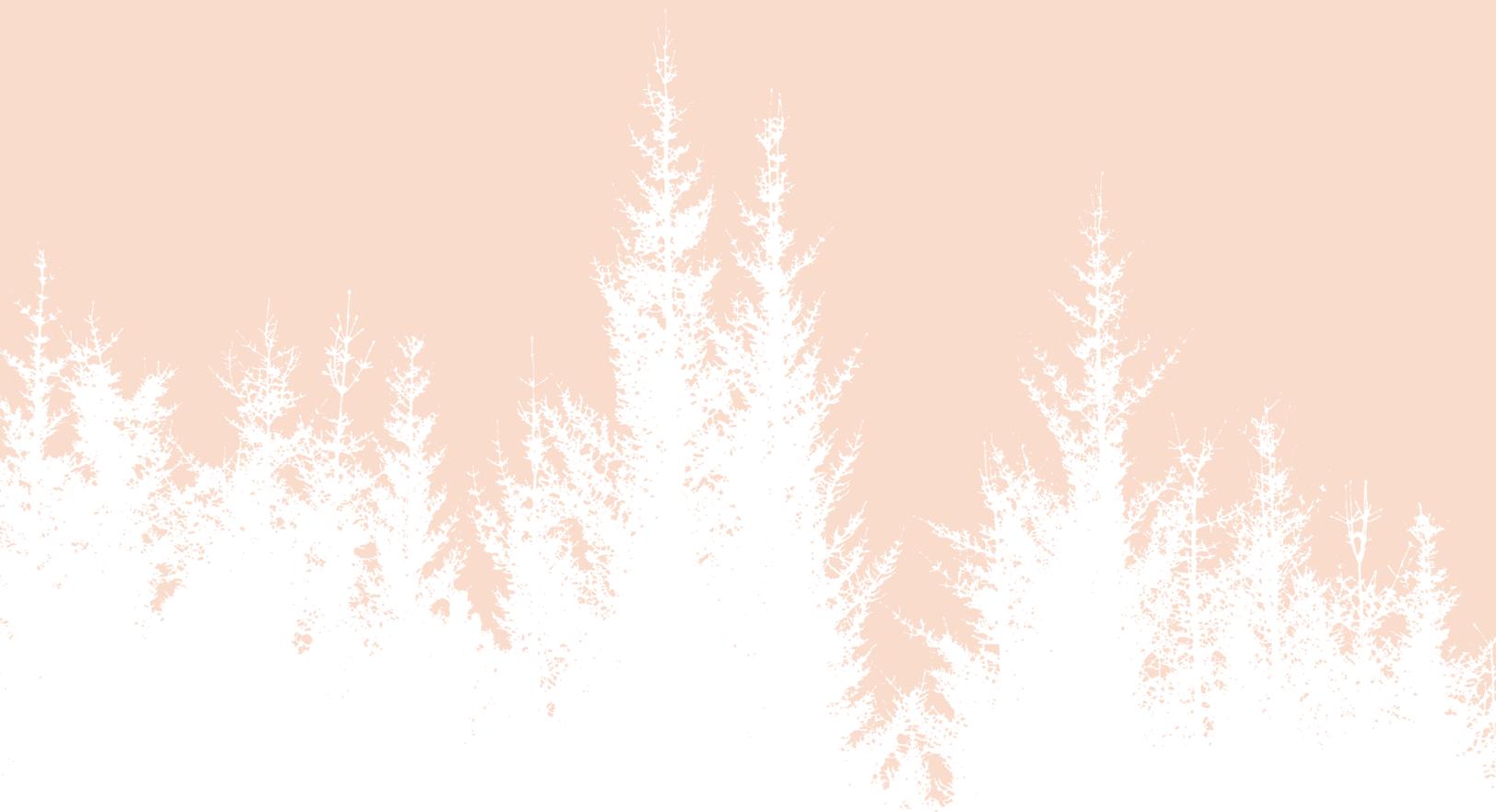




IMPACTS DES FEUX DE FORÊT

**SUR LE SECTEUR FORESTIER QUÉBÉCOIS
DANS UN CLIMAT VARIABLE ET EN ÉVOLUTION**





550 Sherbrooke Ouest, Tour Ouest,
19^e étage, Montréal (Québec) H3A 1B9, Canada

Tél. : 514 282 6464 | Téléc. : 514 282 7131

Écrit par : Geneviève Lajoie (Ouranos) et Jeanne Portier (CEF)

En collaboration avec : Daniel Houle (ministère des Forêts, de la
Faune et des Parcs – MFFP/Ouranos) et Anne Blondlot (Ouranos)



Avoir le feu sacré, en mettre sa main au feu, ne pas faire long feu. Les expressions faisant référence au feu ne manquent pas dans le langage courant. Si ces références semblent pour la plupart faire uniquement partie d'un vocabulaire usuel, le feu est une réalité bien tangible pour de nombreuses personnes vivant dans les communautés forestières. Certaines se souviendront du grand feu du Lac Smoky (Haute-Mauricie) survenu au printemps 2010, où des épisodes de foudre, une période de canicule hâtive et de grands vents ont mené à l'allumage et la propagation de plusieurs feux. En 106 jours d'activité, ce feu aura brûlé de nombreuses infrastructures et pas moins de 107 004 hectares de forêt (MRNF 2011a), soit l'équivalent de plus de deux fois l'île de Montréal. Et que dire de l'incendie de Fort McMurray qui, au printemps 2016, a brûlé plusieurs milliers d'hectares de forêt, détruit plusieurs quartiers et forcé l'évacuation de cette ville de quelque 80 000 habitants.

LE RÉGIME DE FEUX : QUELQUES DÉFINITIONS

Le régime de feux qualifie l'activité des feux d'une région donnée. Il est décliné en divers attributs relatifs aux feux, dont les principaux sont décrits dans le tableau suivant (définitions tirées de Chabot et *al.* 2009).

ATTRIBUT	DÉFINITION
Superficie brûlée annuellement	Moyenne de la superficie brûlée annuellement dans une région donnée pour une période de temps donnée.
Occurrence	Nombre de feux ayant eu cours pendant un temps donné, dans un territoire donné, peu importe leur taille.
Intervalle moyen	Moyenne des intervalles entre deux feux au même endroit, calculée à différents sites sur une période de temps donnée.
Cycle de feux	Temps requis pour brûler une superficie équivalente à la superficie de l'aire étudiée.
Intensité	Force physique exercée par le feu par unité de surface et de temps.
Sévérité	Effet d'un feu sur les organismes vivants (par exemple, mortalité) et sur la matière organique au sol (épaisseur brûlée).

LA GESTION DE LA FORÊT ET DES FEUX AU QUÉBEC

Bien que certains feux puissent être dévastateurs pour les communautés, ils sont toutefois indispensables au fonctionnement, à la productivité et à la régénération de la forêt boréale en milieu naturel (Bonan et Shugart 1989). L'aménagement écosystémique des forêts adopté au Québec favorise des stratégies d'aménagement et de traitements sylvicoles qui s'inspirent de l'effet des feux sur les forêts et qui maintiennent ainsi la diversité spatiale et la structure d'âge naturelles dans les paysages forestiers aménagés (Gauthier et al. 2008). En adoptant de telles pratiques d'exploitation, on peut répondre aux besoins socio-économiques du secteur forestier québécois tout en assurant une gestion durable et un maintien de la biodiversité de nos forêts (Bergeron et al. 1998).

