

DOIT-ON REMETTRE EN QUESTION NOTRE FAÇON D'AMENAGER LA FORET BOREALE CANADIENNE ?

Yves Bergeron¹ et Héloïse Le Goff², ¹Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, C.P. 700, Rouyn-Noranda, Québec, Canada, J9X 5E4; courriel: yves.bergeron@uqat.ca, ²Institut des Sciences de l'Environnement et Groupe de Recherche en Écologie Forestière interuniversitaire, Université du Québec à Montréal, Succursale Centre-Ville CP 8888, Montréal, Québec, H3C 3P8, courriel : le_goff.heloise@courrier.uqam.ca

Résumé : Au cours de la dernière décennie, nous avons vu un intérêt croissant se développer pour un aménagement forestier basé sur la compréhension de la dynamique historique des perturbations naturelles. Un tel aménagement, axé sur le développement de peuplements et de paysages similaires à ceux caractérisant les milieux naturels, devrait favoriser le maintien de la diversité biologique et les fonctions écologiques essentielles. Dans les paysages dominés par le feu, cette approche est possible seulement si les fréquences de feu actuelles et futures sont suffisamment faibles pour permettre de substituer le feu par l'aménagement forestier. Cette question sera abordée en comparant les fréquences de feu actuelles et futures avec les fréquences historiques reconstituées par plusieurs études en forêt boréale canadienne. Les fréquences de feu actuelles et futures simulées en utilisant des scénarios 2x et 3xCO₂ sont plus faibles que les fréquences historiques de la plupart des sites étudiés. Dans ces cas, l'aménagement forestier peut potentiellement être utilisé pour recréer la structure des classes d'âge des paysages pré-industriels contrôlés par les feux. Cependant, l'aménagement équienné actuel tend à réduire la variabilité forestière. Par exemple, l'aménagement équienné pleinement régulé va tendre à tronquer la distribution naturelle des classes d'âges et à éliminer les forêts vieilles et surmatures du paysage. Le développement de pratiques sylvicoles qui maintiennent un spectre de composition et de structure forestières à différentes échelles du paysage est un moyen pour maintenir cette variabilité.

Mots-clés: forêt boréale; aménagement équienné; régime de feu; vieilles forêts; changement climatique; coupe partielle

Abstract : Over the past decade, there has been an increasing interest in the development of forest management approaches that are based on an understanding of historical natural disturbance dynamics. The rationale for such an approach is that management to favour landscape compositions and stand structures similar to those of natural ecosystems should also maintain biological diversity and essential ecological functions. In fire-dominated landscapes, this approach is possible only if current and future fire frequencies are sufficiently low, in comparison to pre-industrial fire frequency, that we can substitute fire with forest management. This question is addressed here by comparing current and future fire frequency to historical reconstruction of fire frequency from studies in the Canadian boreal forest. Current and simulated future fire frequencies using 2x and 3xCO₂ scenarios are lower than the historical fire frequency for most sites, suggesting that forest management could potentially be used to recreate the forest age structure of fire-controlled pre-industrial landscapes. Current even-aged management, however tends to reduce forest variability: for example, fully regulated, even-aged management will tend to truncate the natural forest stand age distribution and eliminate overmature and old growth forests from the landscape. The development of silvicultural techniques that maintain a spectrum of forest compositions and structures at different scales in the landscape is one avenue to maintain this variability.

Keywords: boreal forest; even age management; fire regime; old-growth forests; climate change; partial cutting

Introduction

Au cours de la dernière décennie, nous avons vu un intérêt croissant se développer pour un aménagement forestier basé sur la compréhension de la dynamique des perturbations naturelles (Attiwil, 1994; Bergeron et Harvey, 1997; Angelstam, 1998). Un tel aménagement, axé sur le développement de peuplements et de paysages similaires à ceux caractérisant les milieux naturels, devrait favoriser le maintien de la diversité biologique et les fonctions écologiques essentielles (approche du filtre brut, décrite par Hunter, 1999). Dans la perspective de conserver la faune et la flore locales, émuler les perturbations naturelles s'appuie sur le fait que les espèces boréales forestières sont en majorité

généralistes et bien adaptées aux pressions environnementales agissant depuis des milliers d'années (Hunter *et al.*, 1988).

