE-425. 15 p.
- GRONDIN, P., C. ANSSEAU, L. BÉLANGER, J.F. BERGERON, Y. BERGERON, A. BOUCHARD, J. BRISSON, L. DE GRANDPRÉ, G. GAGNON, C. LAVOIE, G. LESSARD, S. PAYETTE, P.J.H. RICHARD, J.P. SAUCIER, L. SIROIS et L. VASSEUR, 1996. *Écologie forestière.* Dans : *Manuel de foresterie. L'Ordre des ingénieurs forestiers du Québec (Éd.).* Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, Québec. p. 133-279.
- KNEESHAW, D.D. et M. PRÉVOST, 2007. *Natural canopy gap disturbances and their role in maintaining mixed-species forests of central Quebec, Canada.* Can. J. For. Res. 37 : 1534-1544.
- MARQUIS, D.A., 1965. *Regeneration of birch and associated hardwoods after patch cutting.* USDA For. Serv. Res. Pap. NE-32. 12 p.
- METZGER, F.T., 1980. *Strip clearcutting to regenerate northern hardwoods.* USDA For. Serv. Res. Pap. NC-186. 14 p.
- OOSTING, H.J. et J.F. REED, 1942. *The establishment of white birch community on cutover pulpwood land in northwestern Maine.* Bull. Torrey Bot. Club 69 : 647-660.
- PRÉVOST, M., 2008. *Effect of cutting intensity on microenvironmental conditions and regeneration dynamics in yellow birch–conifer stands.* Can. J. For. Res. 38 : 317-330.
- PRÉVOST, M. et D. DUMAIS, (en révision). *Decennial growth and mortality following partial cutting in yellow birch–conifer stands.*
- PRÉVOST, M. et P. RAYMOND, 2010. *La coupe par trouées, une option pour régénérer la bétulaie jaune résineuse?* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 21. 2 p.
- PRÉVOST, M., P. RAYMOND et J.-M. LUSSIER, 2010. *Regeneration dynamics after patch cutting and scarification in yellow birch–conifer stands.* Can. J. For. Res. 40 : 357-369.
- PRÉVOST, M., V. ROY et P. RAYMOND, 2003. *Sylviculture et régénération des forêts mixtes du Québec (Canada) : une approche qui respecte la dynamique naturelle des peuplements.* Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 125. 7 p.
- WILLIS, G.L. et J.A. JOHNSON, 1978. *Regeneration of yellow birch following selective cutting of old growth northern hardwoods.* Ford For. Cent., Mich. Tech. Univ., L'Anse, MI, Res. Note 26. 13 p.

La sylviculture des peuplements mixtes à feuillus intolérants

Brian Harvey, ing.f., Ph. D.^{1,2}

Brian Harvey est ingénieur forestier diplômé de l'Université du Nouveau-Brunswick et détenteur d'un doctorat en sciences forestières de l'Université Laval. Il est professeur en écologie forestière appliquée et sylviculture à l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue et membre régulier du Centre d'étude de la forêt et de la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable. Il est aussi Directeur de la Forêt d'enseignement et de recherche du Lac Duparquet.

¹ Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue
445, boulevard de l'Université
Rouyn-Noranda (Québec) J9X 5E4
Téléphone: 819 762-0971
Télécopieur: 819 797-4727

² brian.harvey@uqat.ca

À l'échelle du peuplement, l'aménagement des forêts mélangées tire sa complexité de l'existence d'une multitude de combinaisons et de configurations de mixités, des différences autécologiques entre les essences (tolérance à l'ombre, modes de reproduction, taux de croissance, taille maximale, longévité et vulnérabilités particulières) ainsi que de l'influence de diverses perturbations. Le paradigme émergent, d'aménager des forêts pour générer de la complexité, suggère que l'hétérogénéité de la composition, la structure et la dynamique des peuplements mélangés présentent aux sylviculteurs une véritable palette d'options d'aménagement. Par ailleurs, tout en formulant des objectifs sylvicoles appropriés à la composition et à la structure des peuplements à traiter, dans le contexte de l'aménagement écosystémique et durable des forêts, les considérations du maintien des proportions équilibrées de couverts feuillu, mélangé et résineux à une échelle plus étendue devraient aussi orienter les pratiques sylvicoles. Puisque aucune approche sylvicole n'est universelle, cette présentation sera décidément abitibienne et écosystémique mais devrait trouver une résonance dans toutes les régions du Québec où feuillus intolérants et résineux tolérants se côtoient.

HARVEY, B., 2012. *La sylviculture des peuplements mixtes à feuillus intolérants*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? Colloque de transfert de connaissances*, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada. p. 39.

La remise en production de peuplements mixtes dégradés avec présence de semenciers

Jean-Claude Ruel, ing.f., Ph. D.^{1,2}



Jean-Claude Ruel est ingénieur forestier diplômé de l'Université Laval depuis 1981. Il a par la suite obtenu de la même institution une maîtrise en 1983 et un doctorat en aménagement forestier et sylviculture en 1987. De 1986 à 1991, il a travaillé comme chercheur en sylviculture au sein du ministère des Forêts du Québec. Ses travaux principaux durant cette période ont porté sur l'impact de la récolte de peuplements résineux sur leur régénération. Depuis 1991, il travaille à l'Université Laval comme professeur en sylviculture. Ses recherches portent principalement sur le chablis, la régénération naturelle, ainsi que le développement d'approches de coupes partielles adaptées à la forêt boréale.

Ses recherches portent principalement sur le chablis, la régénération naturelle, ainsi que le développement d'approches de coupes partielles adaptées à la forêt boréale.

- ¹ Centre d'étude de la forêt
Département des sciences du bois et de la forêt
Pavillon Abitibi-Price
2405, rue de la Terrasse
Université Laval
Québec (Québec) G1V 0A6
- ² Jean-Claude.Ruel@sbf.ulaval.ca

Problématique

À la suite de plusieurs décennies de coupes à diamètre limite, on a assisté à la formation de peuplements dégradés, peu productifs. Cette situation est particulièrement présente dans les peuplements mixtes contenant du bouleau jaune. Les peuplements découlant d'une coupe à diamètre limite sont généralement ouverts, constitués de tiges résiduelles de vigueur et de qualité faibles ainsi que d'un sous-étage envahi par la végétation concurrente (ROY et PRÉVOST 2001). Dans certains cas, une régénération naturelle peut être présente, mais elle n'est jamais libre de croître.

KENEFIC et NYLAND (2005) distinguent deux grands contextes de remise en production de peuplements dégradés. Dans le premier, le couvert contient peu d'arbres d'avenir. Dans un tel cas, il convient de les récolter et d'évaluer la régénération présente. Si celle-ci est suffisante, on la dégagera. Sinon, on verra à installer une régénération complémentaire, ce qui devra se faire par voie artificielle, puisqu'il n'y a plus de source de semences. Dans le second contexte, certains arbres présentant un potentiel sont présents. Il s'agit alors de récolter les arbres sans potentiel et de conserver les autres. La régénération sera alors évaluée. La régénération présente pourra être dégagée et une régénération complémentaire pourra être obtenue, soit par voie artificielle, soit par voie naturelle, en utilisant les semenciers résiduels.

Plusieurs obstacles se posent pour utiliser le potentiel des semenciers résiduels dans ces peuplements. Il faut d'abord que le faible nombre de semenciers restants suffise à assurer un ensemencement adéquat. De plus, des microsites favorables à la germination et à la croissance du bouleau jaune doivent être disponibles, la compétition pour la lumière doit être limitée, et la pression de broutement par les herbivores ne doit pas être excessive, puisque le bouleau jaune est une espèce appréciée par ceux-ci.

RUEL, J.-C., 2012. *La remise en production de peuplements mixtes dégradés avec présence de semenciers*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie?* Colloque de transfert de connaissances, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada. p. 41-44.

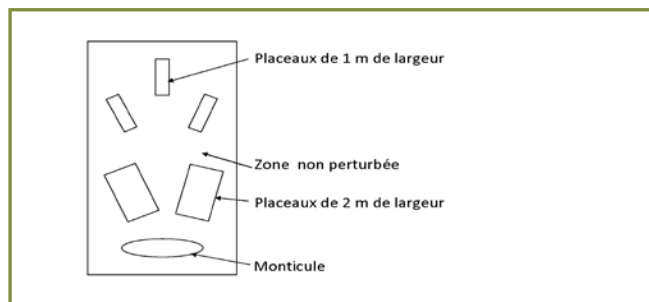


Figure 1. Schéma d'un point d'échantillonnage comportant les types de milieux d'établissement.

Dans le but de développer des approches de remise en production de peuplements mixtes à bouleau jaune, un dispositif a été mis en place à partir de 2000 dans la région de Portneuf. Plus spécifiquement, il visait à :

- vérifier le potentiel des arbres résiduels comme semenciers ;
- vérifier l'impact de différents milieux de germination sur l'installation et la croissance de la régénération de bouleau jaune ;
- évaluer l'impact de la végétation concurrente et du broutement par le lièvre sur la croissance du bouleau jaune.

Méthodologie

Quatre peuplements dégradés d'une superficie de 2,25 ha chacun ont été sélectionnés. Ces peuplements étaient issus de coupes partielles et de coupes à diamètre limite effectuées à la fin des années 1980. Ces peuplements ouverts avaient une surface terrière marchande généralement inférieure à 15 m²/ha. La principale espèce arborescente rencontrée était le bouleau jaune. Un sous-étage, principalement dominé par l'érable à épis et la viorne à feuilles d'aulne, s'était installé. La régénération en bouleau jaune y était faible.

Chaque peuplement a été divisé en bandes de 6 m. Le scarifiage a été réalisé sur le tiers des bandes, suite à un débroussaillage. Le scarifiage s'est fait à l'automne à l'aide d'une excavatrice, de façon à créer délibérément une diversité de milieux de germination à l'intérieur d'une surface réduite. Ainsi, quatre types de lit de germination ont été créés par point d'échantillonnage : des placeaux de 1 et 2 m de largeur, un monticule composé d'un mélange de matière organique et de sol minéral formé à partir du matériel prélevé lors de la création des placeaux, et une zone non perturbée située entre les deux types de placeaux (Figure 1). Quinze points d'échantillonnage par peuplement ont été retenus.

L'ensemencement naturel, de même que l'installation de la régénération, ont été suivis sur une période de 3 ans. Des mesures d'intensité lumineuse ont été prises

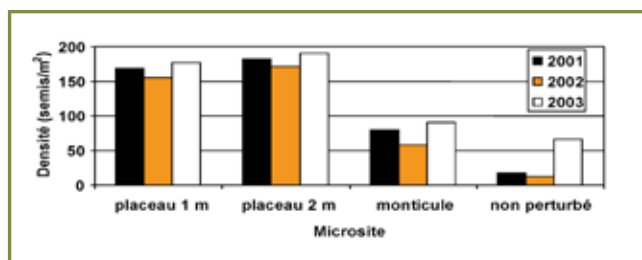


Figure 2. Densité de la régénération de bouleau jaune à la fin des étés 2001, 2002 et 2003 (1, 2 et 3 ans après le scarifiage). Note : le dénombrement arrêtaît lorsque l'on rencontrait 200 semis au m².

après 3 ans, au-dessus et au-dessous de la strate arbustive. Enfin, des analyses nutritionnelles ont permis de comparer la disponibilité des principaux éléments dans les différentes conditions de microsite. Afin de tester l'effet de la compétition et du broutement sur le développement des semis de bouleau jaune, deux dispositifs expérimentaux ont été mis en place en 2003, l'un avec exclos et l'autre sans exclos. La moitié de ces exclos a été dégagée manuellement pour éliminer toute végétation concurrente. Le dégagement a été répété lorsque nécessaire. Dans le second dispositif sans exclos, la moitié des lits de germination a aussi été dégagée manuellement. Finalement, pour chacun des 200 lits sélectionnés dans les deux dispositifs (avec et sans exclos), huit semis de bouleau jaune ont été identifiés et suivis. La hauteur totale, la longueur de la pousse annuelle et la présence de broutement ont été mesurées pendant trois années consécutives, soit de 2004 à 2006.

Résultats

Ensemencement naturel

La disponibilité des semences au cours de la première année a été excellente, la densité moyenne de graines atteignant 1 014 semences/m² (GASTALDELLO *et al.* 2007a). La seconde année a été moins bonne et la troisième, excellente. Aucun lien n'a pu être établi entre la densité des semenciers à l'intérieur d'un rayon de 20 m et la disponibilité des semences.

Installation de la régénération

L'installation de la régénération a été la meilleure sur les placeaux de 1 et 2 m (GASTALDELLO *et al.* 2007a). La densité des recrues au cours de la première année y dépassait 150 semis/m². L'installation de la régénération était plutôt faible sur les monticules et presque absente sur les microsites non perturbés (Figure 2). Le niveau de régénération sur les différents microsites s'est maintenu dans le temps, sauf à la dernière année où il a augmenté sur les microsites non perturbés.

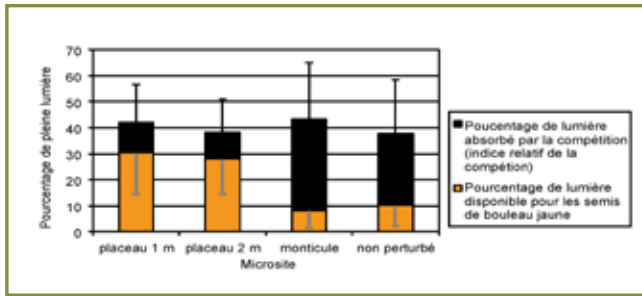


Figure 3. Disponibilité de la lumière après 3 ans pour les différents types de microsites. Les barres représentent l'écart-type. N=60 pour chaque type de microsite.