Au Québec, la gestion des feux de forêt incombe au ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP). Toutefois, la majorité des responsabilités opérationnelles de protection contre les feux de forêt est confiée à la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU), organisation employant une gamme d'experts en météorologie et en prévention, détection et extinction des feux (voir encadré). Il existe présentement deux zones distinctes de gestion du feu : la zone de protection intensive incluant les forêts publiques et privées sous aménagement et dans laquelle tous les feux sont combattus de façon systématique, et la zone de protection nordique où les interventions ne sont effectuées que dans le cadre d'ententes ou en soutien à la sécurité civile (MFFP 2016a). De 2007 à 2016, 615 000 hectares ont brûlé sur les 42,4 millions d'hectares de forêt aménagée, soit une moyenne annuelle de près de 61 500 hectares (statistiques de la SOPFEU). Une grande variabilité dans la superficie brûlée annuellement a toutefois été observée pendant cette période, atteignant plus de deux fois la moyenne annuelle lors d'années de grands feux (voir la Figure 1).

LA PROTECTION DES FORÊTS CONTRE LES FEUX EN QUATRE TEMPS

Au Québec, la SOPFEU assure la protection des forêts contre les incendies. Elle dispose pour cela d'experts répartis dans divers secteurs d'activité, notamment les suivants (pour plus d'information, voir <http://sopfeu.qc.ca/fr/sopfeu/organisation/organisation>) :

A – MÉTÉOROLOGIE

Le service de météorologie recueille et analyse les données météorologiques d'environ 200 stations réparties à travers le territoire, permettant de calculer des indices de danger d'incendie à l'échelle de la province et de déterminer les zones à risque.

B – PRÉVENTION ET INFORMATION

Le service de la prévention et de l'information travaille à informer la population des situations à risque pour le déclenchement des feux ainsi que des mesures préventives à mettre en œuvre afin de diminuer l'occurrence des feux d'origine humaine.

C – DÉTECTION

Les avions de détection ont pour objectif de trouver les incendies avant qu'ils n'atteignent une taille de 0,5 hectare. Ils volent au-dessus de la forêt pour localiser des fumées suspectes, selon des circuits établis en fonction des dangers d'incendies, de la foudre et des conditions météorologiques.

D – EXTINCTION

Le service d'extinction vise à éteindre les feux avant qu'ils n'atteignent une taille de 3 hectares. Afin de limiter la progression de l'incendie, la SOPFEU déploie d'abord des avions-citernes amphibies rapides et efficaces dans un territoire où les plans d'eau sont abondants. Les pompiers forestiers peuvent ensuite être déployés sur terre afin de combattre et éteindre complètement le feu, notamment à l'aide de motopompes et de machinerie lourde.

LE CLIMAT ET LES FEUX, UNE RELATION DE LONGUE DATE

UN RÉGIME DE FEUX VARIABLE DANS LE TEMPS ET DANS L'ESPACE

Loin d'être uniforme dans le temps et dans l'espace, le régime de feux a évolué depuis des millénaires sur le territoire québécois, notamment en réponse aux variations climatiques observées à large échelle (Ali et al. 2009). À l'échelle centennale, des études dendrochronologiques analysant les tendances historiques relatives à la présence de feux dans le paysage révèlent que le cycle de feux s'est allongé au Québec depuis le milieu du 19^e siècle, période correspondant à la fin du Petit Âge glaciaire. Dans la forêt boréale de l'Abitibi et du centre du Québec, le cycle de feux est passé de 70 à 80 ans avant 1850, de 90 à 150 ans entre 1850 et 1920, et de 190 à 330 ans entre 1920 et 1999 (Bergeron et al. 2001). Cette diminution de l'activité des feux est attribuée principalement à une réduction des périodes de sécheresse (Bergeron et Archambault 1993) et possiblement à l'emploi de meilleures méthodes et à des investissements plus importants dans le contrôle des feux au cours du 20^e siècle (Bergeron et al. 2006). Depuis les années 1970, en marge d'un réchauffement de la température (Girardin et al. 2007, Ouranos 2015), on observe une tendance à la hausse de la superficie brûlée au Canada (Girardin et al. 2007).

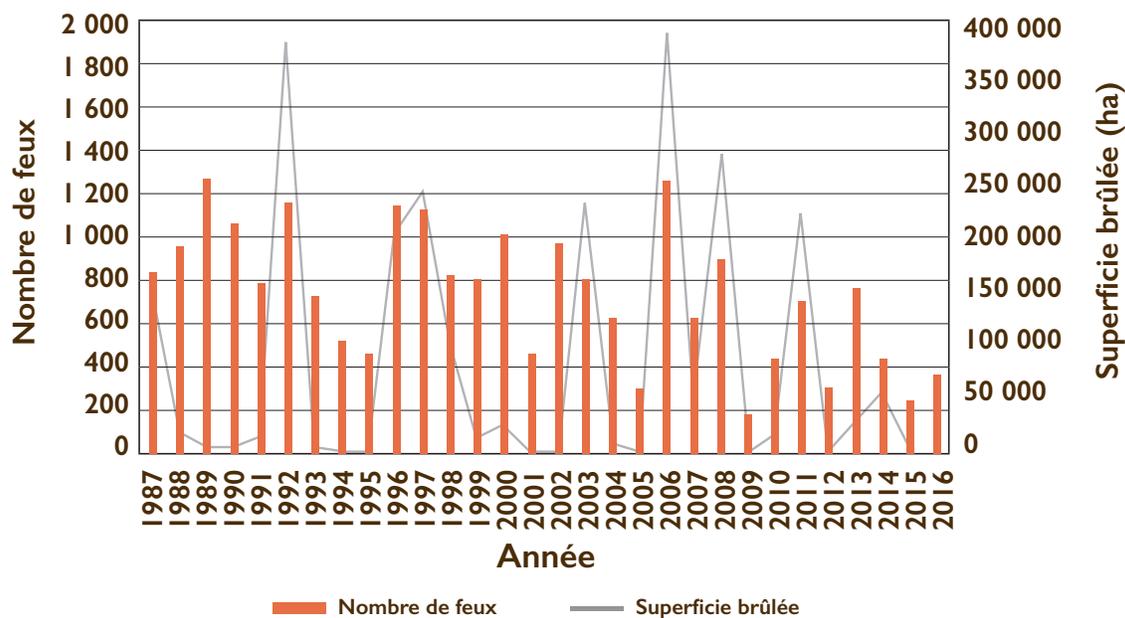


Figure 1. Nombre de feux de forêt répertoriés et superficies touchées (ha) de 1987 à 2016 dans la zone de protection intensive (tiré de MFFP 2017).

Localement, les conditions météorologiques constituent un déterminant majeur des régimes de feux de forêt (voir la Figure 2; Flannigan et Wotton 2001). Des températures élevées sont associées à des événements de foudre plus fréquents, qui sont les principaux déclencheurs naturels des feux de forêt (Flannigan et al. 2005). De plus, la température, les précipitations, l'humidité relative, la stabilité atmosphérique ainsi que les vents influencent l'humidité des combustibles d'une forêt. Par exemple, des températures élevées, conjuguées à de faibles précipitations, assèchent les combustibles forestiers et créent des conditions plus favorables à la combustion et à la propagation (Flannigan et al. 2005). Des conditions venteuses peuvent accentuer cet assèchement, particulièrement en forêt ouverte, et augmenter la vitesse et la capacité de propagation des feux (Ryan 2002).