Notre compréhension du régime de feu caractéristique de la forêt boréale est encore fragmentaire, ce qui nous a souvent mené à de fausses généralisations. Par exemple, la coupe totale en forêt boréale a longtemps été justifiée par l'hypothèse voulant que le régime de feu dans ce type de forêt se caractérise par des feux sévères, fréquents et de grande superficie, le tout produisant des peuplements équiennés. En fait, il apparaît qu'un court cycle de feu ne domine que certaines régions de la forêt boréale et que la situation d'ensemble est beaucoup plus complexe (Bergeron *et al.*, 2001).

Région	Aire d'étude (km ²)	Période de temps	Age moyen	% >100 ans
Parc Wood Buffalo	44807	1750-1989	71	24
Prince Albert	3461	< 1890	97	36
Nord de l'Ontario	24000	~1870-1974	52	15
FMLA	8245	1740-1998	178	78
Ouest du Québec	15793	~1750-1998	139	57
Centre du Québec	3844	1720-1998	102	35
Sud-est du Labrador	48500	1870-1975	500	81

Tableau 1. Localisation et taux de feu historiques pour chaque région étudiée. FMLA : Forêt Modèle du Lac Abitibi.

Dans les zones où la fréquence de feu est plus faible que par le passé, la coupe totale ou la coupe à faible rétention pourrait être utilisée pour recréer la fréquence de perturbation historiquement plus élevée. Cependant, plus la fréquence de feu diminue, plus l'utilisation de la coupe totale ou à faible rétention sur une courte révolution est difficile à justifier. Par ailleurs, dans les zones où les feux sont très fréquents, les activités de coupe entrent en compétition avec le feu pour la ressource ligneuse. Dans ce cas, un aménagement équienné basé sur une rotation courte pourrait ne pas être durable. La majorité des forêts boréales productives du Canada se situent entre ces deux extrêmes. Néanmoins, les impacts des changements climatiques sur les régimes de feu régionaux pourraient aussi bien créer des opportunités pour l'aménagement forestier (dans le cas où la fréquence de feu diminue) que compromettre les possibilités actuelles puisque les modèles prédisent que ces régimes de feu régionaux vont répondre de façon différente d'une région à l'autre (Flannigan et al., 2001).

Cet article s'appuie sur la comparaison des fréquences de feu passées, actuelles et futures pour la forêt boréale canadienne. En mettant l'accent sur la forêt boréale de l'est, cette réflexion porte sur la façon dont l'aménagement conventionnel (coupe totale ou la coupe à faible rétention) peut potentiellement être utilisé pour recréer la structure d'âge des paysages pré-industriels qui étaient contrôlés principalement par les régimes de feu. Les stratégies alternatives pour aménager la forêt boréale seront ensuite discutées et mises en perspective dans un contexte de changements climatiques futurs.

La fréquence historique de feu et son implication sur la structure d'âge des forêts : les mauvaises nouvelles.

Le tableau 1 présente les résultats des historiques de feu publiés le long d'un gradient est-ouest en forêt boréale. Ces données proviennent du Labrador (Foster, 1983), du centre et de l'Ouest

du Québec (Bergeron *et al.*, 2001), de l'Est du Québec (Bergeron *et al.*, 2001), de l'Ouest ontarien (Suffling *et al.*, 1982), de la Saskatchewan (Weir *et al.*, 2000) et de l'Alberta (Larsen, 1997). Un jeu de données plus détaillées est présenté dans l'article de Bergeron *et al.* (2004). L'âge moyen de la forêt (temps depuis le dernier feu) ou, s'il n'était pas disponible, le cycle de feu pour la période précédant le début des activités de coupes extensives, a été utilisé pour estimer la fréquence historique de feu. L'âge moyen de la forêt fut préféré au cycle de feu car il intègre les changements de fréquence de feu reliés au climat sur de longues périodes, et aussi parce qu'il est plus facile à estimer que le cycle de feu (Bergeron *et al.*, 2001).