Disponibilité de la lumière et des éléments nutritifs après 3 ans

Le couvert résiduel laissait filtrer environ 40 % de la pleine lumière (Figure 3). Sur les plateaux, le faible couvert arbustif avait un effet mineur sur la quantité de lumière qui atteignait le semis. Par contre, sur les monticules et les zones non perturbées, il ne laissait passer qu'environ 10 % de la lumière totale (GASTALDELLO *et al.* 2007a). La disponibilité de plusieurs éléments nutritifs était nettement moindre sur les plateaux que dans les autres conditions (GASTALDELLO *et al.* 2007b).

Développement de la régénération entre 4 et 6 ans

L'analyse de la croissance en hauteur de la régénération de bouleau jaune s'est concentrée sur celle de 2006, soit 3 ans après la mise en place du dispositif d'exclos et de dégagement. La figure 4 montre que les meilleures croissances se retrouvent sur les monticules, en l'absence de broutement et de compétition. La compétition y étant très forte, la croissance y est très faible en l'absence de dégagement. La croissance sur les monticules dégagés est aussi fortement réduite par le broutement.

Sur les plateaux, la croissance des jeunes bouleaux jaunes varie beaucoup moins en fonction du broutement et de la compétition que ce qui était observé sur les monticules. Le dégagement n'y a eu aucun effet. En présence de broutement et de compétition, les meilleures croissances ont été observées sur les plateaux. Le taux de mortalité était nettement plus élevé dans les microsites exposés au broutement (ÉLIE *et al.* 2009).

Discussion

L'étude a démontré que les semenciers résiduels étaient capables de soutenir l'installation d'une régénération naturelle abondante sur les microsites perturbés. Les parcelles les plus perturbées sont celles où l'installation du bouleau jaune a été la meilleure. Peu de régénération des autres espèces commerciales a pu s'installer, faute de semenciers.

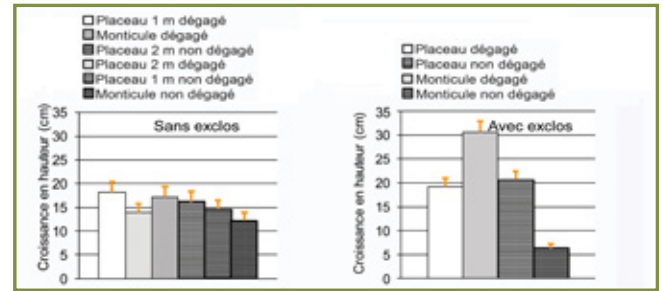


Figure 4. Croissance en hauteur de la régénération du bouleau jaune, la troisième année après la mise en place du dispositif exclos-broutement-dégagement en fonction du microsite, de la présence d'exclos et du dégagement.

Trois ans après la mise en place du dispositif, les plateaux bénéficient de conditions lumineuses qui devraient permettre un bon développement du bouleau jaune (LOGAN 1965). L'absence d'effet du dégagement tend à confirmer que le scarifiage a permis un contrôle adéquat de la végétation concurrente. Ceci est dû au fait que, lors des traitements de scarifiage, l'enlèvement de la couche de matière organique a éliminé les systèmes racinaires ainsi que toute la banque enfouie de graines des espèces concurrentes. Par contre, la disponibilité en éléments nutritifs constitue un frein à la croissance, comme en témoigne l'écart entre les plateaux et les monticules en l'absence de compétition et de broutement.

Une régénération de bouleau jaune a pu s'installer sur les monticules; toutefois, en l'absence de dégagement, elle ne reçoit pas suffisamment de lumière. En effet, la lumière disponible après 3 ans est faible et l'effet du dégagement, très marqué. En fait, les systèmes racinaires et les semences enfouies retirées des plateaux se sont retrouvés dans les monticules, de sorte qu'il s'y est développé une végétation concurrente très dense. L'effet du broutement est très marqué sur les monticules dégagés où les semis deviennent très visibles. Les monticules disposent de meilleures conditions nutritionnelles, ce qui rejoint les conclusions de plusieurs auteurs (HOYLE 1965, TUBBS 1969).

Le broutement a non seulement contribué à réduire la croissance des semis de bouleau jaune, mais il est aussi à l'origine d'une mortalité accrue. Dans le dispositif sans broutement, la mortalité supérieure dans les plateaux peut être attribuable soit à une trop forte densité, soit à la faible fertilité du microsite. Peu importe la cause de cette mortalité, la densité des semis sur les plateaux demeure très élevée après 6 ans. Dans cette étude, le broutement a été occasionné par le lièvre, qui bénéficiait d'un habitat idéal, avec de la nourriture dans les bandes régénérées et un abri entre celles-ci.

Conclusion

Les résultats présentés démontrent qu'il est possible d'installer une régénération naturelle et complémentaire de bouleau jaune dans certains peuplements dégradés à partir des arbres résiduels, mais que des efforts considérables devront être consentis si on veut en assurer le développement. De plus, la rareté des semenciers résineux ne permettra pas la reconstitution d'un peuplement mixte. D'autres avenues mériteraient ainsi d'être explorées mais, compte-tenu des défis à surmonter, toute remise en production risque de s'avérer coûteuse. Il importera de situer la problématique des peuplements dégradés dans celle de l'unité d'aménagement. Il pourrait s'avérer plus profitable et moins coûteux de traiter prioritairement les peuplements dégradés où une régénération est déjà présente.

Références

- ÉLIE, J.-G., J.-C. RUEL et J.-M. LUSSIER, 2009. *Effect of browsing, seedbed and competition on the development of yellow birch seedlings in high-graded stands*. NJAF 26 : 99-105.
- GASTALDELLO, P., J.-C. RUEL et J.-M. LUSSIER, 2007a. *Remise en production des bétulaies jaunes résineuses dégradées : étude du succès d'installation de la régénération*. For. Chron. 83 : 742-753.
- GASTALDELLO, P., J.-C. RUEL et D. PARÉ, 2007b. *Micro-variations in yellow birch (Betula alleghaniensis) growth conditions after patch scarification*. For. Ecol. Manage. 238 : 244-248.
- HOYLE, M.C., 1965. *Growth of yellow birch in a podzol soil*. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experimental Station, Upper Darby, PA, Research Paper NE-38. 14 p.
- KENEFIC, L.S. et R.D. NYLAND, 2005. *Diameter-limit cutting and silviculture in northeastern forests: a primer for landowners, practitioners, and policymakers*. Newton Square, USDA Forest Service, Northeastern area state and private forestry. Rapport NA-TP-02-05. 18 p.
- LOGAN, K.T., 1965. *Growth of tree seedlings as affected by light intensity. I. White birch, yellow birch, sugar maple and silver maple*. Environment Canada, Dept. of forestry. Publ. No. 1121. 16 p.
- ROY, V. et M. PRÉVOST, 2001. *Caractérisation des bétulaies jaunes résineuses dégradées de la sapinière à bouleau jaune*. Rapport de projet de Volet 1, Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier. Ministère des Ressources naturelles du Québec, Direction de la recherche forestière. 24 p.
- TUBBS, C.H., 1969. *Natural regeneration of yellow birch in the Lakes States*. Dans : E.H. Larson (Editor). Proc. Birch Symposium, 19-21 August 1969, Durham, NH. USDA Forest Service, Northeastern Forest Experimental Station, Upper Darby, PA. p. 74-78.

La conversion structurale de jeunes peuplements réguliers : la convergence des intérêts écologiques et économiques

Laurent Gagné, biol., M. Sc.^{1,3}, Luc Sirois, biol., Ph. D.¹, Luc Lavoie, biol., Ph. D.²



Laurent Gagné est biologiste, détenteur d'une maîtrise en sciences forestières de l'Université de Moncton depuis 2003. Son sujet de recherche consistait à mesurer les effets de l'éclaircie commerciale sur la croissance et les propriétés mécaniques du bois. Il poursuit actuellement un doctorat en sciences de l'environnement à l'Université du Québec à Rimouski et à l'Université du Québec à Montréal depuis 2008. Le sujet de son projet de recherche consiste à développer des outils sylvicoles adaptés aux processus de

conversion de structure dans les jeunes forêts résineuses et mixtes. Il s'intéresse également à la qualité des bois et aux aspects écologiques et économiques d'une sylviculture écosystémique. Il travaille actuellement comme consultant en foresterie.

¹ Université du Québec à Rimouski
Département de biologie, chimie et géographie
300, allée des Ursulines
Rimouski (Québec) G5L 3A1
Téléphone : 418 723-1986

² CRÉ Bas-Saint-Laurent
186, rue Lavoie
Rimouski (Québec) G5L 5Z1
Téléphone : 418 724-6440
Télécopieur : 418 724-6054

³ laurent.gagne@uqar.qc.ca

Problématique

Plusieurs études ont démontré qu'à l'époque préindustrielle, les forêts de l'est du Québec comportaient une proportion importante d'essences longévives comme le thuya, l'épinette blanche et le pin blanc. Ces forêts étaient régies par un régime de perturbations naturelles créant généralement de petites trouées (DE RÖMER *et al.* 2007), ce qui leur permettait de développer, la plupart du temps, une structure inéquienne ou irrégulière et de former, à l'échelle du paysage, une forte proportion de forêts centenaires.

Aujourd'hui, on retrouve beaucoup moins de ces forêts centenaires qu'au XIX^e siècle, conséquences des coupes répétées (BOUCHER *et al.* 2006). Les modifications apportées par les coupes forestières ont donné lieu à des changements à plusieurs égards, notamment dans la structure interne, la structure d'âges, l'organisation spatiale et la composition des forêts. Ces modifications auraient eu pour conséquence d'augmenter l'écart qui existe entre les forêts actuelles et celles de l'époque préindustrielle. Les vieilles forêts auraient été les plus ciblées par l'industrie forestière, en raison de leur potentiel pour fournir du bois de haute qualité, sur une base régulière et pendant des décennies. Ceci serait à l'origine des baisses dans l'abondance du thuya, de l'épinette blanche et, dans une moindre mesure, du pin blanc. La raréfaction de telles forêts et des espèces qui leur sont associées entraîne donc une diminution de la valeur écologique et économique du capital forestier à l'échelle régionale.

La baisse de la proportion des vieilles forêts, de 80 % dans les années 1930 à moins de 20 % en 2005, a eu pour effet de rajeunir considérablement le paysage forestier du Bas-Saint-Laurent (BOUCHER *et al.* 2006, 2009; DUPUIS *et al.* 2011). Pour cette même région, en 2005, 70 % des forêts avaient 50 ans et moins, comparativement à 50 % pour la Gaspésie (PINNA *et al.* 2009, VARADY-SZABO et CÔTÉ 2009). En raison des coupes répétées, les vieilles forêts ont été remplacées graduellement par des plantations d'épinettes et des sapinières. Seulement au Bas-Saint-Laurent, les plantations et les sapinières

GAGNÉ, L., L. SIROIS et L. LAVOIE, 2012. *La conversion structurale de jeunes peuplements réguliers : la convergence des intérêts écologiques et économiques*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? Colloque de transfert de connaissances*, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada. p. 45-48.

couvrent une superficie de plusieurs dizaines de milliers d'hectares. En Gaspésie, la situation est très similaire (PINNA *et al.* 2009, VARADY-SZABO et CÔTÉ 2009).

Bien que ces forêts soient globalement très productives, les plantations et les sapinières présentent des caractéristiques écologiques et sylvicoles très différentes de ce qui prévalait dans les forêts naturelles. Au Bas-Saint-Laurent, au moins le tiers des forêts actuelles ont la particularité d'être peu diversifiées et d'être constituées majoritairement d'essences peu longévives, telles que le sapin et le peuplier faux-tremble. Ces essences présentent un intérêt pour la biodiversité, mais ne permettront pas de reconstituer, à elles seules, des forêts irrégulières. Un aménagement basé uniquement sur ce type d'essences pourrait influencer négativement le potentiel écologique et économique de toute une région, par rapport aux retombées que pouvaient engendrer les forêts plus diversifiées du XIX^e siècle. Il faut donc viser à mettre au point des outils sylvicoles qui prennent en considération à la fois les intérêts écologiques et économiques.

Si notre intention est de réduire les écarts entre la forêt préindustrielle et actuelle, les jeunes forêts résineuses du Bas-Saint-Laurent offrent une occasion sans précédent pour adapter des outils sylvicoles qui respectent les principes de l'aménagement écosystémique. La plupart des jeunes forêts atteindront le stade de l'éclaircie commerciale d'ici quelques années, ce qui représente un potentiel d'éclaircie entre 7 000 et 10 000 ha/an, sur un horizon de plusieurs années, seulement pour le Bas-Saint-Laurent.

Dans un contexte d'aménagement équienne, l'éclaircie commerciale par le bas (ou sélective) serait la plus fréquemment utilisée, mais dans un contexte écosystémique, cette forme d'éclaircie présente deux inconvénients majeurs : elle récolte principalement des billes de petits diamètres, et la répartition spatiale des tiges est uniforme dans l'ensemble du peuplement traité. La récolte de petits diamètres aurait des conséquences sur le plan économique et par conséquent, nuirait à la rentabilité des opérations forestières. Par ailleurs, l'uniformité du traitement dans le peuplement aurait tendance à simplifier la structure interne du peuplement, ce qui va à l'encontre du principe de l'aménagement écosystémique. Dans cette perspective, il est proposé de moduler l'application de l'éclaircie commerciale en sélectionnant les arbres à récolter pour faire évoluer plus rapidement les jeunes peuplements vers des forêts à structure plus complexe, par un processus de conversion structurale (O'HARA 2001, SCHÜTZ 2001). Parmi les approches possibles, l'éclaircie par le dégagement d'arbres-élites, appliquée seule ou en combinaison avec de petites trouées, serait intéressante pour accélérer le développement d'attributs de vieilles forêts dans les jeunes peuplements.