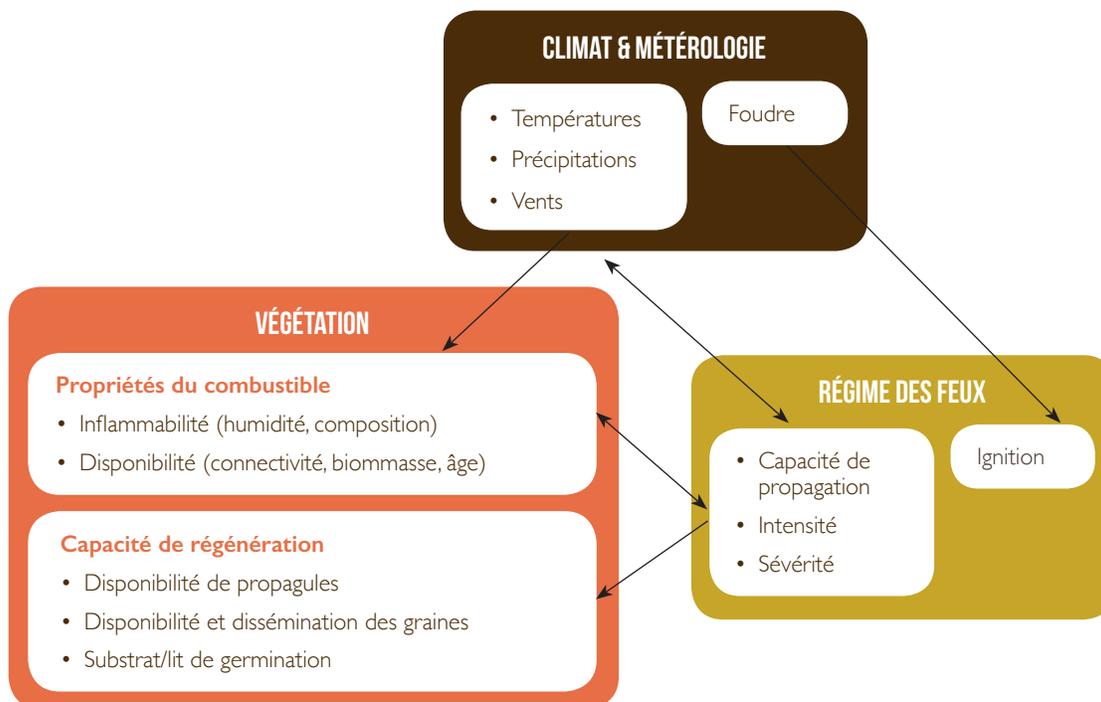


Figure 2. Cadre conceptuel présentant les relations entre le climat, la végétation et les régimes de feux.

Au Québec, les cycles de feux raccourcissent du sud-est au nord-ouest de la province selon un gradient de conditions climatiques allant de très humides sur la Côte Nord à relativement sèches à la Baie James. Les conifères, qui sont beaucoup plus inflammables que les feuillus, sont bien plus abondants au nord qu'au sud et accentuent par conséquent l'influence du climat sur le gradient nord-sud de l'activité des feux (Marchal et al. 2017). Ainsi, l'activité des feux varie d'une région à l'autre selon les conditions climatiques auxquelles elles sont soumises et le type de forêts qu'on y retrouve (voir la Figure 3). Les plus grandes superficies brûlées observées entre 2005 et 2014 se retrouvent en effet dans les régions du Saguenay-Lac-St-Jean et du Nord-du-Québec (MFFP 2015).

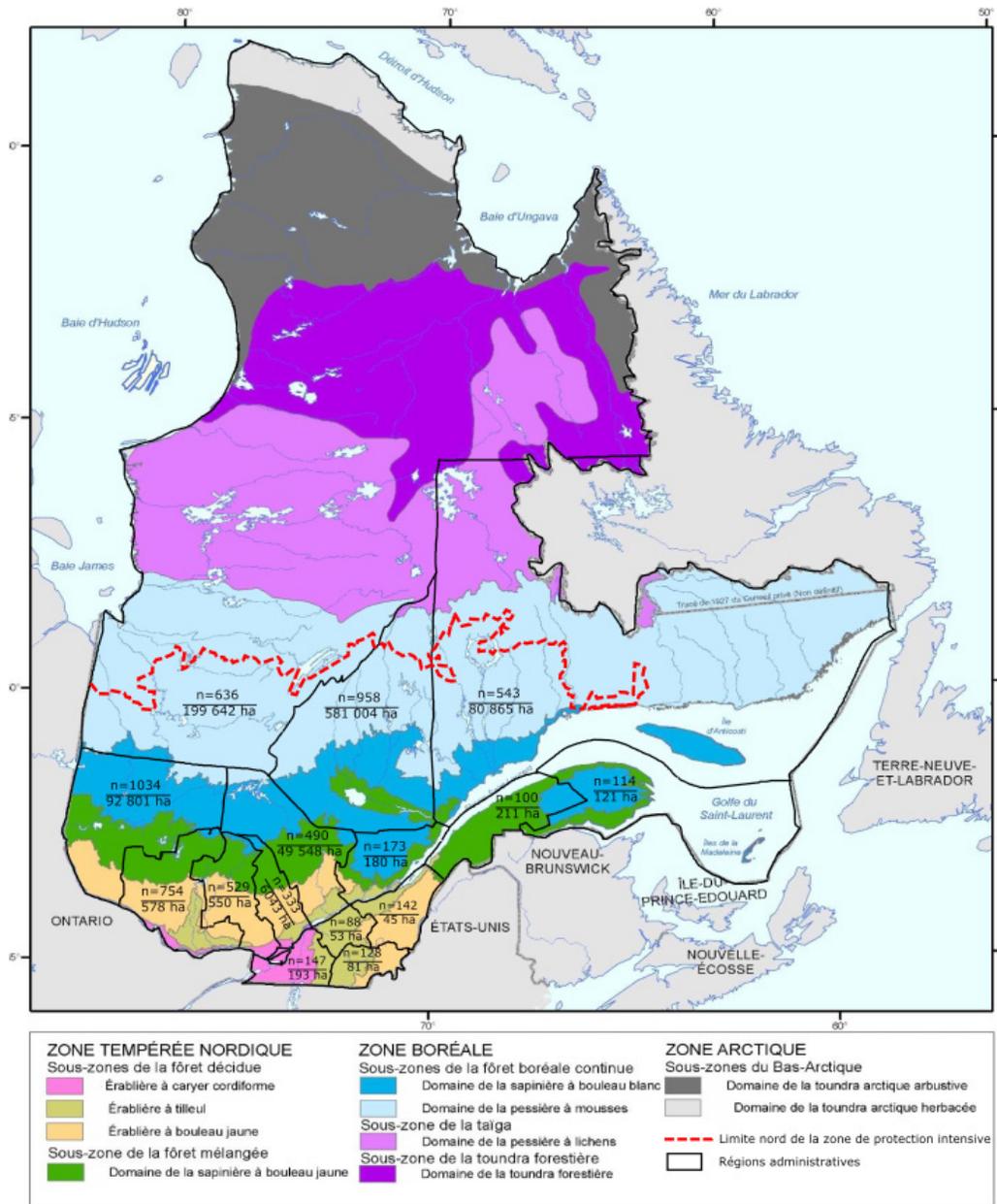


Figure 3. Variation du nombre (n) de feux (numérateur) et de la superficie brûlée totale (ha; dénominateur) dans les régions administratives du Québec de 2005 à 2014. Adaptée de MFFP (2015).