Même si l'on retrouve des variations dans l'âge moyen des forêts, probablement causées par la différence de climat est-ouest, dans tous les cas, une proportion significative de forêts est âgée de plus de 100 ans. Les âges moyens historiques répertoriés sont, dans la majorité des cas, bien au-dessus de l'âge moyen de paysages similaires soumis à une rotation forestière normale. Dans les faits, sous une rotation forestière de 100 ans, l'âge moyen d'une forêt entièrement régulée sera de 50 ans alors qu'à long terme un paysage naturel soumis à un cycle de feu constant de 100 ans aura un âge moyen de 100 ans (figures 1a et 1b). Ce résultat s'explique par le caractère aléatoire du feu, par opposition au caractère agrégé des coupes. Sous un cycle de feu de 100 ans, 37% des peuplements d'un paysage perturbé par le feu uniquement sont en fait plus vieux que 100 ans, tandis qu'aucun peuplement n'a plus de 100 ans dans un paysage complètement régulé par l'aménagement forestier (van Wagner, 1978). Ainsi, une large proportion du paysage pré-industriel était composée de forêts plus âgées que la rotation forestière de 100 ans. La distribution des classes d'âges à travers le paysage constitue le principal facteur contrôlant la structure et la composition de la forêt qui, à leur tour, contrôlent la biodiversité.

Région	Aire d'étude (km ²)	Période de temps	Taux de feu (%)			
			Historique	actuel 1959-1999	2xCO ₂	3xCO ₂
Parc Wood Buffalo	44807	1750-1989	1.41	0.6603	0.8122	0.7726
Prince Albert	3461	< 1890	1.03	0.4697	0.4509	0.4838
Nord de l'Ontario	24000	~1870-1974	1.92	0.4615	1.9983	2.6582
LAMF	8245	1740-1998	0.58	0.0456	0.0602	0.0643
Ouest du Québec	15793	~1750-1998	0.72	0.0322	0.0328	0.0483
Centre du Québec	3844	1720-1998	0.79	0.1109	0.0000	0.0000
Sud-est du Labrador	48500	1870-1975	0.20	0.0379	0.0565	0.0682

Tableau 2. Localisation et taux de feu historiques, actuels et futurs pour chaque région étudiée.

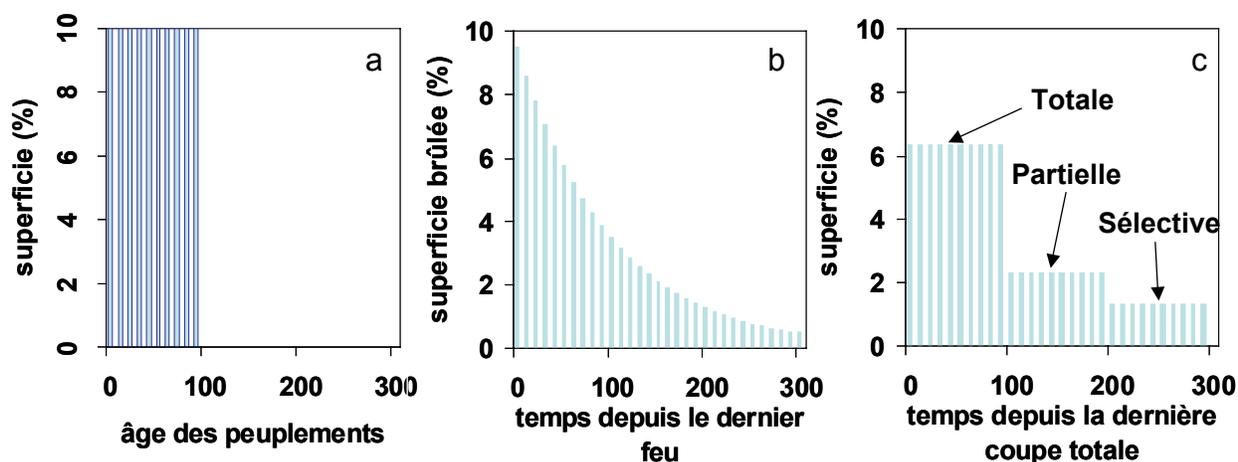


Figure 1. Contrairement à une utilisation exclusive de la coupe totale (faible rétention avec près de 100% des tiges marchandes récoltées) qui mène à une forêt régulée et équiennne (a), l'utilisation des coupes partielles (une majorité des tiges marchandes est récoltée) et sélectives (une minorité des tiges marchandes est récoltée) dans une partie des peuplements permet de recréer la composition et la structure des classes d'âges proches de celles produites par le feu (b,c). L'approche proposée implique non seulement l'allongement de la période de rotation forestière, mais également une diversification des pratiques sylvicoles.