Par exemple, les trouées permettent de recréer une hétérogénéité à l'intérieur du peuplement dès la première intervention, et de récolter un volume intéressant pour l'industrie (Figure 1). Contrairement à l'éclaircie par le bas, l'éclaircie par le dégagement d'arbres-élites consiste à cibler *a priori* un nombre prédéterminé d'arbres dominants ou codominants et de les dégager de leurs compétiteurs. Ce type d'éclaircie permettrait de récolter des tiges plus grosses par rapport à l'éclaircie par le bas, sans détériorer le peuplement résiduel (Figure 2). Elle permettrait aussi de créer une hétérogénéité dans le peuplement. La création de trouées et l'application du dégagement par arbres-élites conjuguent l'essentiel des conditions de réussite de la conversion structurale (SCHÜTZ 1997, FRANKLIN *et al.* 2007). Celles-ci sont intimement liées à l'âge des peuplements, à l'implantation de la régénération d'essences longévives en quantité et qualité suffisantes, à l'ouverture hétérogène du couvert et à la fréquence des interventions en début de processus (SCHÜTZ 2001). La gestion de la lumière en sous-bois par une éclaircie à prélèvements irréguliers dans le temps et dans l'espace est déterminante pour reconstituer, à moyen et long terme, la complexité structurale des vieilles forêts (SCHÜTZ 1997, 2001).

En 2008, nous avons expérimenté ce traitement sylvicole en implantant quatre dispositifs expérimentaux de 12 et 15 ha chacun dans le Bas-Saint-Laurent, pour amorcer le processus de conversion à partir de jeunes forêts équiennes, d'origine naturelle, composées principalement de sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) ou de plantations d'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss). Notre hypothèse de départ est que l'éclaircie commerciale par le dégagement d'arbres-élites offre davantage de produits à haute valeur que l'éclaircie par le bas. Pour tester cette hypothèse, différents types d'éclaircie commerciale ont été comparés sur le plan du volume récolté, du volume résiduel sur pied, du diamètre moyen quadratique après traitement et de la qualité du panier de produits. Une éclaircie commerciale par le bas avec un prélèvement de 35 % de la surface terrière, incluant les sentiers de débardage, et une éclaircie commerciale avec dégagement de 50 (50 aé/ha) ou 100 (100 aé/ha) arbres-élites à l'hectare ont fait l'objet de la présente étude (Figure 3).

Bénéfices attendus et résultats

Les bénéfices attendus sont nombreux. À court terme, cette expérience devrait permettre de développer de nouveaux outils sylvicoles dans un contexte d'aménagement écosystémique. L'application de ces nouveaux outils par les sylviculteurs et praticiens du milieu forestier permettra de mettre graduellement en place l'aménagement écosystémique prévu dans le nouveau régime forestier au Québec. À moyen et long terme, l'expérience a pour objectif de redonner aux



Figure 1. Exemple d'une petite trouée (0,01 ha).



Figure 2. Exemple de billes récoltées lors du dégagement d'un arbre-élite.

jeunes forêts actuelles leurs fonctions écologiques par la diversification des essences.

À ce jour, les résultats montrent que le diamètre moyen quadratique augmente après tous les types d'éclaircie, mais davantage suite à l'éclaircie de 100 arbres-élites à l'hectare. De plus, les éclaircies par dégagement d'arbres-élites fournissent des produits de sciage de meilleure qualité et en plus grande quantité que l'éclaircie commerciale par le bas. D'autres résultats sont à venir, relativement au taux de survie des plants reboisés et à la quantité de régénération naturelle qui s'installe après l'application des différentes formes d'éclaircie. La plantation dans les trouées et sous le couvert, effectuée lors de la mise en place des dispositifs, devrait compenser l'absence de semis d'épinette blanche, de thuya ou de pin blanc là où ces essences poussent naturellement.

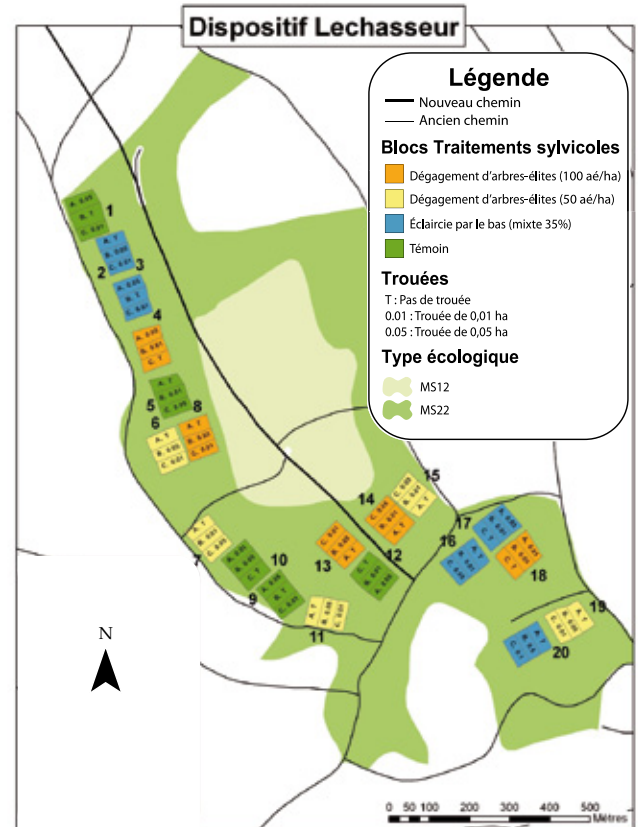


Figure 3. Exemple du dispositif Lechasseur établi dans une plantation d'épinette blanche de 26 ans et situé au sud de la Pourvoirie Lechasseur, dans le Bas-Saint-Laurent, sur type écologique MS22 (67° 52' 52" O. /48° 01' 10" N.).

rience montrent qu'il est possible de développer de nouveaux outils sylvicoles adaptés à l'aménagement écosystémique et qu'ils puissent répondre à la fois aux intérêts écologiques et économiques. D'autres expériences sont nécessaires pour évaluer la rentabilité des opérations forestières à partir de l'éclaircie par dégagement d'arbres-élites.

Références citées

- BOUCHER, Y., D. ARSENAULT et L. SIROIS, 2006. *Logging-induced change (1930-2002) of a preindustrial landscape at the northern range limit of northern hardwoods, eastern Canada*. *Can. J. For. Res.* 36 : 505-517.
- BOUCHER, Y., D. ARSENAULT et L. SIROIS, 2009. *Logging history (1820-2000) of a heavily exploited southern boreal forest landscape : Insights from sunken logs and forestry maps*. *For. Ecol. Manage.* 258 : 1359-1368.
- DE RÖMER, A.H., D.D. KNEESHAW et Y. BERGERON, 2007. *Small gap dynamics in the southern boreal forest of eastern Canada: Do canopy gaps influence stand development?* *Journal of Vegetation Science* 18 : 815-826.

- DUPUIS, S., D. ARSENAULT et L. SIROIS, 2011. *Change from pre-settlement to present-day forest composition reconstructed from early land survey records in eastern Québec, Canada*. *Journal of Vegetation Science* 22(2011) : 564–575.
- FRANKLIN, J.F., R.J. MITCHELL et B.J. PALIK, 2007. *Natural disturbance and stand development principles for ecological forestry*. U.S.D.A., Forest Service, Northern Research Station, Newtown Square, PA. Gen. Tech. Rep. NRS-19. 44 p.
- O'HARA, K.L., 2001. *The silviculture of transformation – a commentary*. *For. Ecol. Manage.* 151 : 81-86.
- PINNA, S., A. MALENFANT, B. HÉBERT et M. CÔTÉ, 2009. *Portrait forestier historique de la Gaspésie*. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé. 204 p.
- SCHÜTZ, J-P., 1997. *Sylviculture 2. La gestion des forêts irrégulières et mélangées*. Presses polytechniques et universitaires romandes. 176 p.
- SCHÜTZ, J-P., 2001. *Opportunities and strategies of transforming regular forests to irregular forests*. *For. Ecol. Manage.* 151 : 87-94.
- VARADY-SZABO, H. et M. CÔTÉ, 2009. *Mesure des écarts de composition forestière entre la forêt préindustrielle (de 1836 à 1940) et la forêt aménagée (de 1995 et 2003) en Gaspésie*. Consortium en foresterie Gaspésie-Les-Îles, Gaspé. 55 p.

La sylviculture des essences forestières en raréfaction

Daniel Dumais, ing.f., M. Sc.^{1,2}, Marcel Prévost, ing.f., Ph. D.¹, Patricia Raymond, ing.f., Ph. D.¹ et Catherine Larouche, ing.f., Ph. D.¹



Daniel Dumais est ingénieur forestier, diplômé de l'Université Laval depuis 1998. En 2000, le même établissement lui décernait un diplôme de maîtrise ès sciences (M. Sc.). De 2000 à 2001, il a été professionnel de recherche au laboratoire d'écophysiologie du Centre de recherche en biologie forestière (CRBF) de l'Université Laval. Depuis 2001, il est chercheur en sylviculture des forêts naturelles à la Direction de la recherche forestière (DRF) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

(MRNF). Il a d'abord travaillé sur des projets de scarifiage et de drainage dans la pessière noire et il s'intéresse maintenant à l'écophysiologie des arbres, notamment aux processus d'acclimatation et de croissance de la régénération naturelle et artificielle en réaction aux coupes partielles. Son champ d'activités couvre également les aspects du rendement et de la productivité. Ses travaux contribuent à la mise au point de traitements sylvicoles permettant, entre autres, de conserver l'épinette rouge. Parmi ses publications, on compte des articles scientifiques sur les effets du gel racinaire, du scarifiage, du drainage et de la coupe partielle sur l'écophysiologie et la croissance de la régénération et sur l'accroissement et la mortalité du peuplement résiduel.

¹ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-7994
Télécopieur : 418 643-2165

² daniel.dumais@mrnf.gouv.qc.ca

Introduction

Au Québec, la raréfaction de certaines essences d'arbres en forêt mixte tempérée (sapinière à bouleau jaune) constitue un enjeu majeur de biodiversité en ce qui a trait à la composition forestière (GRONDIN et CIMON 2003). L'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.), l'épinette blanche (*Picea glauca* [Moench] Voss), le thuya occidental (*Thuja occidentalis* L.; ci-après nommé « thuya ») et le pin blanc (*Pinus strobus* [L.]) comptent parmi ces espèces en constante régression dans les peuplements de seconde venue (Figure 1). Mais pourquoi en est-il ainsi? Il faut d'abord comprendre que la plupart de ces essences en déclin occupent en général une proportion réduite de la surface terrière (ST) du peuplement. Ainsi, même si leur longévité est appréciable et que leur valeur forestière est grande, bon nombre d'interventions forestières du passé n'étaient pas axées sur le maintien et le renouvellement de ces espèces « compagnes ». Indirectement, leur raréfaction découle aussi de caractéristiques écologiques et physiologiques particulières qui en compliquent la régénération, notamment après une ouverture du couvert forestier. Or, les autorités responsables et ceux qui les conseillent s'entendent pour dire qu'en matière d'aménagement forestier durable, le maintien de ces essences est une priorité (MRN 2002, BFEC 2011). Cette tâche colossale fera certes partie des défis sylvicoles qu'auront à relever les intervenants du milieu forestier dans les prochaines années.

Dans les pages qui suivent, nous tenterons ensemble de comprendre plus en détail les causes sous-jacentes à la raréfaction de ces essences forestières. Par la suite, nous verrons dans quelle mesure certaines pistes de solutions peuvent être dégagées des résultats des recherches scientifiques de la dernière décennie. Enfin, nous présenterons brièvement les travaux que la Direction de la recherche forestière (DRF) du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF) entend réaliser en vue d'émettre, dans un avenir proche, des recommandations sylvicoles pour contrer cet inquiétant phénomène de raréfaction. Tout au long du texte, des exemples concrets seront présentés, principalement ceux de l'épinette rouge, de l'épinette blanche et du thuya.

DUMAIS, D., M. PRÉVOST, P. RAYMOND ET C. LAROUCHE, 2012. *La sylviculture des essences forestières en raréfaction*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.). *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie?* Colloque de transfert de connaissances, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada. p. 49-58.



Figure 1. L'épinette rouge (a), l'épinette blanche (b), le thuya occidental (c) et le pin blanc (d) sont des essences forestières dont la longévité et la valeur sont indéniables. L'épinette rouge, par exemple, peut atteindre 26 m de hauteur, 60 cm de diamètre et vivre jusqu'à 400 ans! Malheureusement, la raréfaction de ces espèces dans les peuplements de seconde venue de la forêt mixte tempérée (sapinière à bouleau jaune) est de plus en plus préoccupante. Crédits photos : D. Dumais (a, b, d) et C. Larouche (c).