CHANGEMENTS CLIMATIQUES : QUELS EFFETS SUR LES RÉGIMES DE FEUX ?

RISQUE DE FEUX DE FORÊT VA-T-IL AUGMENTER DANS LE FUTUR ?

Au Canada, les prévisions climatiques pour le prochain siècle annoncent une augmentation des températures, mais aussi des précipitations (Price et al. 2013). Cependant, la hausse des précipitations ne compenserait pas l'augmentation des températures, entraînant ainsi des conditions plus sèches favorisant l'assèchement des combustibles, l'allumage des feux et une intensification des régimes de feux (Flannigan et al. 2016). Dans l'est du Canada, le nombre de feux et la superficie brûlée annuellement pourraient augmenter considérablement d'ici la fin du 21^e siècle, en comparaison à la période de référence 1981-2010 (voir la Figure 4; Ressources naturelles Canada 2016). L'augmentation du nombre de feux et de la surface brûlée serait surtout observée en juillet et en août, en lien avec une fréquence accrue d'événements de sécheresse projetée durant ces mois (Boulanger et al. 2014). Cette augmentation, bien que n'excédant pas les régimes de feux naturels en forêt boréale qui prévalaient pendant le Petit Âge glaciaire (Bergeron et al. 2001), constitue un enjeu majeur pour la gestion du territoire. La hausse des températures attendue devrait également réduire la portion de l'année où le sol est enneigé et ainsi rallonger la période où les conditions sont propices au déclenchement et à la propagation des feux (Price et al. 2013). On prévoit donc un allongement de la saison des feux pour l'ensemble du Canada, atteignant jusqu'à un mois de plus dans certaines zones du Québec d'ici 2100 (Boulanger et al. 2013).

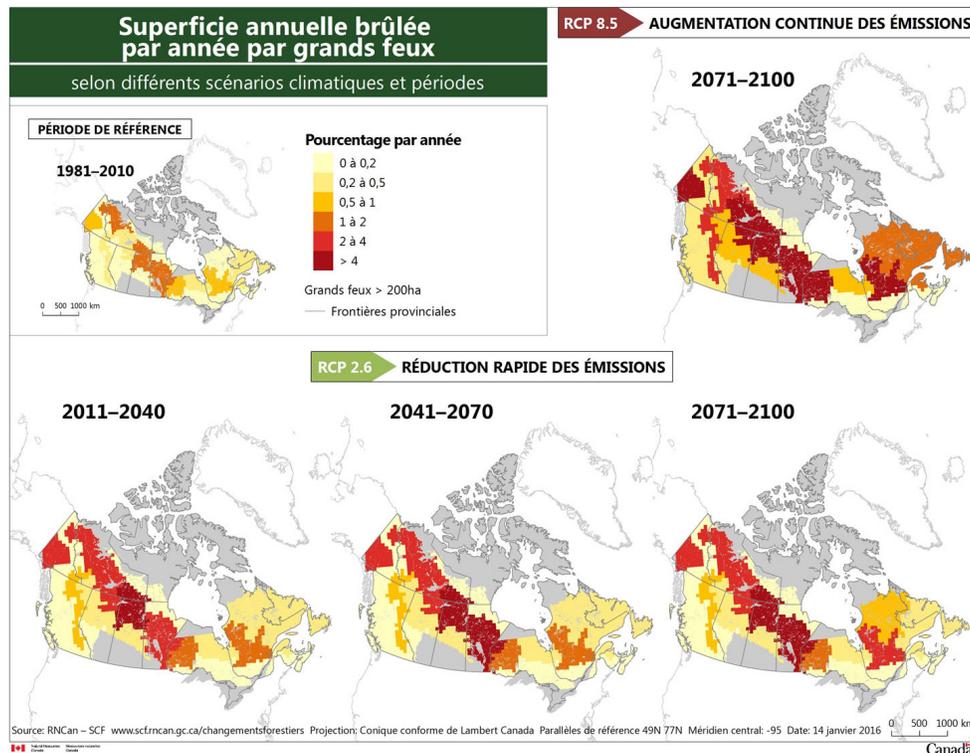


Figure 4. Superficie brûlée annuellement par les grands feux (>200 ha) au cours de la période de référence et projetée à court, moyen et long terme selon deux scénarios de réduction des émissions (en pourcentage de la superficie totale). Ressources naturelles Canada (2016).

QUELLES SERONT LES RÉGIONS LES PLUS AFFECTÉES DANS LE FUTUR ?

Ces projections de changements dans les régimes de feux en réponse aux changements climatiques suggèrent une importante variabilité spatiale à court et moyen terme (voir la Figure 4 ; Boulanger et al. 2013). Au Québec, les températures de printemps devraient augmenter de façon plus importante au nord qu'au sud (Ouranos 2015) et l'augmentation des précipitations, bien que majoritairement concentrée durant la période hivernale, devrait être plus prononcée dans l'est que dans l'ouest (Ouranos 2015, Flannigan et al. 2016). Conséquemment, l'occurrence des feux et la superficie brûlée annuellement devraient augmenter davantage dans l'ouest et dans le nord que dans le sud-est (voir la Figure 4 ; Ressources naturelles Canada 2016).

Bien que ces projections dressent un portrait plausible de l'activité future des feux de forêt au Québec, une incertitude demeure quant aux changements appréhendés. Ceux-ci varient entre autres en fonction des périodes de référence et des scénarios futurs d'émissions de CO₂ utilisés pour réaliser les simulations, des combustibles qui seront disponibles dans le futur, de l'intégration des rétroactions de la végétation sur les régimes de feux, de notre capacité présente et future de lutte contre les feux, etc. (Girardin et al. 2013). La prudence est de mise dans l'interprétation de telles projections qui indiquent des tendances attendues plutôt qu'une représentation exacte du futur.

INTENSIFICATION DES RÉGIMES DE FEUX : QUELS IMPACTS POUR LA FORÊT ET LE SECTEUR FORESTIER QUÉBÉCOIS ?

IMPACTS SUR LA STRUCTURE ET LA COMPOSITION DE LA FORÊT

Les feux sont d'importants déterminants de la structure d'âge des peuplements forestiers, brûlant différentes sections du paysage d'année en année et faisant ainsi cohabiter des peuplements d'âges différents. Ainsi, une augmentation de l'activité des feux pourrait tout d'abord mener à une réduction de la biomasse forestière, accompagnée d'un rajeunissement de la forêt. Une telle diminution de la proportion de vieilles forêts dans le paysage constitue un enjeu majeur puisque ces dernières renferment une biodiversité considérable lui étant exclusivement associée (Bergeron et al. 2006).