Dans la portion sud de la forêt boréale de l'Est du Québec, soit en forêt boréale mixte, nous observons généralement, après le passage d'un feu, l'arrivée d'espèces intolérantes à l'ombre (bouleau à papier et peuplier faux-tremble, figure 2). Ces espèces sont graduellement remplacées par des conifères, lorsque le temps depuis le dernier feu augmente (Bergeron et Dubuc, 1989; Bergeron, 2000). Ainsi, sur une période de 200 ans, les peuplements feuillus sont progressivement remplacés par des peuplements mixtes puis finalement, par des peuplements à dominance résineuse. Plus au nord, dans la pessière noire, le peuplement établi après feu est souvent dominé par une cohorte dense d'épinettes noires issues principalement de graines. A maturité, la structure équiennne est progressivement remplacée par une forêt plus ouverte composée à la fois de tiges issues de feu et de marcottage. En absence prolongée de feu, ces peuplements

deviennent de plus en plus ouverts, avec une structure d'âge hétérogène, maintenue par marcottage. La présence et l'abondance des oiseaux, des insectes et des plantes vasculaires et invasculaires changent graduellement le long de la séquence temporelle après feu, même si peu d'espèces sont spécifiques à un stade particulier de développement (Harper *et al.*, 2003).

A la lumière de ces résultats, par rapport aux paysages naturels, l'aménagement forestier équiennne avec de courtes rotations, entraîne une diminution majeure de l'abondance des forêts matures et anciennes, particulièrement importantes pour le maintien de la biodiversité (Kneeshaw et Gauthier, 2003).

Les fréquences de feu anciennes et actuelles: les bonnes nouvelles.

Le tableau 2 présente les fréquences de feu actuelles pour les mêmes régions que le tableau 1. Ces fréquences ont été estimées à partir de la base de données canadienne sur les grands feux (Stocks *et al.*, 2002) qui inclut tous les feux plus grands que 200ha ; ces feux représentent plus de 97% du total des aires brûlées au Canada. Pour chacune des régions, l'aire moyenne brûlée annuellement a été calculée sur un rayon de 100km en utilisant la base de données pour la période 1959-1999. Ainsi, les fréquences historiques de feu pour chaque région (Tableau 2) se basent sur l'aire moyenne brûlée du Tableau 1. L'inverse de l'âge moyen (ou du cycle de feu) a été utilisé comme estimateur de la fréquence de feu annuelle.

Toutes les régions étudiées montrent une fréquence de feu actuelle inférieure à leur fréquence historique. Le changement observé depuis les 50 dernières années, d'un cycle de feu court à un cycle de feu plus long, est probablement dû à l'effet combiné du changement climatique et du succès de la suppression active des feux. Plusieurs études réalisées en forêt boréale canadienne démontrent une diminution dans la fréquence de feu depuis la moitié du dix-neuvième siècle (Bergeron *et al.*, 2001; Larsen, 1997; Weir *et al.*, 2000). Comme au cours de cette période, les forêts n'étaient pas encore exploitées, la diminution de la fréquence de feu est vraisemblablement induite par des changements climatiques. Dans le Nord-Ouest du Québec, la diminution de la fréquence de feu a été reliée à une réduction de la fréquence des périodes de sécheresse depuis la fin du Petit Âge Glaciaire (Bergeron et Archambault, 1993). L'hypothèse avancée stipule que le réchauffement débuté à la fin du Petit Âge Glaciaire serait associé à un important changement dans la circulation globale des masses d'air (Girardin *et al.*, 2004).

Bien qu'il semble que les outils de suppression des feux n'aient pas été suffisants pour combattre efficacement les feux de grandes superficies dans la première partie du vingtième siècle (Lefort *et al.*, 2003), la suppression active des feux s'est considérablement développée au cours des 50 dernières années. L'amélioration de la détection des feux et l'introduction des avions-citernes ont largement contribué à améliorer le système d'attaque initiale des feux. La suppression des feux a également bénéficié de la fragmentation du paysage et du développement du réseau routier qui créent un nombre de plus en plus élevé de coupe-feu et facilitent l'accès et le travail de suppression.