Origine et étendue du phénomène de raréfaction

La dynamique des peuplements aménagés est souvent différente de celle des peuplements naturels (GRONDIN et CIMON 2003). Ainsi, les interventions forestières du passé semblent avoir joué un rôle dans la raréfaction de certaines essences d'arbres que nous observons aujourd'hui. Par exemple, après plus d'un siècle de coupes totales et de coupes à diamètre limite mal adaptées à l'épinette rouge, le taux d'occupation de celle-ci ne serait plus qu'à 20 % de ce qu'il était dans la forêt primitive (GORDON 1996). Au Québec, la reconstitution historique de BARRETTE et BÉLANGER (2007) confirme que l'épinette rouge occupait une place importante dans le paysage préindustriel de la forêt mixte tempérée. La raréfaction de l'épinette rouge et de l'épinette blanche s'est faite au profit du sapin baumier (*Abies balsamea* [L.] Mill.) et des feuillus intolérants à l'ombre (FORTIN 2003). Toutefois, l'importance du phénomène varierait d'une région à l'autre. En effet, la régression de l'épinette rouge semble plus marquée sur la

rive nord du fleuve Saint-Laurent (p. ex. dans la région de Portneuf) que dans les Appalaches, où la régénération préétablie est plus abondante.

La raréfaction du thuya est préoccupante dans plusieurs régions du Québec (LAROCHE 2006). Par exemple, au Bas-Saint-Laurent, BOUCHER *et al.* (2006) ont mis en évidence une perte d'abondance de l'espèce au profit des feuillus entre 1930 et 2002, résultat d'une exploitation forestière intensive et répétée (LAROCHE 2011). D'ailleurs, comme essence compagne, le thuya a souvent été négligé lors de travaux sylvicoles, où il n'était toléré que lorsque les épinettes et le sapin étaient absents (MRN 2002). Ainsi, son taux d'occupation a largement diminué au fil du temps dans les peuplements de seconde venue. Sa raréfaction pourrait aussi avoir été exacerbée par le broutement accru des cervidés (CORNETT *et al.* 2000, HOFMEYER *et al.* 2009). En plus de s'étendre vers le nord, les populations de cerf de Virginie (*Odocoileus virginianus* Zimmerman) ont augmenté au cours des dernières décennies (COLLARD *et al.* 2010).

L'importance des caractéristiques écologiques et physiologiques

Depuis l'adoption, en mars 2010, de la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (L.R.Q., chap. A-18.1), l'aménagement écosystémique figure parmi les approches à privilégier pour aménager les forêts du Québec. Dans cette perspective, il importe de bien comprendre et considérer les mécanismes écophysio-physiologiques des essences d'arbres avec lesquelles nous devons composer. Par exemple, les études menées sur la côte est des États-Unis ont mis en évidence les caractéristiques écophysio-physiologiques particulières qui expliquent la vulnérabilité de l'épinette rouge à différentes perturbations (DUMAIS et PRÉVOST 2007, DUMAIS *et al.* 2007). De même, plusieurs études écophysio-physiologiques, notamment celles réalisées dans les Prairies canadiennes et en Ontario, nous ont renseignés sur l'épinette blanche et sa réaction face à l'ouverture du couvert forestier. Jusqu'à présent, l'écophysio-physiologie du thuya a été très peu étudiée, mais d'après son comportement, il semble que l'espèce ait aussi des besoins spécifiques. De façon générale, la physiologie et le succès de régénération des essences en déclin sont influencés par la lumière, la température, l'humidité de l'air et du sol ainsi que d'autres facteurs écologiques à ne pas négliger.

La lumière

La plupart des essences forestières en raréfaction sont des espèces longévives bien adaptées à se régénérer sous un couvert forestier partiel. Leur tolérance à l'ombre varie d'intermédiaire (p. ex. le pin blanc) à très élevée (p. ex. l'épinette rouge). Pour germer et s'établir,

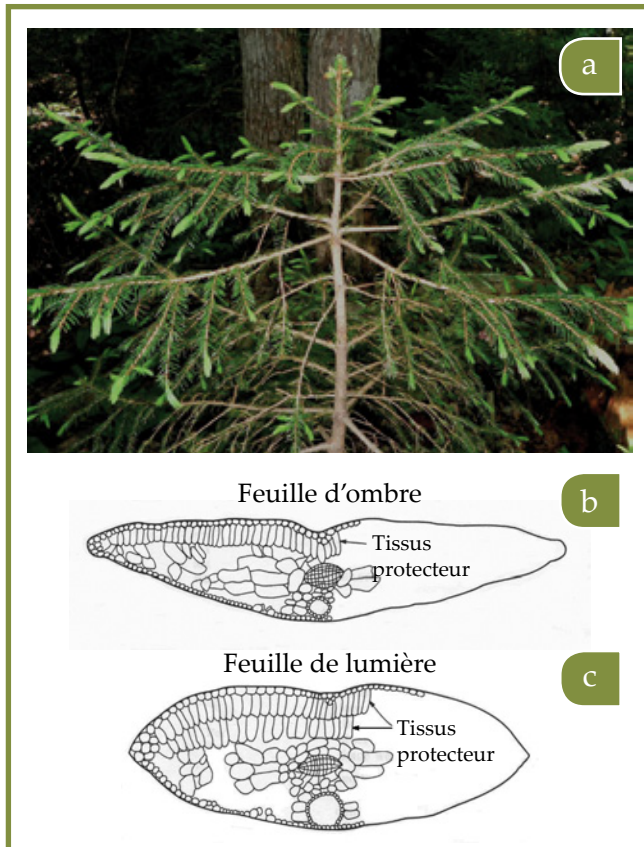


Figure 2. Épinette rouge préétablie et acclimatée à survivre en sous-bois (a). Sous un tel ombrage, la croissance latérale est privilégiée au détriment de la croissance en hauteur, permettant ainsi à l'arbre de capter un maximum de lumière. Pour accroître son efficacité, le feuillage qui se développe dans ces conditions a une surface foliaire spécifique (SFS = surface par unité de poids) élevée, soit de larges aiguilles dont l'épaisseur est faible (b). À l'opposé, les aiguilles de pleine lumière n'ont pas besoin d'être aussi larges, mais doivent par contre se doter de tissus de protection supplémentaires, notamment pour se prémunir contre la chaleur excessive, ce qui accroît leur épaisseur et abaisse du même coup leur SFS (c). Photo : D. Dumais.

les graines et les plantules d'épinette rouge ne requièrent qu'un minimum de 10 % de pleine lumière (PIELKE 1981). Les semis d'épinette blanche et de thuya ont besoin d'un peu plus de lumière (20-30 %) pour s'établir. L'ombre partielle augmente leur taux de germination et leur survie (SHOPMEYER 1974, ARNUP *et al.* 1988). Les semis d'épinette rouge, d'épinette blanche et de thuya s'installent donc aisément en sous-bois ou dans de petites trouées, là où les conditions de stress sont minimales. Cette régénération préétablie peut généralement se maintenir sous couvert durant des décennies, sans perdre sa capacité à reprendre une croissance vigoureuse à la suite d'une éclaircie (SEYMOUR 1995, WU *et al.* 1999, LAROUCHE 2011). Les marcottes de thuya ont aussi cette capacité (HEITZMAN *et al.* 1999).

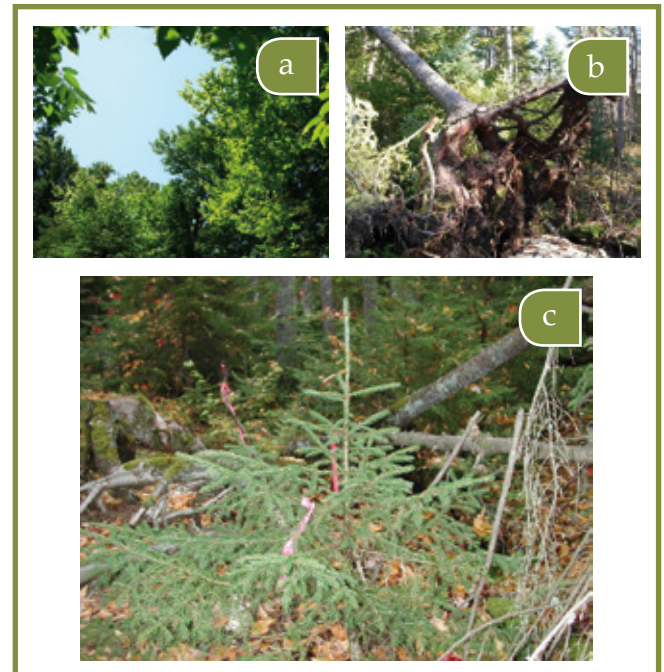


Figure 3. Les petites ouvertures du couvert forestier (a), créées de façon périodique par les chablis (b) et les épidémies d'insectes, augmentent graduellement la quantité de lumière en sous-bois. Cette dynamique de trouées favorise l'acclimatation et la reprise de croissance de la régénération préétablie d'épinette rouge (c), d'épinette blanche et de thuya. Crédits photos : D. Dumais.

Pour survivre à l'ombre si longtemps, ces espèces ont dû se doter de mécanismes physiologiques et morphologiques essentiels permettant, par exemple, d'augmenter leur surface foliaire spécifique (MAN et LIEFFERS 1997). Cette stratégie accroît leur capacité de photosynthèse (JORDAN et SMITH 1993). De même, en favorisant la croissance latérale plutôt qu'en hauteur (MESSIER *et al.* 1999, DUMAIS et PRÉVOST 2008a), ces espèces peuvent capter davantage de lumière tout en réduisant la quantité de ressources dédiées à l'entretien des structures non photosynthétiques (WARING 1991) (Figure 2). Ces ajustements permettent à ces espèces de survivre sous une faible luminosité, en attendant une ouverture partielle du couvert forestier. Cette ouverture se produira à la faveur d'un chablis ou d'une épidémie d'insectes (p. ex. la tordeuse des bourgeons de l'épinette), deux perturbations qui conditionnent la dynamique naturelle de régénération de ces essences forestières (RUEL et PINEAU 2002, FRAVER et WHITE 2005, KNEESHAW et PRÉVOST 2007, HOFMEYER *et al.* 2009) (Figure 3). Or, toutes ces adaptations morpho-physiologiques, très utiles en condition ombragée, leur permettent difficilement de supporter, à court terme, des variations brusques de la quantité de lumière (MOHAMMED et PARKER 1999). Par exemple, la photosynthèse des épinettes rouges préétablies est optimale sous une lumière faible à modérée, mais souvent inhibée en lumière forte (ALEXANDER *et al.* 1995). Par conséquent, l'acclimata-

tion et la progression de la régénération préétablie vers les étages supérieurs du couvert forestier sont tributaires d'une hausse graduelle du niveau de lumière, associée à l'ouverture partielle et progressive du couvert. Par la suite, la croissance optimale de l'épinette rouge requiert 50 % de pleine lumière (SEYMOUR 1995), alors que celle de l'épinette blanche et du thuya peut être atteinte à une luminosité supérieure (BRAND et JANAS 1988, CORNETT *et al.* 2000).

La température

Le bon fonctionnement physiologique de plusieurs espèces en raréfaction dépend des températures de l'air et du sol, de même que de leur taux d'humidité. Pour l'épinette rouge, bien qu'une température de sol variant de 20 à 30 °C puisse être bénéfique à la germination, des dommages irréversibles aux graines et au feuillage et une chute importante de la photosynthèse peuvent survenir à plus de 33 °C (BALDWIN 1934, VANN *et al.* 1994, DAY 2000). De même, l'excès de chaleur au sol (~ 50 °C) est préjudiciable au cortex de la tige des jeunes semis d'épinette blanche (DOBBS 1972). Une telle température est fréquente et parfois plus élevée sur un parterre de coupe exposé (GRAY et SPIES 1997). Au stade juvénile, l'épinette rouge et l'épinette blanche apprécient donc les températures fraîches que l'on retrouve en sous-bois. Par contre, elles sont particulièrement susceptibles d'être endommagées par les températures gélives. À cet égard, les études nord-américaines ont montré que la régénération d'épinette rouge est lente à s'endurcir au froid (PERKINS *et al.* 1993), et que sa dormance est peu profonde (MAJOR *et al.* 2003), ce qui se traduit par une faible tolérance aux très basses températures, laquelle peut être davantage réduite par l'action de certains polluants atmosphériques et une hausse des températures durant l'hiver (DEHAYES *et al.* 2001). Ainsi, en saison froide, l'exposition directe aux rayons du soleil (LAZARUS *et al.* 2006), les épisodes de redoux suivis de refroidissements soudains (STRIMBECK et DEHAYES 2000), et l'alternance du gel et du dégel (LUND et LIVINGSTON 1998) causent des dommages foliaires à l'épinette rouge. À ce chapitre, la présence d'un couvert forestier partiel protège la régénération préétablie en limitant ces variations (LAZARUS *et al.* 2004). L'épinette blanche, qui débouffe tôt au printemps, est davantage vulnérable au gel tardif. Des dommages aux nouvelles pousses des semis sont fréquents dans les endroits exposés, d'où l'effet bénéfique d'une couverture végétale (STIELL 1976). Un taux de mortalité élevé, causé par des gels tardifs au printemps ou hâtifs à l'automne, a aussi été observé chez les semis de thuya ayant moins de 3 ans (LAROUCHE *et al.* 2011).