Une intensification des régimes de feux pourrait avoir des répercussions importantes sur la composition forestière. Les espèces d'arbres que l'on retrouve dans la forêt québécoise ne réagissent pas toutes de la même manière au passage d'un feu. En particulier, des modifications dans la sévérité des feux pourraient affecter l'épaisseur de brûlage de la matière organique du sol et donc la qualité du lit de germination (Johnstone et Chapin 2006). En effet, la germination des graines est optimale sur des sols minéraux exposés suite à des feux de grande sévérité. Certaines espèces bien adaptées aux feux, comme l'épinette noire et le pin gris, produisent des graines qui résistent aux feux, leur permettant de se reproduire facilement après un feu (voir l'encadré « Faire feu de tout (son) bois »). Ces espèces seraient donc peu pénalisées par l'occurrence accrue de grands feux sévères, à condition que ceux-ci soient suffisamment espacés pour que les arbres atteignent leur maturité reproductive (De Groot et al. 2013). Cela se produit cependant plus tôt chez le pin gris que chez l'épinette noire (Burns et Honkala 1990), lui procurant un certain avantage dans un contexte d'augmentation de

l'occurrence des feux. Le sapin baumier est quant à lui favorisé dans les régions soumises à de très longs intervalles entre les feux, et pourrait donc voir sa présence réduite dans les peuplements. Finalement, les espèces feuillues – principalement peuplier faux-tremble et bouleau à papier – sont capables de recoloniser une zone brûlée très rapidement après un feu. La régénération peut alors se faire à partir d'individus en bordure de la zone brûlée. Autrement, si le feu n'a pas été trop sévère et qu'il a laissé intacte une certaine épaisseur du sol, elle pourra se faire grâce à la capacité de ces individus de se régénérer végétativement à partir de leurs racines. Si l'augmentation de l'occurrence des feux ne permet pas aux espèces résineuses d'atteindre leur maturité reproductive, on pourra s'attendre à une augmentation de la proportion de feuillus dans le paysage (De Groot et al. 2013). Inversement, un feu de faible sévérité laissera plusieurs îlots d'arbres non touchés dans le paysage, favorisant un retour au moins partiel à la composition d'origine. La Figure 5 présente différents scénarios d'évolution de la composition et de la régénération pour un peuplement en forêt boréale mixte québécoise, dominé par l'épinette noire ou le pin gris, sous l'effet de modifications de la sévérité et de l'occurrence des feux.

LE CAS DES LANDES À LICHENS

Des perturbations successives par le feu peuvent mener à des accidents de régénération, c'est-à-dire des situations où, comme les feux se succèdent trop rapidement pour permettre aux arbres d'atteindre leur maturité reproductive, la forêt ne peut pas se régénérer. La forêt de conifères fermée se transforme alors en forêt ouverte colonisée par des lichens et des éricacées (Girard et al. 2008). Avec l'augmentation attendue de l'occurrence des feux, on s'attend à ce que la proportion de forêts ouvertes à lichens, qui a déjà augmenté de 9% dans la seconde moitié du 20^e siècle (Girard et al. 2008), augmente également.

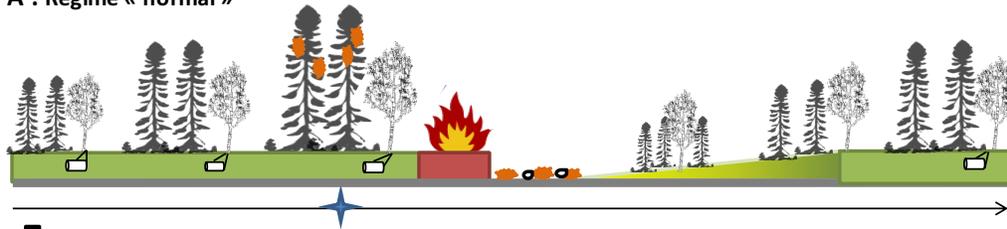


FAIRE FEU DE TOUT (SON) BOIS

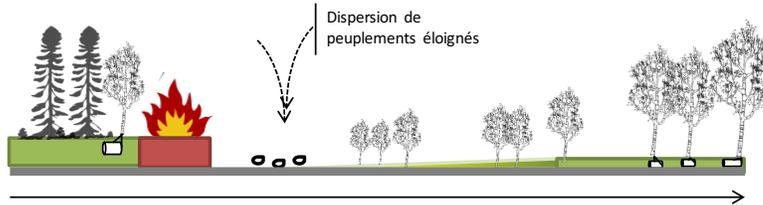
Afin de maximiser leurs chances de régénération après-feu, certaines espèces d'arbres (ex : pin gris, épinette noire) possèdent des cônes dit «sérotineux» qui ne s'ouvrent que lorsqu'ils sont exposés à une température élevée, permettant ainsi la libération des graines et l'établissement rapide de semis après un feu. Ces espèces présentent également une structure de canopée favorisant la propagation du feu à leur cime et aux arbres environnants (Bonan et Shugart 1989). De ce fait, elles maximisent l'intensité de la combustion, permettant : 1) d'augmenter les chances d'atteindre des températures suffisamment élevées pour stimuler l'ouverture de leurs cônes, et 2) de brûler entièrement la couche organique du sol et d'exposer la couche minérale sur laquelle les plantules croîtront le mieux.

Quant à l'épinette noire, le maintien des branches mortes s'étageant tout au long du tronc transforme ces arbres en véritables torches (Bonan et Shugart 1989).

A : Régime « normal »



B : Augmentation de la fréquence



C : Augmentation de la fréquence et diminution de la sévérité

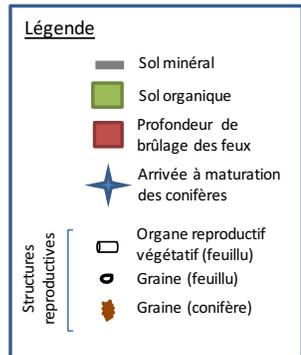
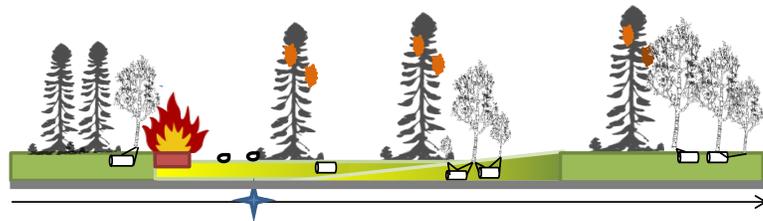


Figure 5. Impacts d'un changement de régime de feux sur la composition et la régénération forestière en forêt boréale mixte à dominance de conifères. La profondeur de brûlage indique la sévérité du feu (la sévérité augmente avec la profondeur de brûlage). Le schéma B illustre les effets d'une augmentation de l'occurrence (le feu arrive plus tôt sur l'axe du temps) et un maintien de la sévérité. Le schéma C représente une augmentation de l'occurrence et une diminution de la sévérité. Adaptée de Johnstone et al. (2010).