Une des alternatives possibles est d'utiliser des rotations forestières de longueurs variables, proportionnelles aux cycles de feu naturels observés (Burton *et al.*, 1999). Cependant, cette approche peut être applicable seulement dans les écosystèmes formés d'espèces longévives pouvant supporter de longues rotations forestières. En forêt boréale, composée majoritairement d'espèces avec une durée de vie relativement courte, une telle approche induirait une perte ligneuse et un déclin de la possibilité forestière, car l'âge de sénescence serait atteint avant celui de la

récolte. Ce dilemme n'est cependant pas sans solution. Les pratiques sylvicoles visant à maintenir la structure et la composition caractéristiques des peuplements surmatures pourraient, en région boréale, garantir le maintien de la diversité des habitats en affectant seulement légèrement la possibilité forestière. Ainsi, il est possible de traiter certains peuplements par coupes totales suivies d'ensemencement ou de reboisement (ou une autre méthode de sylviculture équienne produisant un effet similaire au feu), de traiter d'autres peuplements avec des coupes partielles reproduisant ainsi la structure d'un peuplement surmature, et finalement, d'autres peuplements avec des coupes de jardinage par pied d'arbre ou par trouée reflétant la dynamique des forêts anciennes (Figure 2).

Dans les forêts soumises à un régime de feu naturel, tous les peuplements ne survivent pas nécessairement jusqu'au stade mature ou ancien avant de succomber à un feu. De façon similaire, dans la stratégie proposée, tous les peuplements ne se développeraient pas jusqu'aux stades avancés. Ainsi, une réinitialisation vers une cohorte forestière initiale pourrait se produire au moment où n'importe laquelle des trois cohortes est coupée totalement et régénérée, naturellement ou non (Figure 2).

Peu importe les causes, la récente diminution de la fréquence de feu favorise des stratégies d'aménagement qui utilisent la coupe totale sur une proportion du paysage afin de recréer une structure d'âge des forêts similaire à celle issue d'une fréquence de feu plus élevée. Considérant les bons et les mauvais côtés de l'aménagement équienne, que devons-nous faire ?

Une nouvelle façon d'aménager la forêt boréale

La figure 1c illustre un exemple d'une structure d'âge vraisemblable où l'âge maximum de la récolte est basé sur un cycle de feu de 100 ans. Cette approche fournit un moyen de calculer les proportions de forêts soumises à différents âges de récolte par coupe totale. Il est à noter ici que la troisième cohorte inclut toutes les classes d'âge supérieures à 200 ans. Il devient alors possible de recréer partiellement, non seulement la structure et la composition naturelles des peuplements, mais aussi une structure d'âge à l'échelle du paysage similaire à celle résultant d'un cycle de feu (Figure 1b).

Cette approche peut aisément s'appliquer dans une variété de situations. Il est cependant nécessaire de connaître le cycle naturel de feu et l'âge maximal de récolte afin de déterminer l'aire relative qui doit être maintenue dans le paysage forestier pour chacune des trois cohortes. Les pratiques sylvicoles varient en fonction de la répartition des cohortes et du régime de perturbation d'une région donnée. L'article de Bergeron *et al.* (1999) présente en détail un canevas afin de déterminer la proportion nécessaire de chacune des cohortes en fonction du cycle de feu et de l'âge maximal de la récolte.