L'humidité

Un taux élevé d'humidité atmosphérique serait bénéfique à plusieurs espèces en raréfaction, notamment

l'épinette rouge (MOSSELER *et al.* 2003). Pendant la phase d'établissement des épinettes et du thuya, une humidité constante au niveau des racines est également essentielle, car celles-ci sont fibreuses et fragiles et ne peuvent pas pénétrer rapidement la litière pour aller rejoindre le sol minéral (KLEIN *et al.* 1991, SEYMOUR 1995, GREENWOOD *et al.* 2008). C'est pourquoi le stress hydrique, la dessiccation et la mortalité touchent les jeunes semis d'épinette rouge (DUMAIS et PRÉVOST 2008a, 2008b), d'épinette blanche (EIS 1967) et de thuya (HOFMEYER *et al.* 2009) qui se retrouvent soudainement à découvert. Leur succès d'installation à long terme repose donc sur la présence de microsites abrités et de substrats qui gardent leur humidité, comme les vieilles souches et les gros débris ligneux en décomposition (DELONG *et al.* 1997, DUMAIS *et al.* 2007). En somme, la présence d'un couvert forestier partiel est favorable à la conservation de l'humidité de l'air et du sol pour ces espèces. À l'opposé, le retrait total du couvert les expose à des stress et accroît ainsi de beaucoup le risque de mortalité.

Autres facteurs écologiques

La viabilité des graines d'épinette rouge, d'épinette blanche et de thuya dépasse rarement 12 mois (MORGENSTERN et FARRAR 1964, FRANK et BJORKBOM 1973, HEITZMAN *et al.* 1999), limitant le potentiel de reproduction de ces espèces. De plus, les semences d'épinettes sont très prisées par les petits mammifères (PETERS 2000), contrairement à celles du thuya, qui ne subiraient presque pas de prédation (BARTLETT *et al.* 1991). En plus d'être minuscules, les graines d'épinette rouge possèdent peu de réserves, ce qui leur permet à peine de supporter la croissance initiale des plantules (PAGE et CAMERON 2006). En raison de leur croissance initiale lente, les espèces en raréfaction sont généralement peu compétitives au stade juvénile. Par exemple, le sapin baumier, moins exigeant, a généralement une meilleure croissance initiale (MOORES *et al.* 2007) et tend donc à remplacer l'épinette rouge et le thuya dans les peuplements mixtes aménagés (FORTIN 2003, HOFMEYER *et al.* 2009). Les grandes plantes herbacées et les arbustes constituent également de sérieux compétiteurs pour les jeunes semis d'épinettes et de thuya (DIBBLE *et al.* 1999, LAROUCHE *et al.* 2011). L'épinette rouge serait même sensible aux substances allopathiques libérées par certaines fougères (KLEIN *et al.* 1991). Les microsites surélevés (p. ex. : souche, gros débris ligneux, butte, roche recouverte de mousse) seraient favorables à la régénération des essences en raréfaction, car ils accumulent moins de litière feuillue et permettent aussi une installation au-dessus de la végétation concurrente (DELONG *et al.* 1997). Enfin, le broutement par les herbivores, notamment le cerf de Virginie, serait une cause importante du manque de recrutement pour le thuya (CORNETT *et al.* 2000). Dans une forêt mixte du Maine,

LAROCHE *et al.* (2010) ont observé que 90 % des semis et des petites gaules de thuya présentait des signes de broutement. Pour l'épinette blanche, il semble que ce soit davantage le lièvre (*Lepus americanus* Erxleben) qui endommage les jeunes semis en milieu ouvert (DOBBS 1972).

Des pistes de solutions sylvicoles

Pour réaliser l'aménagement écosystémique et maintenir la biodiversité des peuplements, notamment en ce qui a trait à la composition forestière, il faudra diversifier notre sylviculture. Pour amorcer ce virage, il convient de rassembler les connaissances actuelles et voir dans quelle mesure elles peuvent nous guider pour proposer et expérimenter de nouvelles approches sylvicoles. Par exemple, le dépérissement de l'épinette rouge a donné lieu à plusieurs travaux de recherche fondamentale et appliquée sur la côte est des États-Unis, lesquels ont permis de poser les premiers jalons d'une sylviculture axée sur la conservation de cette espèce. Au Québec, malgré la raréfaction évidente de l'épinette rouge, de l'épinette blanche, du thuya et du pin blanc en forêt mixte tempérée, peu d'études scientifiques ont jusqu'à présent été spécialement mises en place pour tenter de trouver des solutions concrètes. Dans le but de proposer une sylviculture adaptée aux particularités de ces essences, deux grandes familles de procédés de régénération prometteurs retiendront ci-après notre attention, soit les coupes de jardinage et les coupes progressives. Cela n'exclut toutefois pas que d'autres procédés puissent être appropriés dans certaines circonstances.

Les coupes de jardinage

L'utilisation des coupes de jardinage dans l'aménagement de l'épinette rouge a d'abord été examinée chez nos voisins du sud. Toutefois, la plupart de leurs recherches concernaient des peuplements de conifères (p. ex. : FRANK et BLUM 1978, SENDAK *et al.* 2003, KENEFIC *et al.* 2005), et peu de travaux ont été conduits dans des peuplements s'apparentant à ceux de notre forêt mixte tempérée. De ces études, il ressort que la coupe de jardinage par pied d'arbre (CJ) peut accroître la régénération de l'épinette rouge. En Nouvelle-Écosse, un tout récent guide d'aménagement de peuplements mixtes préconise d'ailleurs un tel jardinage avec un prélèvement de 30 % de la ST pour favoriser l'épinette rouge (McGRATH 2011). Cependant, d'après la dynamique naturelle de l'espèce, il semble que des ouvertures plus grandes que celles créées par le retrait d'arbres individuels soient nécessaires à sa régénération. Dans les peuplements d'épinette rouge accompagnée de feuillus nordiques, des chercheurs américains suggèrent plutôt d'utiliser une coupe de jardinage par pied d'arbre et groupes d'arbres (CJPG) pour créer des conditions favorables à l'épinette rouge (ROE et RUESINK 2005).

En Mauricie, des coupes partielles datant de 50 ans, dont les prélèvements de 15 à 45 % de la ST se rapprochent de la CJ, ont été étudiées par ARCHAMBAULT *et al.* (2003). Ces derniers ont observé que ces anciennes coupes avaient permis d'augmenter la ST de l'épinette rouge et de limiter la présence des espèces concurrentes. À l'époque, les diamètres limites de coupe étaient de 20 cm pour le sapin et de 40 cm pour l'épinette. Dans les basses Laurentides, l'étude de FORTIN *et al.* (2003) sur d'anciennes coupes à diamètre limite unique (18 cm) a conclu qu'un traitement de CJ pourrait s'avérer adéquat, à condition que l'intervention soit réalisée dans l'optique de protéger les épinettes rouges dont le diamètre à hauteur de poitrine est inférieur à 35 cm. Selon ces auteurs, la raréfaction de l'espèce dans cette région s'expliquerait en grande partie par un prélèvement trop important par le passé. En outre, toutes ces anciennes coupes ont entraîné des densités plus élevées de gaules de sapin par rapport à l'épinette rouge (ARCHAMBAULT *et al.* 2003, FORTIN *et al.* 2003).

Depuis quelques années, l'équipe de recherche en sylviculture des peuplements mixtes de la DRF s'intéresse à la problématique de régénération de l'épinette rouge dans les bétulaies jaunes résineuses (BjR) de belle venue. Dans des BjR de la région de Portneuf (projet SSAM), des coupes par trouées de 20, 30 et 40 m de diamètre, combinées au scarifiage, ont été mises à l'essai en 1999. Malheureusement, après 6 ans, aucune des combinaisons de traitements n'avait permis de régénérer l'épinette rouge, malgré la présence de semenciers sur les sites (PRÉVOST *et al.* 2010). Il faut dire que la végétation concurrente y était particulièrement agressive. Ce résultat décevant laisse sous-entendre que les trouées étaient peut-être trop grandes et que, par conséquent, le maintien de l'épinette rouge est incertain à long terme. Dans de telles circonstances, la plantation sous couvert partiel et dans des petites trouées pourrait s'avérer utile. Dans la région de Bellechasse, une autre étude a été mise en place en 2003. Cette fois, des variantes de la coupe de jardinage ont été testées : CJ, CJPG et coupe de jardinage par trouées (CJT) (30 m de diamètre). Les résultats préliminaires des suivis effectués sur la basse régénération préétablie d'épinette rouge (0,3 à 1,3 m de hauteur), durant les sept premières années après la coupe, indiquent des performances physiologiques et de croissance supérieures dans la CJPG, où le sapin s'est montré moins performant (Figure 4). La survie des nouveaux semis d'épinettes (recrutés dans les trois premières années après la coupe) a été meilleure dans la CJ et la CJPG, alors que leur croissance a été avantagée dans la CJT (Figure 5). Ce résultat vient en quelque sorte appuyer l'hypothèse voulant que l'épinette rouge, une fois acclimatée, nécessite plus de lumière pour bien croître (SEYMOUR 1995).

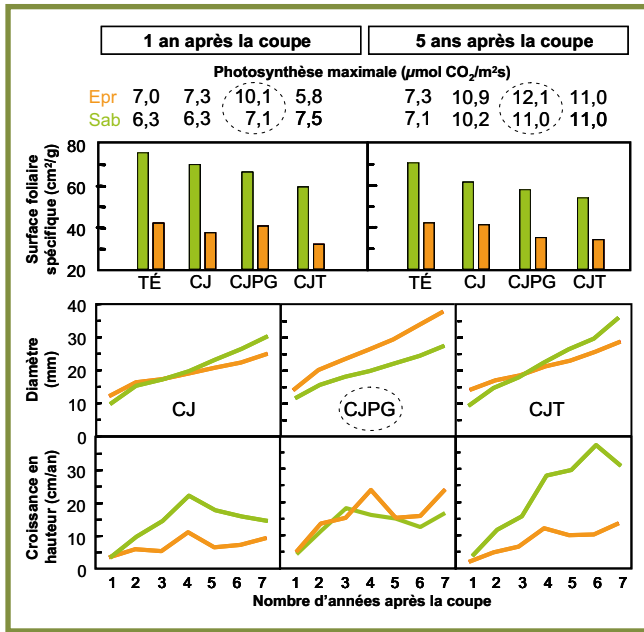


Figure 4. Effets de différents patrons de coupe de jardinage (TÉ : témoin non coupé; CJ : par pied d'arbre; CJPG : par groupes d'arbres; CJT : avec trouées de 30 m de diamètre) sur la physiologie et la croissance de la basse régénération résineuse préétablie (0,3 à 1,3 m de hauteur). Jusqu'à présent, la CJPG a été plus avantageuse pour l'épinette rouge que pour le sapin baumier.

À notre connaissance, très peu d'études se sont penchées sur la sylviculture de l'épinette blanche et du thuya au sein de la forêt mixte tempérée. Pour l'instant, les résultats obtenus avec l'épinette rouge pourraient, dans une certaine mesure, orienter la sylviculture de ces deux espèces. Au Maine, la coupe de jardinage est suggérée par Hofmeyer *et al.* (2009, 2010) pour régénérer le thuya, quoique très peu d'études aient été réalisées. Pour créer des conditions de croissance adéquates pour la régénération du thuya sur les stations mésiques, il serait préférable, selon Larouche (2011), d'appliquer une succession d'interventions de faible intensité, incluant la coupe de jardinage. En l'absence de régénération ou pour réintroduire l'espèce, la plantation sous couvert partiel devrait être envisagée. Récemment, dans des BjR de l'Outaouais, Larouche *et al.* (2011) ont étudié l'efficacité d'une CJ (prélèvement de 25 % de la ST) et d'une coupe par trouées (ouverture de 625 m²) pour la régénération naturelle et artificielle du thuya. Après 3 ans, la meilleure combinaison de conditions pour régénérer le thuya a été la CJ avec ensemencement artificiel sur sol minéral exposé. Toutefois, les semis plantés ont mieux poussé dans les trouées, car la lumière y était plus disponible. Par conséquent, en l'absence de régénération préétablie, les auteurs recommandent la CJ combinée au scarifiage. Une ouverture graduelle du couvert, vraisemblablement à l'aide de trouées, devrait cependant être pratiquée après que la régénération de thuya se soit installée et acclimatée, afin d'en favoriser la croissance.

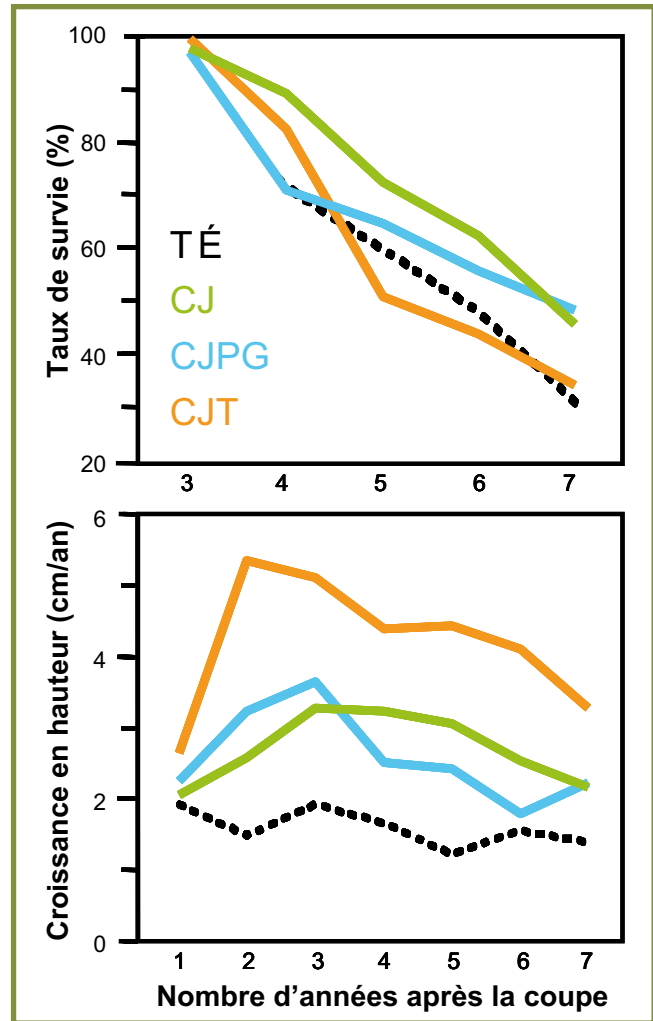


Figure 5. Effets de différents patrons de coupe de jardinage (TÉ : témoin non coupé; CJ : par pied d'arbre; CJPG : par groupes d'arbres; CJT : avec trouées de 30 m de diamètre) sur la survie des nouveaux semis d'épinette rouge recrutés dans les trois premières années après la coupe et sur leur croissance (survivants). Jusqu'à présent, la CJ et la CJPG ont été avantageuses pour la survie des jeunes semis, alors que la CJT a plutôt été bénéfique à leur croissance en hauteur.