RÉTROACTIONS DE LA COMPOSITION ET DE LA STRUCTURE D'ÂGE DES PEUPEMENTS SUR LE RÉGIME DES FEUX

La modification de la composition et de la structure d'âge des peuplements peut à son tour influencer l'activité des feux en forêt. Par exemple, en rajeunissant l'âge moyen des peuplements, le feu réduit la quantité de combustible disponible. De plus, l'augmentation attendue de la proportion de feuillus dans le paysage devrait limiter la capacité de propagation des feux, puisque ces espèces sont beaucoup moins inflammables que les résineux (Marchal et al. 2017). Ainsi, ces boucles de rétroaction devraient freiner l'intensification des régimes de feux (voir la Figure 2).

À plus grande échelle, la topographie a elle-même une influence sur la taille et la sévérité d'un feu en influençant la connectivité du paysage. Les terrains accidentés et les lacs limitent la propagation des feux (Bergeron et al. 2004; Cyr et al. 2007). Par contre, les flancs de colline exposés au sud, plus chauds et secs, sont de ce fait plus sensibles au feu (Beaty et Taylor 2008).

QUELS SONT LES ENJEUX ASSOCIÉS À L'INTENSIFICATION DES RÉGIMES DE FEUX DE FORÊT POUR LE SECTEUR FORESTIER ET LES COMMUNAUTÉS ?

Le Tableau I résume les enjeux présentés dans cette section.

AMÉNAGEMENT FORESTIER DURABLE

L'aménagement écosystémique vise à assurer la durabilité de l'aménagement forestier en réduisant les différences entre forêts naturelles et forêts aménagées. Plus concrètement, cet aménagement se base sur la variabilité naturelle historique de la forêt pour faire en sorte que la somme des superficies prélevées annuellement par les feux et par les coupes ne dépasse pas la superficie qui était prélevée annuellement par les feux dans le passé (Gauthier et al. 2008). De cette façon, les coupes remplacent les feux afin de conserver la structure d'âge passée de la forêt. Une intensification des régimes de feux de forêt au Québec entraînera davantage de biomasse forestière brûlée chaque année, rajeunira la forêt et touchera davantage de peuplements n'ayant pas atteint leur maturité commerciale (Bergeron et al. 2017). La conséquence principale pour l'aménagement sera donc de diminuer la superficie forestière disponible pour l'aménagement, rendant ainsi plus difficile un approvisionnement constant et soutenu en bois à long terme (Bergeron et al. 2017), en particulier pour les régions les plus touchées (voir le Tableau 1).

Une intensification des régimes de feux risque également de perturber l'atteinte d'autres objectifs liés à l'aménagement écosystémique, notamment en réduisant la proportion de vieilles forêts dans le paysage qui assurent le maintien d'une importante biodiversité et de nombreux services écologiques (Bergeron et al. 2017).

L'augmentation de la proportion d'espèces feuillues et de landes à lichens dans le paysage constitue un enjeu supplémentaire pour l'aménagement. En effet, elle entraîne une diminution de la proportion de peuplements visés par le secteur forestier, ciblant principalement la récolte d'épinette noire, mais aussi de pin gris et de sapin baumier (Conseil de l'industrie forestière du Québec). Les conséquences sur les revenus liés à l'exploitation des forêts pourraient donc être importantes.

Enfin, la gestion de la régénération après feu constitue un sous-enjeu important relatif au maintien de la production forestière, dans la mesure où celle-ci est sensible à la fois à une accentuation du régime des feux et à la fréquence des épisodes de sécheresse (voir Lajoie et al. 2016).

OPÉRATIONS FORESTIÈRES

L'augmentation des périodes de sécheresse devrait mener à une hausse des restrictions sur les opérations forestières en présence d'indices de feux élevés pendant l'été, rendant plus difficile la réalisation des activités estivales d'entretien et d'aménagement forestier. Le raccourcissement de la période de récolte hivernale due au réchauffement climatique augmentera pour sa part la difficulté de compléter les coupes en hiver.

SUPPRESSION DES FEUX

Bien que des investissements plus élevés dans la protection de la forêt contre les feux pourraient permettre de réduire sensiblement les superficies brûlées, la hausse des coûts de contrôle des feux demeure une préoccupation majeure (Price et al. 2013). De plus, certaines études mettent en garde contre la possibilité que les agences de protection ne soient pas capables de faire face aux risques futurs, laissant échapper un nombre grandissant de feux tous les ans (De Groot et al. 2013). Par ailleurs, une certaine hétérogénéité spatiale dans la réponse du régime des feux aux changements climatiques pourrait induire une redéfinition des priorités de protection ou de territoires à préserver dans le futur.

SANTÉ ET SÉCURITÉ DES COMMUNAUTÉS

Outre ses impacts sur la santé de l'industrie forestière, qui constitue un important pourvoyeur d'emplois au Québec, un des plus importants enjeux liés à une intensification des régimes de feux de forêt est l'augmentation des risques pour la santé et la sécurité des communautés forestières (Gauthier et al. 2014). Les deux principales menaces sont la destruction des infrastructures et l'émission de fumée (Oshanski et al. 2015). La fumée, constituée de gaz et de petites particules pouvant pénétrer dans les poumons, peut notamment causer l'irritation des yeux et des voies respiratoires, exacerber l'asthme, déclencher des bronchites et accentuer les risques de mortalité liés à des maladies respiratoires et cardiovasculaires (Agence de la santé publique du Canada 2015). Les enfants, les personnes âgées ou les personnes ayant des problèmes de santé chroniques sont les plus vulnérables face à ce phénomène. Les communautés isolées sont particulièrement vulnérables aux feux (Berry et al. 2014) parce qu'elles ont un accès moins facile aux soins de santé et des contraintes plus importantes en matière d'évacuation de la population.

En plus des pertes économiques dues à la destruction de bâtiments, une augmentation de l'aire affectée par les feux à proximité des communautés forestières peut accroître leur précarité économique en diminuant les revenus de l'exploitation forestière, et dans une moindre mesure, en réduisant l'offre récréotouristique (Williamson et al. 2007). La spécialisation de la force de travail locale dans le domaine forestier risque aussi de rendre certaines communautés particulièrement vulnérables aux fluctuations des volumes de bois récoltables.

Tableau 1. Enjeux forestiers et sociaux pouvant émerger d'une accentuation du régime des feux de forêt au Québec (voir le texte pour références).

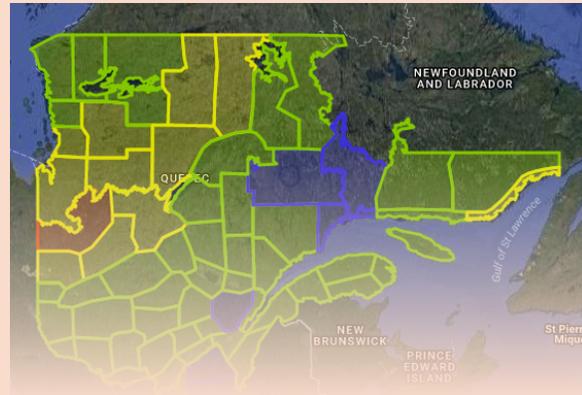
DOMAINE D'ACTIVITÉ	LISTE DES ENJEUX
Aménagement et planification	Assurer un aménagement forestier durable permettant le maintien de la structure d'âge de la forêt.
	Assurer des revenus constants et durables pour le secteur forestier.
	Maintenir une capacité de suppression des feux suffisante pour limiter les pertes en bois.
	Prendre en compte l'hétérogénéité dans la réponse du régime des feux aux changements climatiques.
	Maintenir les services écologiques liés à la mise en œuvre de l'aménagement écosystémique.
Opérations forestières	Accomplir les opérations forestières estivales malgré des périodes allongées de restrictions d'activité dues aux risques accrus de feux.
	Accomplir les travaux sylvicoles hivernaux pendant de plus courtes saisons où le sol est gelé.
Santé et sécurité	Maintenir la santé et la sécurité des communautés.
	Contrebalancer l'accroissement de la précarité économique lié à la diminution des revenus de l'exploitation forestière.