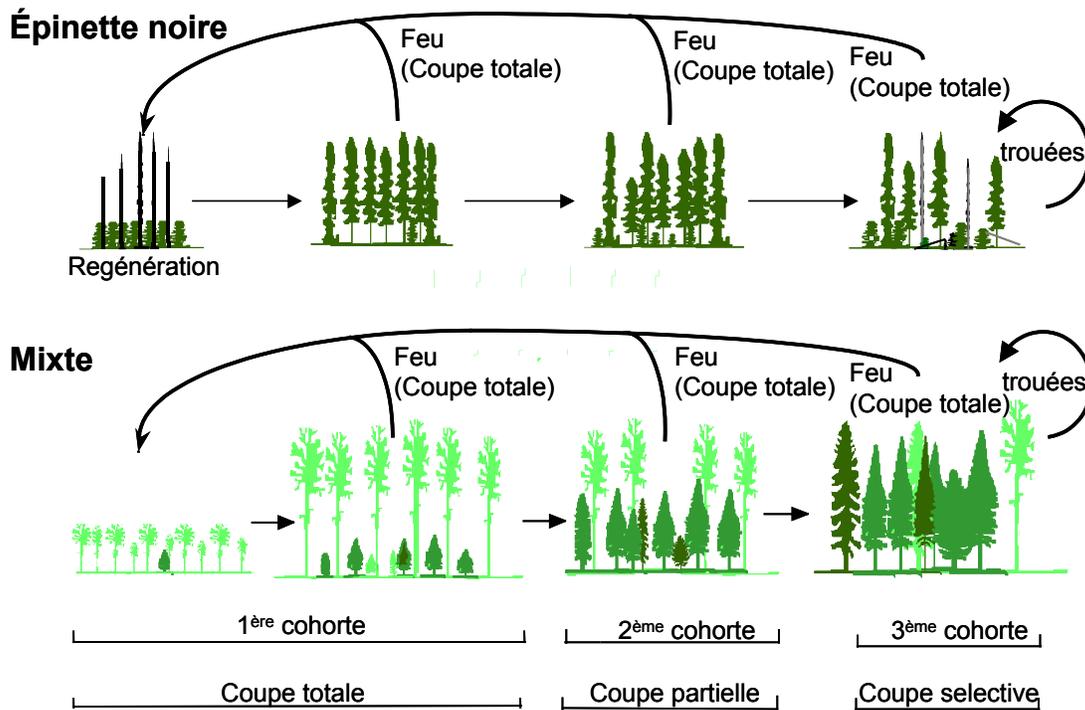


Figure 2. Dynamique naturelle et sylviculture proposée pour la pessière noire et pour la forêt mixte. L'axe horizontal représente le temps depuis la dernière coupe totale ou le dernier feu.

Les fréquences futures de feu peuvent-elles être prédites ?

Flannigan *et al.* (2002) et Bergeron *et al.* (2004) ont calculé les fréquences futures de feu en utilisant les relations observées dans les archives entre les superficies brûlées et les conditions météorologiques et l'indice forêt-météo. Par la suite, les futures fréquences de feu ont été estimées en substituant les variables climatiques par l'indice forêt-météo provenant d'un modèle de circulation générale (MCG). Le MCG canadien de première génération a été utilisé pour les scénarios doublant et triplant la concentration actuelle de CO₂ atmosphérique. Ce modèle inclut à la fois l'effet des gaz à effets de serre et des aérosols sulphatés qui contribuent à l'accroissement de 1 % en CO₂ par année. A ce rythme, la période de temps 2040-2060 et la période 2080-2100 correspondent approximativement à 2xCO₂ et à 3xCO₂ respectivement. L'espacement entre les mailles de la grille autour de chaque région montrée dans le tableau 2 est approximativement 3,75 degrés pour la latitude et pour la longitude. La simulation résultant du scénario 2xCO₂ (Tableau 2) montre une grande variation entre les différentes régions. Toutes les régions affichent une légère croissance ou décroissance, alors qu'une forte augmentation est anticipée dans le Nord de l'Ontario. Les changements à la hausse ou à la baisse sont

généralement les mêmes pour le scénario 3xCO₂ (Tableau 2). Les exceptions sont Prince Albert et Wood Buffalo pour lesquels un changement de 3 à 4% est prévu dans la direction opposée.

Même sous le scénario 3xCO₂, il est prévu que les futures fréquences de feu seront significativement inférieures aux fréquences historiques connues. Pour ce scénario, l'usage d'un aménagement équiennne pourrait compenser la différence entre les fréquences de feu historique et future. Cependant, ces résultats doivent être interprétés avec précaution. Premièrement, les simulations basées sur différents scénarios MCG arrivent fréquemment à des résultats différents. De plus, il serait imprudent d'extrapoler ces résultats issus de sites spécifiques à de grandes régions. En effet, les régions appartenant à une même écozone affichent une large variabilité dans leurs réponses au changement climatique. Par ailleurs, certaines régions (comme le Nord-Ouest de l'Ontario) montrent une augmentation significative de l'activité des feux. Lorsque la fréquence de feu présente ou future est plus élevée, la récolte de bois entre en compétition avec les feux de forêt pour la ressource ligneuse. Ainsi, la récolte de bois pourrait ne pas être durable sans d'importants investissements dans les efforts de suppression (active ou passive) des feux et une utilisation extensive des coupes de récupération. Cependant, la suppression des feux

présente des limites, et il est de plus en plus reconnu qu'elle n'est pas efficace dans les territoires forestiers peu accessibles, ni lorsque les conditions climatiques sont particulièrement favorables aux feux. Notre confiance dans notre efficacité à supprimer les feux est peut-être influencée par le fait que la suppression active des feux a débuté au moment où les changements climatiques étaient déjà responsables du déclin de l'activité des feux.