Les coupes progressives

Par ses caractéristiques, le procédé de régénération par coupes progressives semble être une avenue fort intéressante pour conserver, voire augmenter, les populations des essences d'arbres en raréfaction. Pour l'instant, la plupart des résultats de recherche à long terme sur les effets des coupes progressives, notamment sur l'épinette rouge, nous proviennent surtout du nord-est des États-Unis, du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse (Hannah 1988). Comme pour le jardinage, la majorité de ces études ont été menées dans des peuplements à forte dominance de résineux. Lorsque la coupe progressive régulière (CPR) est utilisée, Sendak *et al.* (2003) préconisent une coupe finale graduelle afin d'acclimater plus facilement l'épinette rouge et permettre l'installation de plusieurs

cohortes. La coupe progressive irrégulière (CPI), combinée à l'éclaircie précommerciale sous couvert pour limiter, entre autres, l'abondance du sapin, figure aussi parmi les solutions proposées par des chercheurs américains (SEYMOUR 1995, SENDAK *et al.* 2003). Pour restaurer la structure et la naturalité des peuplements d'épinette rouge, SEYMOUR (2005) a récemment proposé un traitement sylvicole hybride combinant les bénéfices de la coupe de jardinage par groupes et ceux de la coupe progressive. Nommé « coupe progressive irrégulière par trouées agrandies », cette variante de la CPI est similaire au *Femelschlag* bavarois. Au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse, où le climat maritime est un atout, des études ont montré que les coupes progressives uniformes et par bandes sont bénéfiques à l'épinette rouge (p. ex. : NSDLF 1991, NSDNR 1994). Au Vermont et au Maine, la coupe progressive avec contrôle des cervidés et du sapin est recommandée pour le thuya (HANNAH 2004; HOFMEYER *et al.* 2009, 2010).

Au Québec, nous avons peu d'expérience en ce qui concerne l'utilisation des coupes progressives en forêt mixte tempérée. Il y a quelques années, l'équipe de recherche en sylviculture des peuplements mixtes de la DRF a expérimenté, dans des BjR de belle venue, diverses intensités de coupes partielles pouvant être considérées comme la première étape d'un scénario de CPI. Dans des BjR d'Armagh et Duchesnay, PRÉVOST (2008) rapporte qu'un prélèvement uniforme de 60 % de la ST, laissant une ST résiduelle de 14 m²/ha et 30 % de pleine lumière en sous-bois, a été bénéfique à l'installation de nouveaux semis d'épinette rouge lorsque le sol était perturbé par les opérations de récolte. De plus, le couvert résiduel a été favorable à l'acclimatation et à la reprise de croissance de la basse régénération préétablie d'épinette (DUMAIS et PRÉVOST 2008a, 2008b). Toutefois, pour les dix premières années après le traitement, nos données confirment que le sapin tend à surpasser l'épinette rouge (Figure 6). Bien qu'il soit connu que les écarts de croissance entre les deux espèces s'atténuent avec le temps, la croissance décennale en diamètre des tiges marchandes résiduelles de sapin a aussi été supérieure à celle des tiges d'épinette rouge (PRÉVOST et DUMAIS, en révision). Selon nous, ces résultats illustrent bien le caractère conservateur des espèces en raréfaction, lesquelles prennent du temps à s'ajuster aux perturbations du couvert forestier.

La recherche se poursuit...

La DRF ne ménage pas ses efforts en vue de proposer prochainement de véritables solutions sylvicoles pour contrer la raréfaction de certaines essences après la coupe. Par exemple, un projet sur la sylviculture du thuya a débuté (LAROCHE *et al.* 2010). Ce projet, inti-

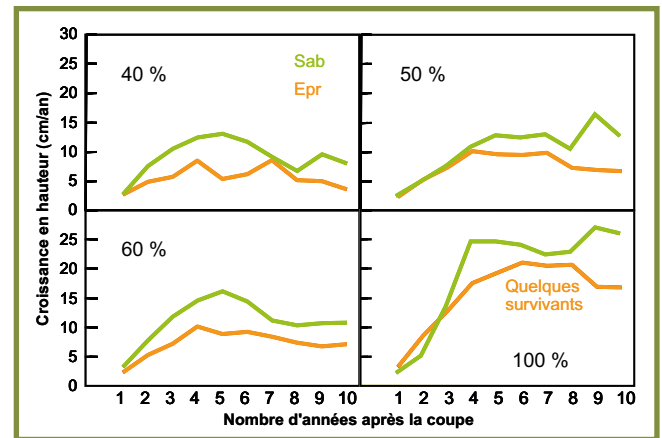


Figure 6. Croissance en hauteur de la basse régénération résineuse préétablie (0,4 à 1,3 m de hauteur) selon l'intensité de la coupe (% de la surface terrière) et le temps écoulé depuis l'application du traitement. Sous les conditions créées par de telles coupes, la plus grande capacité d'acclimatation du sapin baumier lui a permis, du moins à court et moyen terme, de surpasser l'épinette rouge.

tulé « Expérimentation de procédés de régénération pour le maintien et la croissance du thuya occidental », vise spécifiquement à déterminer les conséquences de différents types de coupe sur la régénération (naturelle et artificielle) et les arbres résiduels, et à caractériser l'impact du broutement. En 2011, un nouveau projet intégré (DUMAIS *et al.*) intitulé « Optimisation de traitements sylvicoles adaptés à la forêt mixte du Québec par l'étude des processus écophysologiques d'acclimatation et de croissance de la régénération » a également été ajouté au programme de recherche de la DRF. Ce projet vise une meilleure compréhension des processus écologiques et physiologiques en cause dans la dynamique de régénération, après l'application de différents traitements sylvicoles novateurs. L'épinette rouge, l'épinette blanche et le thuya seront notamment étudiés. Les résultats permettront d'appuyer les décideurs du MRNF, les chercheurs et les praticiens dans l'élaboration de stratégies d'aménagement et de scénarios sylvicoles facilitant l'établissement, l'acclimatation et la croissance d'essences forestières en raréfaction, entre autres.

En conclusion

La sylviculture des essences en raréfaction dans la forêt mixte tempérée est somme toute complexe. En expliquant les différentes caractéristiques écologiques et physiologiques particulières de ces espèces, nous avons, entre autres, voulu démontrer toute l'importance que revêt le maintien d'un couvert forestier partiel, incluant des arbres semenciers de qualité. Selon les plus récentes connaissances, nous devrions désormais privilégier des scénarios sylvicoles par étapes permettant : i) de protéger la régénération préétablie et d'établir de nouveaux semis, ii) d'acclimater

la régénération à l'ouverture partielle du couvert, et finalement iii) de favoriser sa croissance optimale et sa représentativité, par exemple, en augmentant davantage la quantité de lumière et en contrôlant les espèces concurrentes (DUMAIS et PRÉVOST 2008b). Dans les prochaines années, l'étude plus approfondie des processus écologiques et physiologiques d'acclimatation et de croissance de la régénération naturelle ou de semis plantés orientera les intervenants du milieu forestier vers la mise au point d'une sylviculture beaucoup mieux adaptée à ces espèces.

Références citées

- ALEXANDER, J.D., J.R. DONNELLY et J.B. SHANE, 1995. *Photosynthetic and transpirational responses of red spruce understory trees to light and temperature*. *Tree Physiol.* 15 : 393-398.
- ARCHAMBAULT, L., J. BÉGIN, C. DELISLE et M. FORTIN, 2003. *Dynamique forestière après coupe partielle dans la Forêt expérimentale du Lac Édouard, Parc de la Mauricie, Québec*. *For. Chron.* 79 : 672-684.
- ARNUP, R.W., B.A. CAMPBELL, R.P. RAPER, M.F. SQUIRES, K.D. VIRGO, V.H. WEARN et R.G. WHITE, 1988. *A silvicultural guide for the spruce working group in Ontario*. OMNR For. Res. Group, Toronto. 100 p.
- BALDWIN, H.I., 1934. *Germination of red spruce*. *Plant Physiol.* 9 : 491-532.
- BARRETTE, M. et L. BÉLANGER, 2007. *Reconstitution historique du paysage préindustriel de la région écologique des hautes collines du Bas-Saint-Maurice*. *Can. J. For. Res.* 37 : 1147-1160.
- BARTLETT, R.M., R.J. READER et D.W. LARSON, 1991. *Multiple controls of cliff-edge distribution patterns of Thuja occidentalis and Acer saccharum at the stage of seedling recruitment*. *J. Ecol.* 79 : 183-197.
- BRAND, D.G. et P.S. JANAS, 1988. *Growth acclimation of planted white pine and white spruce seedlings in response to environmental conditions*. *Can. J. For. Res.* 18 : 320-329.
- BOUCHER, Y., D. ARSENEAULT et L. SIROIS, 2006. *Logging-induced change (1930-2002) of a preindustrial landscape at the northern range limit of northern hardwoods, eastern Canada*. *Can. J. For. Res.* 36 : 505-517.
- BUREAU DU FORESTIER EN CHEF (BFEC), 2011. *Orientations et planification de la recherche et du développement en matière de foresterie*. Gouvernement du Québec. Avis du forestier en chef. 3 p.
- COLLARD, A., L. LAPOINTE, J.-P. OUELLET, M. CRÊTE, A. LUSSIER, C. DAIGLE et S.D. CÔTÉ, 2010. *Slow responses of understory plants of maple-dominated forests to white-tailed deer experimental exclusion*. *For. Ecol. Manage.* 260 : 649-662.
- CORNETT, M.W., L.E. FRELICH, K.J. PUETTSMANN et P.B. REICH, 2000. *Conservation implications of browsing by Odocoileus virginianus in remnant upland Thuja occidentalis forests*. *Biol. Conserv.* 93 : 359-369.
- DAY, M.E., 2000. *Influence of temperature and leaf-to-air vapor pressure deficit on net photosynthesis and stomatal conductance in red spruce (Picea rubens)*. *Tree Physiol.* 20 : 57-63.
- DEHAYES, D.H., P.G. SCHABERG et G.R. STRIMBECK, 2001. *Red spruce (Picea rubens Sarg.) cold hardiness and freezing injury susceptibility*. Dans : F.J. Bigras et S.J. Colombo (Éds.). *Conifer cold hardiness*. Kluwer Academic Publ., Norwell, MA. p. 495-529.
- DELONG, H.B., V.J. LIEFFERS et P.V. BLENIS, 1997. *Microsite effects on first-year establishment and overwinter survival of white spruce in aspen-dominated boreal mixedwoods*. *Can. J. For. Res.* 27 : 1452-1457.
- DIBBLE, A.C., J.C. BRISSETTE et M.L. HUNTER JR., 1999. *Putting community data to work: some understory plants indicate red spruce regeneration habitat*. *For. Ecol. Manage.* 114 : 275-291.
- DOBBS, R.C., 1972. *Regeneration of white and engelmann spruce. A literature review from special reference to the British Columbia interior*. *Can. For. Serv., Pac. For. Res. Cent., Victoria, B.C. Inf. Rep. BC-X-69*. 77 p.
- DUMAIS, D. et M. PRÉVOST, 2007. *Management for red spruce conservation in Québec: The importance of some physiological and ecological characteristics – A review*. *For. Chron.* 83 : 378-392.
- DUMAIS, D. et M. PRÉVOST, 2008a. *Ecophysiology and growth of advance red spruce and balsam fir regeneration after partial cutting in yellow birch–conifer stands*. *Tree Physiol.* 28 : 1221-1229.
- DUMAIS, D. et M. PRÉVOST, 2008b. *Les coupes partielles sont-elles favorables à la régénération préétablie d'épinette rouge? Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 12*. 2 p.
- DUMAIS, D., M. PRÉVOST et P. RAYMOND, 2007. *L'épinette rouge, une espèce à bien connaître... pour une sylviculture mieux adaptée! Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 9*. 2 p.
- EIS, S., 1967. *Establishment and early development of white spruce in interior British Columbia*. *For. Chron.* 43 : 174-177.
- FORTIN, M., 2003. *Raréfaction de l'épinette rouge*. Chapitre 2 du document : *Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière*, P. Grondin et A. Cimon (Éds.). Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier. 45-66 p.
- FORTIN, M., J. BÉGIN et L. BÉLANGER, 2003. *Les coupes partielles : une alternative à la coupe à blanc dans les peuplements mixtes de sapin baumier et d'épinette rouge en termes de rendement*. *For. Chron.* 79 : 948-956.