OPTIONS D'ADAPTATION

De façon à augmenter la capacité d'adaptation du secteur forestier à une augmentation de l'activité des feux, il apparaît primordial de mieux informer les divers acteurs impliqués des risques associés ainsi que des outils permettant d'y faire face (Davidson et al. 2003). Cela peut s'effectuer par l'intermédiaire de documents de vulgarisation comme celui-ci, tout comme par une meilleure communication des connaissances produites par la communauté scientifique en recherche forestière. À l'inverse, il serait nécessaire de mieux comprendre et cibler les perceptions et besoins des acteurs forestiers vis-à-vis des changements climatiques en matière d'information et d'adaptation (Bélanger et al. 2015). Face à une intensification des régimes de feux, plusieurs stratégies d'adaptation existent pour le secteur forestier, dont certaines sont déjà mises en œuvre à l'heure actuelle. Ces options d'adaptation, touchant à l'aménagement et à la planification des forêts, peuvent viser d'une part à limiter l'occurrence des feux et les superficies brûlées et d'autre part, à minimiser les pertes de stocks forestiers dues aux feux.

ADAPTER LES POSSIBILITÉS FORESTIÈRES AUX CONDITIONS FUTURES

L'aménagement écosystémique stipule que les coupes devraient permettre de conserver la structure d'âge naturelle passée de la forêt et ainsi la proportion de vieilles forêts (Gauthier et al. 2008). Puisque les feux risquent de prélever des superficies forestières plus importantes dans le futur, la superficie dédiée aux coupes devrait donc diminuer en proportion. La première disposition à prendre face à l'augmentation de l'activité des feux serait la prise en compte des risques de feux futurs dans le calcul des possibilités forestières, menant ainsi à la réduction des superficies allouables aux coupes (Bergeron et al. 2017). Cependant, les pertes en bois en découlant devront être compensées, par exemple en maximisant la valeur du bois récolté (plus grosses tiges, différents procédés de traitement du bois, etc.), ou encore en réalisant des coupes partielles (Bergeron et al. 2017).



S'INFORMER EN TEMPS RÉEL

Vous avez besoin d'information sur l'activité des feux de forêt en temps réel? Des cartes interactives sont mises à jour quotidiennement pour suivre l'évolution du nombre de feux et de la superficie brûlée pendant la saison courante des feux de forêt. Retrouvez ces cartes, ainsi que des statistiques sur les feux de forêt des saisons passées, sur le site du Système canadien d'information sur les feux de végétation (SCIFV) et sur celui de la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU). Ces deux sites diffusent également, chaque jour, des avis sur les dangers d'incendie. À consulter avant toute sortie en forêt pour des citoyens avisés!

Site du SCIFV : <http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/accueil>

Site de la SOPFEU : <http://www.sopfeu.qc.ca/>

La SOPFEU propose également une application mobile gratuite qui permet de suivre l'état de la situation et les dangers d'incendie dans votre secteur en temps réel.

FAVORISER LES COUPES DE RÉCUPÉRATION

La récupération du bois après le passage d'un feu constitue une mesure efficace d'atténuation des pertes qui est déjà mise en œuvre avec succès au Québec (MRNF 2011b). Elle permettrait de réduire la fréquence des périodes de déficit en bois causées par l'augmentation de l'activité des feux, bien qu'elle ne les compenserait pas totalement (Leduc et al. 2015). La qualité et la quantité de bois récupérable dépendent cependant de la sévérité du feu et de l'âge du peuplement qui a brûlé. La récupération du bois dans les brûlis de forêts surannées ou matures est particulièrement avantageuse comparativement aux forêts jeunes dont le bois est encore inutilisable commercialement (Leduc et al. 2015). Dans les cas où le bois récupéré n'est pas convenable pour l'industrie à laquelle il est normalement destiné, il peut néanmoins être réutilisé pour la production de bioénergie (Bernier et Schoene 2009).

Il reste que la récupération du bois requiert la mobilisation rapide de main d'œuvre et d'équipement spécialisé coûteux, de même que de nombreuses infrastructures telles que de nouveaux chemins forestiers, ce qui peut en diminuer la rentabilité pour des feux de faible envergure (Le Goff et al. 2005).

Le coût du transport du bois pourrait aussi augmenter le coût d'exploitation de la ressource dans les coupes de récupération si celles-ci sont en régions éloignées et difficilement accessibles (Gauthier et al. 2014; Leduc et al. 2015).

RÉDUIRE LES RISQUES D'ALLUMAGE D'ORIGINE HUMAINE

L'Homme peut agir préventivement sur le risque de déclenchement de feux en diminuant les sources d'allumage anthropiques. La lutte contre les feux de forêt au Québec prévoit actuellement la mise en œuvre de mesures préventives, telles que la suspension de la délivrance des permis de brûlage, l'interdiction de faire des feux à ciel ouvert ou l'interdiction de l'accès et de la circulation en forêt lorsque le risque de feu est élevé (MFFP 2016a). Dans ces situations, les opérations forestières réalisées au moyen de machinerie sont également suspendues. Par ailleurs, la SOPFEU réalise des campagnes de sensibilisation afin de responsabiliser le public aux dangers d'allumage de feux de forêt.



L'HOMME SOUS LE FEU DES PROJECTEURS

Au Québec, 73% des feux de forêt sont causés par l'activité humaine, totalisant toutefois seulement 17% de la superficie totale des forêts brûlées chaque année (statistiques sur la période 1985-2004). Ces feux de nature anthropique sont répartis entre les feux causés par les activités non commerciales (incendiaires, récréatives et résidentielles – 57%) et par les activités commerciales (opérations forestières, industrielles et ferroviaires – 16%) (MFFP 2016b). Dans les activités les plus à risque, on retrouve les feux de feuilles et de branches mortes, les feux de camp, ainsi que les articles de fumeurs (allumettes, cigarettes) utilisés en forêt.

RÉDUIRE LA CAPACITÉ DE PROPAGATION DES FEUX

Augmenter la proportion de feuillus

Certaines études suggèrent d'augmenter la proportion de feuillus, espèces moins inflammables, dans les peuplements afin de réduire les risques de propagation des feux (Girardin et Terrier 2015, Marchal et al. 2017). Cela peut être réalisé en favorisant l'implantation de peuplements mixtes dans les forêts de conifères au moyen d'une régénération artificielle. Il est cependant indispensable non seulement d'évaluer au préalable la capacité de la forêt résineuse à supporter une plus importante proportion d'espèces feuillues, mais aussi d'évaluer les conséquences économiques d'une telle mesure.