Conclusions

La réponse à la question *L'aménagement équienne régulé est-il la bonne stratégie pour les forêts boréales du Canada?* n'est ni un oui clair, ni un non clair. Les résultats présentés montrent que l'aménagement équienne peut potentiellement être utilisé pour recréer la structure des classes d'âge des paysages pré-industriels contrôlés par les feux dans de grandes régions de la forêt boréale canadienne. Il y a pourtant d'importantes limites à l'utilisation de systèmes de coupes totales pour cet objectif. Les coupes totales et les feux sont deux processus clairement différents (McRae et al., 2001) et un examen attentif de leurs effets respectifs sur les patrons et les processus devrait aider à définir des lignes directrices pour les coupes totales (OMNR 2001; Bergeron et al., 2002). De plus, la coupe totale ne permet pas de recréer les caractéristiques des forêts vieilles et surmatures qui pourtant occupent une grande partie de nos forêts naturelles. La diversification des pratiques sylvicoles incluant des stratégies d'aménagement inéquienne semble une avenue prometteuse. Les expériences d'aménagement inéquienne en forêt boréale sont limitées, mais attendre d'avoir toutes les réponses serait une erreur. La vitesse avec laquelle les forêts vierges disparaissent nécessite l'adoption d'une stratégie d'aménagement adaptatif.

Remerciements

Nous remercions les organisateurs de la série de conférences FILS (Université d'Alberta), en particulier Phil Comeau ainsi que les professeurs et les étudiants du Département des ressources renouvelables de l'université d'Alberta pour leur invitation et pour les discussions intéressantes et stimulantes. Les idées présentées dans cet article sont issues d'une longue collaboration avec des collègues chercheurs et aménagistes forestiers ainsi qu'avec des étudiants aux cycles avancés.

Note bibliographique :

Yves Bergeron est titulaire de la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable. Ses travaux touchent la reconstitution historique et la caractérisation des régimes naturels ou artificiels de perturbation (feux, chablis, épidémies d'insectes) qui affectent les écosystèmes forestiers. L'objectif général de la Chaire en Aménagement Forestier Durable consiste à mieux connaître les régimes de perturbations naturelles dans la forêt boréale et leurs conséquences pour ensuite appliquer les connaissances acquises aux problématiques

touchant les effets des changements climatiques et l'élaboration de stratégies pour un aménagement forestier durable. Héloïse Le Goff est étudiante au doctorat en Sciences de l'Environnement. Son projet de recherche explore l'influence du climat sur le régime de feu naturel et sur les peuplements forestiers dans le Nord de la forêt commerciale. Ce projet vise une meilleure compréhension des régimes de feu en tant que des vulnérabilités de la forêt aménagée aux changements climatiques.