- FRANK, R.M. et J.C. BJORKBOM, 1973. *A Silvicultural Guide for spruce-fir in the Northeast*. For. Serv., U.S. Dep. Agric., Gen. Tech. Rep. NE-6. 29 p.
- FRANK, R.M. et B.M. BLUM, 1978. *The selection system of silviculture in spruce-fir stands – Procedures, early results, and comparisons with unmanaged stands*. USDA For. Serv., Northeast. For. Exp. Stat., Broomall, PA. For. Serv. Res. Pap. NE-425. 16 p.
- FRAVER, S. et A.S. WHITE, 2005. *Disturbance dynamics of old growth Picea rubens forests of northern Maine*. J. Veg. Sci. 16 : 597-610.
- GORDON, A.G., 1996. *The sweep of the boreal in time and space, from forest formations to genes, and implications for management*. For. Chron. 72 : 19-30.
- GRAY, A.N. et T.A. SPIES, 1997. *Microsite controls on tree seedling establishment in conifer forest canopy gaps*. Ecology 78 : 2458-2473.
- GREENWOOD, M.S., C.L. O'BRIEN, J.D. SCHATZ, C.A. DIGGINS, M.E. DAY, G.L. JACOBSON, A.S. WHITE et R.G. WAGNER, 2008. *Is early life cycle success a determinant of the abundance of red spruce and balsam fir?* Can. J. For. Res. 38 : 2295-2305.
- GRONDIN, P. et A. CIMON, 2003. *Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs. 200 p.
- HANNAH, P.R., 1988. *The shelterwood method in northeastern forest types: a literature review*. North. J. Appl. For. 5 : 70-77.
- HANNAH, P.R., 2004. *Stand structures and height growth patterns in northern white-cedar stands on wet sites in Vermont*. North. J. Appl. For. 21 : 173-179.
- HEITZMAN, E., K.S. PREGITZER, R.O. MILLER, M. LANASA et M. ZUIDEMA, 1999. *Establishment and development of northern white-cedar following strip clearcutting*. For. Ecol. Manage. 123 : 97-104.
- HOFMEYER, P.V., L.S. KENEFIC et R.S. SEYMOUR, 2009. *Northern white-cedar ecology and silviculture in the northeastern United States and southeastern Canada: a synthesis of knowledge*. North. J. Appl. For. 26 : 21-27.
- HOFMEYER, P.V., L.S. KENEFIC et R.S. SEYMOUR, 2010. *Historical stem development of northern white-cedar (Thuja occidentalis L.) in Maine*. North. J. Appl. For. 27 : 92-96.
- JORDAN, D.N. et W.K. SMITH, 1993. *Simulated influence of leaf geometry on sunlight interception and photosynthesis in conifer needles*. Tree Physiol. 13 : 29-39.
- KENEFIC, L.S., P.E. SENDAK et J.C. BRISSETTE, 2005. *Comparison of fixed diameter-limit and selection cutting in northern conifers*. North. J. Appl. For. 22 : 77-84.
- KLEIN, R.M., T.D. PERKINS, J. TRICOU, A. OATES et K. CUTLER, 1991. *Factors affecting red spruce regeneration in declining areas of Camel's Hump Mountain, Vermont*. Am. J. Bot. 78 : 1191-1198.
- KNEESHAW, D.D. et M. PRÉVOST, 2007. *Natural canopy gap disturbances and their role in maintaining mixed-species forests of central Quebec, Canada*. Can. J. For. Res. 37 : 1534-1544.
- LAROUCHE, C., 2006. *Raréfaction du thuya*. Chapitre 5 (addenda) du document : *Les enjeux de biodiversité relatifs à la composition forestière*, P. Grondin et A. Cimon (Éds.). Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière et Direction de l'environnement forestier. 36 p.
- LAROUCHE, C., 2011. *La régénération du thuya : lentement, mais sûrement!* Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Avis de recherche forestière n° 35. 2 p.
- LAROUCHE, C., L.S. KENEFIC et J.-C. RUEL, 2010. *Northern white-cedar regeneration dynamics on the Penobscot experimental forest in Maine: 40-year results*. North. J. Appl. For. 27 : 5-11.
- LAROUCHE, C., J.-C. RUEL et J.-M. LUSSIER, 2011. *Factors affecting northern white-cedar (Thuja occidentalis) seedlings establishment and early growth in mixedwood stands*. Can. J. For. Res. 41 : 568-582.
- LAZARUS, B.E., P.G. SCHABERG, D.H. DEHAYES et G.J. HAWLEY, 2004. *Severe red spruce injury in 2003 creates unusual ecological event in the northeastern United States*. Can. J. For. Res. 34 : 1784-1788.
- LAZARUS, B.E., P.G. SCHABERG, G.J. HAWLEY et D.H. DEHAYES, 2006. *Landscape-scale spatial patterns of winter injury to red spruce foliage in a year of heavy region-wide injury*. Can. J. For. Res. 36 : 142-152.
- LUND, A.E. et W.H. LIVINGSTON, 1998. *Freezing cycles enhance winter injury in Picea rubens*. Tree Physiol. 19 : 65-69.
- MAJOR, J.E., D.C. BARSİ, A. MOSSELER, M. CAMPBELL et O.P. RAJORA, 2003. *Light-energy processing and freezing-tolerance traits in red spruce and black spruce: species and seed-source variation*. Tree Physiol. 23 : 685-694.
- MAN, R. et V.J. LIEFFERS, 1997. *Seasonal photosynthetic responses to light and temperature in white spruce (Picea glauca) seedlings planted under an aspen (Populus tremuloides) canopy and in the open*. Tree Physiol. 17 : 437-444.
- MCGRATH, T., 2011. *Tolerant softwood & mixedwood management guide*. Nova Scotia Nat. Res., Timber Manage. Group, Truro, NC. Rep. FOR 2010-2 No. 91. 23 p.
- MESSIER, C., R. DOUCET, J.-C. RUEL, Y. CLAVEAU, C. KELLY et M.J. LECHOWICZ, 1999. *Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests*. Can. J. For. Res. 29 : 812-823.
- MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (MRN), 2002. *Comptes rendus des « focus groups » régionaux sur les enjeux de biodiversité*. Gouvernement du Québec, Direction de l'environnement forestier. Non paginés (doc. non publiés).
- MOHAMMED, G.H. et W.C. PARKER, 1999. *Photosynthetic acclimation in eastern hemlock (Tsuga canadensis [L.] Carr.) seedlings following transfer of shade-grown seedlings to high light*. Trees 13 : 117-124.

- MOORES, A.R., R.S. SEYMOUR et L.S. KENEFIC, 2007. *Height development of shade-tolerant conifer saplings in multiaged Acadian forest stands*. Can. J. For. Res. 37 : 2715-2723.
- MORGENSTERN, E.K. et J.L. FARRAR, 1964. *Introgressive hybridization in red spruce and black spruce*. For. Tech. Bull. 4, Univ. Toronto, Fac. For., Toronto, ON. 47 p.
- MOSSELER, A., J.E. MAJOR et O.P. RAJORA, 2003. *Old-growth red spruce forests as reservoirs of genetic diversity and reproductive fitness*. Theor. Appl. Genet. 106 : 931-937.
- NOVA SCOTIA DEPARTMENT OF LANDS AND FORESTS (NSDLF), 1991. *A red spruce uniform-strip shelterwood trial: 10 years results*. Truro, NS. For. Res. Rep. No. 26. 8 p.
- NOVA SCOTIA DEPARTMENT OF NATURAL RESOURCES (NSDNR), 1994. *A survey of regeneration under softwood and mixedwood shelterwoods (five years after treatment)*. Truro, NS. For. Res. Rep. No. 51. 20 p.
- PAGE, L.M. et A.D. CAMERON, 2006. *Regeneration dynamics of Sitka spruce in artificially created forest gaps*. For. Ecol. Manage. 221 : 260-266.
- PERKINS, T.D., G.T. ADAMS, S. LAWSON et M.T. HEMMERLEIN, 1993. *Cold tolerance and water content of current-year red spruce*. Tree Physiol. 13 : 119-129.
- PETERS, S., 2000. *The impact of small mammals on natural regeneration of white spruce after logging*. M. Sc. thesis, Univ. of Alberta, Edmonton, AB. 101 p.
- PIELKE, R.A., 1981. *The distribution of spruce in west-central Virginia before lumbering*. Castanea 46 : 201-216.
- PRÉVOST, M., 2008. *Effect of cutting intensity on microenvironmental conditions and regeneration dynamics in yellow birch-conifer stands*. Can. J. For. Res. 38 : 317-330.
- PRÉVOST, M. et D. DUMAIS, (en révision). *Decennial growth and mortality following partial cutting in yellow birch-conifer stands*.
- PRÉVOST, M., P. RAYMOND et J.-M. LUSSIER, 2010. *Regeneration dynamics after patch cutting and scarification in yellow birch-conifer stands*. Can. J. For. Res. 40 : 357-369.
- ROE, J.H. et A. RUESINK, 2005. *Natural Dynamics silviculture: a discussion of natural community based forestry practices*. The Nature Conservancy. 16 p.
- RUEL, J.-C. et M. PINEAU, 2002. *Windthrow as an important process for white spruce regeneration*. For. Chron. 78 : 732-738.
- SENDAK, P.E., J.C. BRISSETTE et R.M. FRANK, 2003. *Silviculture affects composition, growth, and yield in mixed northern conifers: 40-year results from the Penobscot Experimental Forest*. Can. J. For. Res. 33 : 2116-2128.
- SEYMOUR, R.S., 1995. *The Northeastern region*. Dans : J.W. Barrett (Éd.). *Regional silviculture of the United States*, 3^e éd. John Wiley and Sons, New York. p. 31-79.
- SEYMOUR, R.S., 2005. *Integrating natural disturbances parameters into conventional silvicultural systems: Experience from the Acadian forest of northeastern North America*. Dans : C.E. Peterson et D.A. Maguire (éd.). *Balancing ecosystem values: innovative experiments for sustainable forestry: Proceedings of a conference, Aug. 15-20, 2004, Portland, OR*. USDA For. Serv., Pac. Northwest Res. Stat. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-635. p. 41-48.
- SHOPMEYER, C.S., 1974. *Seeds of woody plants in the United States*. U.S. Dep. Agric., Agric. Handb. 450 : 805-809.
- STIELL, W.M., 1976. *White spruce: artificial regeneration in Canada*. Can. For. Serv. Ottawa. Inf. Rep. FMR-X-85.
- STRIMBECK, G.R. et D.H. DEHAYES, 2000. *Rapid freezing injury in red spruce: seasonal changes in sensitivity and effects of temperature range*. Tree Physiol. 20 : 187-194.
- VANN, D.R., A.H. JOHNSON et B.B. CASPER, 1994. *Effect of elevated temperatures on carbon dioxide exchange in Picea rubens*. Tree Physiol. 14 : 1339-1349.
- WARING, R.H., 1991. *Responses of evergreen trees to multiple stresses*. Dans : H.A. Mooney, W.E. Winner et E.J. Pell (Éds.). *Response of plants to multiple stresses*. Academic Press, New York. p. 371-387.
- WU, X., J.F. MCCORMICK et R.T. BUSING, 1999. *Growth pattern of Picea rubens prior to canopy recruitment*. Plant Ecol. 140 : 245-253.

Synthèse des conférences

Écologie et sylviculture de la forêt mixte : synthèse du colloque

Patricia Raymond, ing.f., Ph. D.^{1, 2}



Patricia Raymond est ingénieure forestière, diplômée de l'Université Laval en 1996. Elle a également obtenu de cette institution, une maîtrise (1996) et un doctorat en sciences forestières (2004). Depuis 2002, elle travaille comme chercheuse à la Direction de la recherche forestière (MRNF), au sein de l'équipe de recherche sur la sylviculture de la forêt mixte. Ses travaux sont axés sur le développement d'une sylviculture adaptée à la forêt mixte tempérée. Elle étudie l'effet de différents procédés de régénération,

notamment la coupe progressive irrégulière, sur le rendement, mais aussi sur le maintien de la composition mixte et des attributs structuraux. Elle fait partie du Comité d'édition scientifique du tome 2 du Guide sylvicole du Québec.

¹ Ministère des Ressources naturelles et de la Faune
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-7994
Télécopieur : 418 643-2165

² patricia.raymond@mrnf.gouv.qc.ca

C'est sous le thème « Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? » que s'est déroulé ce colloque portant sur l'écologie et la sylviculture de la forêt mixte. Cette journée a permis de constater que la décennie 2000 a été riche en acquisition de connaissances. Elle fut aussi ponctuée de nouveaux défis, dont ceux liés à la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique. La journée de conférences comportait deux grands thèmes, soit l'écologie de la forêt mixte et la sylviculture de la forêt mixte.

Mise en contexte

Le premier conférencier a eu pour mandat d'introduire les principaux défis liés à l'aménagement et à la sylviculture en forêt mixte. Dans une vision globale, Guy Lessard a rappelé que cette forêt est constituée d'une diversité d'états qui sont dynamiques dans le temps et qui compliquent l'établissement de références pour l'aménagement écosystémique. L'émergence de nouveaux défis est accompagnée de nouveaux outils. La photo-interprétation bonifiée, la cartographie fine, le LIDAR, les nuages de points photogrammétriques, la modélisation et les guides sylvicoles en sont des exemples. Toutefois, ces outils ne doivent pas remplacer la démarche diagnostique de l'ingénieur forestier. Une démarche d'ingénierie serait nécessaire pour concevoir et « designer » la forêt mixte de demain.

Écologie de la forêt mixte

Frédéric Doyon a dressé un portrait des principaux enjeux écologiques. Parmi ceux-ci, il y a l'enfeuilletement, qu'ils ont qualifié de « double enfeuilletement », puisqu'on a observé à la fois une augmentation des essences feuillues et une régression des essences résineuses à l'échelle du paysage. Le rajeunissement de la forêt mixte est également un problème répandu, qui se traduit par la diminution des forêts anciennes, le rétrécissement des massifs résineux surannés et leur morcellement. Dans ces forêts situées près des zones habitées, les récoltes répétées ont eu pour effet de simplifier la structure interne des peuplements et de diminuer la quantité et la qualité du bois mort. La reconstruction des gros bois et le renouvellement des

P. RAYMOND, 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : synthèse du colloque*. Dans : Raymond, P., D. Dumais et M. Prévost (éds.), 2012. *Écologie et sylviculture de la forêt mixte : Qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? Colloque de transfert de connaissances*, Carrefour Forêt Innovations, 6 octobre 2011, Centre des congrès, Québec, QC, Canada. p. 61-64.

essences forestières en déclin comme le thuya, le pin blanc et l'épinette rouge feront partie des principaux défis de restauration écologique.

La compréhension de la dynamique naturelle est la pierre angulaire du développement d'une sylviculture et d'un aménagement véritablement adaptés à la forêt mixte. Selon les recherches, les trouées y sont importantes, car elles influencent la composition, la structure et la croissance des arbres du peuplement. Daniel Kneeshaw a démontré que le processus de formation des trouées est très dynamique dans l'espace et le temps. L'emplacement des trouées change avec le temps, mais les plus grandes ont surtout tendance à s'agrandir alors que les petites se referment généralement. Le fait que les trouées se déplacent, par exemple en s'agrandissant d'un côté et en se refermant de l'autre, permet à différentes espèces d'être recrutées. La taille des trouées et leur durée ont également une grande influence sur le recrutement. Il semble donc que la diversité des niches écologiques permette aux essences ayant des autécologies différentes de cohabiter dans les peuplements mixtes. Pour certaines, comme l'épinette rouge, la longévité est une caractéristique qui assure leur maintien dans le peuplement, même si elles sont peu abondantes dans la régénération.

La dynamique du feu et de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (TBE) est très peu documentée en forêt mixte tempérée (sapinière à bouleau jaune), en comparaison avec celle de la forêt mixte boréale (sapinière à bouleau blanc). Les dernières épidémies de TBE sont survenues vers 1915, 1950, 1980 et actuellement, selon des cycles de 30 à 40 ans. À l'échelle du peuplement, la TBE cause la mortalité partielle des sapins matures, mais favorise la régénération naturelle et la croissance des arbres survivants. Mathieu Bouchard a montré que les paysages naturels de la forêt mixte sont composés d'une matrice de forêt mature qui est ponctuée de grandes superficies perturbées par le feu et de petites superficies touchées par la TBE. Cette mosaïque forestière diversifiée, tant sur le plan de l'organisation spatiale que de la composition, joue un rôle dans le maintien des communautés. Enfin, l'approche d'aménagement préconisée dans le nouveau régime forestier comporte un grand paradoxe : on s'inspire des perturbations naturelles pour réaliser l'aménagement écosystémique, mais on veut protéger les forêts contre le feu et les épidémies d'insectes.

L'effet des perturbations anthropiques, telles que les feux d'abatis et les coupes forestières, se superpose à celui des perturbations naturelles. Yan Boucher a montré que les coupes forestières ont eu pour effet de creuser l'écart entre les paysages actuels et préindustriels. Par exemple, il y a eu trois phases d'exploitation forestière au Bas-Saint-Laurent. La première

phase (1820-1900) visait la récolte d'essences nobles de fort diamètre, alors que la seconde (1901-1960) était axée sur l'exploitation préférentielle des conifères pour alimenter les usines de sciage et de pâtes et papiers. La troisième phase (1960-2000) a coïncidé avec la mécanisation des opérations forestières et s'est traduite par l'usage généralisé des coupes totales. Cet historique de coupes a eu un impact majeur sur la structure et la composition de la forêt régionale. Les principaux changements sont l'augmentation de la proportion des essences feuillues dans le paysage et la raréfaction de vieilles forêts de conifères, ainsi que de certaines essences compagnes dont le thuya, l'épinette blanche et les grands pins.

Sylviculture de la forêt mixte

La sylviculture des peuplements mixtes présente le défi de conserver la diversité d'espèces, notamment de maintenir la composante résineuse. À ce sujet, Marcel Prévost nous a présenté des résultats issus de son programme de recherche sur la sylviculture des bétulaies jaunes résineuses en forêt mixte tempérée. La principale problématique est de créer des conditions qui soient favorables à plusieurs essences qui ont des exigences écologiques différentes, alors que la concurrence végétale des espèces non commerciales est très forte. Les recherches ont montré que le bouleau jaune pouvait s'établir dans les trouées scarifiées de diamètre variant entre 20 et 40 m, mais que la régénération de l'épinette rouge et du sapin baumier était plus difficile, même dans de petites trouées (20 m). Ces essences très tolérantes à l'ombre se régénèrent plus facilement en bordure des trouées ou sous un couvert partiel. Des traitements qui favorisent l'établissement dans les groupes d'arbres récoltés ou sous un couvert partiel qui sera enlevé progressivement leur sont plus favorables. Le maintien d'un couvert mature permanent qui assure la rétention continue de semenciers est une bonne stratégie pour conserver à long terme la composition et la structure irrégulière ou inéquienne des bétulaies jaunes résineuses. La coupe progressive irrégulière et le jardinage par groupes d'arbres pourraient permettre d'atteindre ces objectifs.

La conférence suivante abordait la sylviculture des peuplements mixtes à feuillus intolérants sous l'angle de la forêt mixte boréale. D'après Brian Harvey, le contexte du nouveau régime forestier favorisera l'émergence d'une sylviculture plus fine et plus respectueuse de la dynamique naturelle. Les peuplements mixtes de l'Abitibi occupent souvent des sites riches caractérisés par une forte concurrence végétale. La difficulté de régénérer les essences résineuses et l'enfeuillage sont aussi problématiques. La structure et la composition des peuplements naturels sont principalement influencées par la dynamique du feu, de la livrée des forêts et de la TBE. En l'absence du feu, les peuplements

équiennes de feuillus intolérants peuvent évoluer vers des peuplements de composition mixte et de structure inéquienne. Un scénario sylvicole s'inspirant de cette dynamique peut comporter la coupe à rétention variable, la coupe de succession et les coupes progressives ou les coupes de jardinage. La rétention d'arbres matures permet de conserver sur pied une certaine proportion de peupliers, une espèce clé de voûte pour les oiseaux excavateurs. La coupe de succession contribue à diminuer la surabondance des peuplements de feuillus intolérants. Par ailleurs, la rétention d'un couvert partiel est une stratégie utile pour limiter le drageonnement du peuplier, en autant que le prélèvement ne dépasse pas 40 % de la surface terrière.

Les trois dernières conférences avaient un lien avec la restauration écologique. Jean-Claude Ruel s'est attardé à la problématique de la restauration des peuplements dégradés. Les coupes à diamètre limite du passé comportaient plusieurs lacunes, incluant l'absence de contrôle sur la structure et la densité du peuplement résiduel, et le maintien sur pied d'arbres peu vigoureux et de faible qualité. Les résultats de ces coupes étaient donc très variables. Les peuplements résiduels comportaient souvent une abondante strate arbustive composée d'espèces concurrentes qui, combinée à la diminution du nombre de semenciers d'essences résineuses, a rendu encore plus difficile sa régénération en essences résineuses. Des essais de remise en production des peuplements dégradés ont été effectués au Québec, mais peu de résultats sont disponibles jusqu'à maintenant. Un essai de cloisonnement cultural, combiné au scarifiage par placeaux et à l'ensemencement artificiel, a été présenté. La densité résiduelle des peuplements dégradés était suffisante pour établir une régénération naturelle de bouleau jaune après le scarifiage. Le scarifiage par placeaux a permis de contrôler la végétation concurrente pendant 6 ans, mais la fertilité des microsites était faible à l'intérieur des placeaux. Le broustement a aussi été un obstacle au développement du bouleau jaune.

En utilisant l'exemple de la conversion structurale de jeunes peuplement réguliers, Laurent Gagné a démontré qu'il est possible de concilier les intérêts écologiques et économiques. Au Bas-Saint-Laurent, l'aménagement équienne a eu pour effet de creuser un écart important entre la structure d'âges de la forêt préindustrielle et celle de la forêt actuelle, avec un rajeunissement majeur de la forêt et une homogénéisation de sa structure interne. Parce qu'il n'était pas possible de travailler avec les peuplements matures pour accélérer leur développement structural, les jeunes forêts ont été choisies pour entamer ce processus. Les traitements testés combinaient différents types d'éclaircie commerciale (par le bas et avec dégagement d'arbres-élites)

à la création de trouées et à l'enrichissement en essences. Les premiers résultats montrent que le dégagement d'arbres-élites fournit des produits de sciage de meilleure qualité et en plus grande quantité que l'éclaircie par le bas. Il est donc possible de développer de nouveaux outils sylvicoles adaptés à l'aménagement écosystémique, tout en répondant à certains besoins écologiques et économiques.

La dernière conférence de la journée portait sur la sylviculture des essences en raréfaction. D'après Daniel Dumais, des interventions forestières axées sur le prélèvement et mal adaptées à l'autécologie des essences compagnes en sont principalement responsables. Ayant un taux d'occupation d'à peine 20 % de ce qu'il était dans la forêt primitive, l'épinette rouge a été fortement défavorisée par les coupes totales et les coupes à diamètre limite. Les coupes sévères et répétées ont également causé une forte diminution de l'abondance du thuya, alors que le broustement par les cervidés a accentué ses difficultés de régénération. Il importe donc de bien comprendre l'autécologie des essences compagnes, dont leurs exigences écophysologiques particulières. En général, le maintien d'un couvert mature partiel a un effet bénéfique sur la régénération, puisqu'il tempère le microclimat, permet un apport continu de semences et peut aider à limiter l'envahissement de la végétation concurrente. Il est impératif de protéger la régénération préétablie, qui peut croître des dizaines d'années sous le couvert avant d'atteindre le stade de gaulis. Un scénario par étapes est recommandé et consiste à : i) fournir une protection lors de l'établissement de la régénération, ii) acclimater graduellement la régénération à l'ouverture du couvert et iii) offrir les conditions de lumière permettant une croissance optimale. Les coupes progressives et les coupes de jardinage pourraient intégrer un tel scénario.

Conclusion

La forêt mixte est un écosystème complexe, caractérisé par une multiplicité d'états influencés par les perturbations naturelles et anthropiques. Dans certaines régions, l'état actuel de la forêt s'éloigne fortement de celui de l'époque préindustrielle. Selon certains, la clé sera d'aménager les forêts comme des systèmes évolutifs et complexes. Le nouveau contexte d'aménagement écosystémique nous amènera à développer une sylviculture mieux adaptée. Une démarche d'ingénierie structurée, accompagnée des nouveaux outils, aidera à trouver des solutions novatrices.

Une sylviculture proche de la nature aura pour objectif de conserver l'intégrité écologique des peuplements de belle venue, alors que les peuplements dégradés nécessiteront des investissements pour leur remise en production. La restauration écologique de la

forêt mixte peut impliquer des traitements qui visent à réintroduire des essences en raréfaction, jusqu'à des interventions qui complexifient la structure ou qui accélèrent la succession naturelle. Il apparaît de plus en plus nécessaire d'intégrer les valeurs économiques dans la réflexion écologique pour soutenir les efforts de restauration.

Enfin, le besoin de connaissances est toujours présent en forêt mixte, tant en écologie, qu'en aménagement et en sylviculture. La recherche se poursuit et nul doute que les travaux réalisés au cours de la prochaine décennie généreront des connaissances qui guideront nos futures pratiques sylvicoles. Ainsi, la recherche contribuera au maintien de l'intégrité de ce milieu riche et diversifié, qui supporte l'industrie forestière, tout en étant privilégié pour les activités récréatives de toutes sortes.

La sylviculture est considérée depuis longtemps comme un art et une science, mais elle est aussi maintenant vue comme une forme d'écologie appliquée. Au cours des années 1990, la pratique nouvelle de la sylviculture dans la forêt mixte québécoise a dû passer par une meilleure compréhension de son écologie. Les forestiers ont vite réalisé qu'il ne suffisait pas de transposer des traitements sylvicoles utilisés en forêt boréale ou feuillue, mais qu'il fallait mettre au point une sylviculture qui soit adaptée à ses réalités. Ainsi, la décennie 2000 a été marquée par une phase majeure d'acquisition de connaissances scientifiques. Ce colloque a donc pour but de réunir des spécialistes en écologie et en sylviculture pour faire état de ces connaissances dans une perspective de développement de pratiques sylvicoles adaptées à cette forêt complexe.

Dans une optique de diffusion des connaissances acquises et de son intégration au domaine de la pratique, la Direction de la recherche forestière (DRF) a organisé, dans le cadre du Carrefour Forêt Innovations 2011, un colloque de transfert de connaissances et de savoir-faire intitulé « Écologie et sylviculture de la forêt mixte : qu'avons-nous appris au cours de la dernière décennie? ». Ce colloque s'adresse à tous les acteurs du milieu forestier intéressés par l'écologie et la sylviculture de la forêt mixte. Il a pour premier objectif d'améliorer la compréhension du contexte et des caractéristiques écologiques de la forêt mixte, incluant la dynamique des perturbations naturelles et anthropiques. Le second objectif est de communiquer aux participants les plus récentes innovations et avancées scientifiques en matière de sylviculture adaptée à la forêt mixte.