Bibliographie

- Angelstam, P.K. 1998. Maintaining and restoring biodiversity in European boreal forests by developing natural disturbance regimes. *J. Veg. Sci.* 9:593-602.
- Attwill, P.M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management. *For. Ecol. Manag.* 63: 247-300.
- Bergeron, Y. 2000. Species and stand dynamics in the mixed woods of Quebec's southern boreal forest. *Ecology* 81(6): 1500-1516.
- Bergeron, Y. et Archambault, S. 1993. Decreasing frequency of forest fires in the southern boreal zone of Québec and its relation to global warming since the end of the 'Little Ice Age'. *Holocene* 3: 255-259.
- Bergeron, Y. et Dubuc, M. 1989. Succession in the southern part of the Canadian boreal forest. *Vegetatio* 79:51-63.
- Bergeron, Y., Flannigan, M., Gauthier, S., Leduc, A., et P. Lefort. 2004. Past, current and future fire frequency in the Canadian boreal forest: implications for sustainable forest management. *Ambio* 33(6):356-360.
- Bergeron, Y., Gauthier, S., Kafka, V., Lefort, P. et Lesieur, D. 2001. Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest: consequences for sustainable forestry. *Can. J. For. Res.* 31: 384-391.
- Bergeron, Y. et Harvey, B. 1997. Basing silviculture on natural ecosystem dynamics: an approach applied to the southern boreal mixedwood forest of Quebec. *For. Ecol. Manag.* 92: 235-242.
- Bergeron, Y., Harvey, B., Leduc, A. et Gauthier, S. 1999. Forest management guidelines based on natural disturbance dynamics: Stand- and forest-level considerations. *For. Chron.* 75: 49-54.
- Bergeron, Y., Leduc, A., Harvey, B.D. et Gauthier, S. 2002. Natural fire regime: A guide for sustainable management of the Canadian boreal forest. *Silva Fenn.* 36:81-95.
- Burton, P., Kneeshaw, D. et Coates, D. 1999. Managing forest harvesting to maintain old growth in boreal and sub-boreal forests. *For. Chron.* 75: 623-631.
- Flannigan, M., Campbell, I., Wotton, M., Carcaillet, C., Richard, P. et Bergeron, Y. 2001. Future fire in Canada's boreal forest: paleoecology results and general circulation model – regional climate model simulations. *Can. J. For. Res.* 31: 854-864.
- Flannigan, M.D., Stocks, B.J., Logan, K.A., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D. et Todd, J.B. 2002. Fire and climate change - where are we going. in D.X. Viegas (ed.) *Forest Fire Research & Wildland Fire Safety, Proceedings of the IV International Conference on Forest Fire Research/2002 Wildland Fire Safety Summit* (Nov. 18-23, 2002, Luso-Coimbra, Portugal). Millpress Sci. Publ., Rotterdam, Netherlands. CD-ROM. 1pp
- Foster, D.R. 1983. The history and pattern of fire in the boreal forest of southeastern Labrador. *Can. J. Bot.* 61: 2459-2471.
- Girardin, M.P., Tardif, J., Flannigan, M.D., et Bergeron, Y. 2004. Multicentury reconstruction of the Canadian drought code from eastern Canada and its relationships with paleoclimatic indexes of atmospheric circulation. *Climate Dynamics*.
- Harper, K. Boudreault, C., de Grandpré, L., Drapeau, P., Gauthier, S., et Y. Bergeron. 2003. Structure, composition and diversity of old-growth black spruce boreal forest of the clay-belt region of Quebec and Ontario. *Environ. Rev.* 11: s79-s98.
- Hunter, M.L. Jr. (editor). 1999. *Maintaining biodiversity in forest ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, England. 698pp.
- Hunter, M.L. Jr., Jacobson, G.L. et T. Webb III, 1988. Paleoecology and the coarse filter approach to maintaining biological diversity. *Conserv. Biol.* 2: 375-385.

- Kneeshaw, D., et Gauthier, S. 2003. Old growth in the boreal forest: A dynamic perspective at the stand and landscape level. *Environ. Rev.* 11:s99-s114.
- Larsen, C.P.S. 1997. Spatial and temporal variations in boreal forest fire frequency in northern Alberta. *J. Biogeogr.* 24: 663-673.
- Lefort, P., Gauthier, S. et Y. Bergeron. 2003. The influence of fire weather and land use on the fire activity on the lake Abitibi area, eastern Canada. *Forest science* 49: 509-521.
- McRae, D.J., Duchesne, L.C., Freedman, B., Lynham, T.J. et Woodley, S. 2001. Comparisons between wildfire and forest harvesting and their implications in forest management. *Environ. Rev.* 9: 223-260.
- OMNR. 2001. Forest management guide for natural disturbance pattern emulation, Version 3.1. Ont. Min. Nat. Res., Queen's Printer for Ontario, Toronto. 40 p.
- Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L. et Skinner, W.R. 2002. Large forest fires in Canada, 1959-1997. *J. Geophys. Res. – Atmospheres*, December 20 vol. 107.
- Suffling, R., Smith, B. et Dal Molin, J. 1982. Estimating past forest age distributions and disturbance rates in North-western Ontario: a demographic approach. *J. Environ. Manag.* 14: 45-56.
- Van Wagner, C.E. 1978. Age-class distribution and the forest fire cycle. *Can. J. For. Res.* 8: 220-227.
- Weir, J.M.H., Johnson, E.A. et Miyanishi, K. 2000. Fire frequency and the spatial age mosaic of the mixed-wood boreal forest in western Canada. *Ecol. Appl.* 10: 1162-1177.