Réduire le combustible disponible

L'activité des feux peut être contrôlée en modifiant la connectivité et la quantité de combustible dans la forêt exploitée, mais ce type de contrôle peut être plus difficile à mettre en œuvre au Québec étant donné la grande superficie des terres forestières exploitées. D'abord, une diminution de la connectivité des parterres de coupe, permettant de répartir plus également les jeunes forêts moins inflammables dans le paysage, peut aider à diminuer les risques de propagation du feu, et donc la superficie brûlée (Le Goff et al. 2005). Il ne faut cependant pas négliger les impacts négatifs de la fragmentation du territoire sur la faune, et davantage de connaissances doivent être acquises avant que ce type de mesures soit mis en place. Ensuite, bien qu'utilisé de façon marginale au Québec en raison des risques qu'il comporte et de la logistique complexe qu'il requiert (Le Goff et al. 2005), le brûlage dirigé tel que le brûlage des déchets de coupe peut permettre de diminuer la quantité de combustible au sol, et donc le risque de développement de feux sévères (Stephens et Moghaddas 2005).

APPROCHES DE TYPE « TRIADE »

Face à l'augmentation de l'activité des feux, certaines études ont proposé une méthode appelée « triade » qui permet la conservation de la biodiversité et des vieilles forêts, sans réduire de façon trop importante les possibilités forestières. Le territoire y est divisé en trois types de zones : les aires protégées qui permettent de conserver une proportion suffisante de vieilles forêts dans le paysage, des zones d'aménagement intensif à haute productivité afin de compenser les volumes de bois perdus, et des zones d'aménagement extensif, où l'aménagement écosystémique peut être implanté (Seymour et Hunter 1992). Les zones d'aménagement intensif doivent idéalement être situées proche des usines de transformation afin de réduire les coûts liés au transport et de faciliter la suppression d'éventuels feux. La triade a été testée et a démontré de bons résultats face aux changements des régimes de feux dans plusieurs provinces du Canada, notamment dans la région de la Mauricie, au Québec (Côté et al. 2010).

GESTION DE LA RÉGÉNÉRATION

En plantation, un choix d'espèces ou de géotypes ayant une maturité commerciale hâtive pourrait augmenter les chances de récolte d'ici le prochain feu, tout comme la remise en production des peuplements par la mise en terre de plants forestiers de fortes dimensions (Dale et al. 2001) pourrait réduire la phase de régénération sur le terrain (Kurz et Apps 1995). Toutefois, la proportion de plantations restant faible dans l'ensemble de la forêt aménagée québécoise, la portée de ces pratiques d'adaptation resterait limitée.

OPTIMISER LA SANTÉ ET LA SÉCURITÉ DES POPULATIONS

La santé et la sécurité des populations constituent une priorité dans la lutte aux incendies forestiers. Une plus grande résilience des communautés humaines à l'augmentation de l'activité des feux peut s'établir de plusieurs façons.

PRÉVENTION DANS L'AMÉNAGEMENT DES PROPRIÉTÉS

Une façon de diminuer la vulnérabilité des populations humaines et des infrastructures forestières aux feux de forêt consiste à poursuivre le programme Intelli-feu du gouvernement canadien (Ressources naturelles Canada 2003). Ce programme, disponible en ligne, propose notamment aux propriétaires de maisons et aux aménagistes forestiers des solutions pour protéger leurs bâtiments situés en terrain boisé. Par exemple, la réduction de la quantité de combustible disponible (végétation) en bordure des maisons, l'élagage des arbres jusqu'à hauteur de 2 m du sol, et certains choix de matériaux de toiture permettent de diminuer l'inflammabilité des propriétés et le risque de propagation des feux en bordure et à l'intérieur de la communauté.

AMÉLIORATION DE LA DÉTECTION ET DE LA PRÉPARATION DES POPULATIONS AUX FEUX

Une autre préoccupation sera d'évaluer la robustesse des systèmes de suivi et de prédiction des mouvements de fumée en regard de l'intensification des régimes des feux de forêt (voir l'encadré «Signaux de fumée»). Une telle évaluation permettrait de maintenir des normes élevées en matière de sécurité publique se rapportant aux avertissements de danger liés aux feux et à la préparation des populations humaines à l'évacuation si nécessaire. Le maintien d'un réseau de détecteurs de pointe va de pair avec le besoin de systèmes de communication efficaces pour signaler les événements potentiellement dangereux aux populations, incluant celles qui sont isolées (Berry et al. 2014; Oshanski et al. 2015). Ces mesures permettraient ultimement de prioriser la santé et la sécurité des populations dans la lutte aux incendies forestiers.



SIGNAUX DE FUMÉE

Un exemple de transfert technologique réussi dans le domaine de l'adaptation aux feux de forêt est l'implantation au Canada du système d'alerte à la fumée BlueSky. Utilisé en Colombie-Britannique depuis 2009, mais initialement développé par le service américain des forêts, il résulte de collaborations entre divers paliers de gouvernement et plusieurs universités. Ce système combine des prévisions météorologiques horaires avec des données sur la localisation et la consommation de combustibles des feux en cours pour produire des modélisations de transport et de dispersion de la fumée. Ces scénarios, publiés gratuitement en ligne et actualisés deux fois par jour pendant la saison des feux de forêt, prévoient les mouvements de fumée jusque dans les 48 prochaines heures sur tout l'ouest du Canada.

REMERCIEMENTS

Merci à Pierre Bernier (SCF), Marc-André Boivin (MFFP), Nathalie Martel (Ouranos), Aurélie Terrier (ULaval), Michel Campagna (MFFP), Éric Domaine (MFFP) et Yan Boucher (MFFP) pour la révision de versions antérieures.

RÉFÉRENCES

- Agence de la santé publique du Canada. (2015) Changements climatiques, feux de forêt et votre santé. URL <http://www.phac-aspc.gc.ca/hp-ps/eph-esp/fs-fi-c-fra.php>
- Ali, A.A., Carcaillet, C. & Bergeron, Y. (2009) Long-term fire frequency variability in the eastern Canadian boreal forest : the influences of climate vs. local factors. *Global Change Biology*, **15**, 1230–1241.
- Beaty, R.M. & Taylor, A.H. (2008) Fire history and the structure and dynamics of a mixed conifer forest landscape in the northern Sierra Nevada, Lake Tahoe Basin, California, USA. *Forest Ecology and Management*, **255**, 707–719.
- Bélanger, D., Gosselin, P., Valois, P. & Abdous, B. (2015) *Impacts sanitaires néfastes perçus à la chaleur et leurs déterminants : enquête transversale dans les quartiers défavorisés de neuf villes du Québec : Rapport final*. Rapport de recherche (R1567). INRS, Centre Eau, Terre Environnement, Québec, QC.
- Bergeron, Y. & 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., Cyr, D., Drever, C.R., Flannigan, M., Gauthier, S., Kneeshaw, D., Lauzon, É., Leduc, A., Goff, H. Le, Lesieur, D. & Logan, K. (2006) Past, current, and future fire frequencies in Quebec's commercial forests : implications for the cumulative effects of harvesting and fire on age-class structure and natural disturbance-based management. *Canadian Journal of Forest Research*, **36**, 2737–2744.
- Bergeron, Y., Gauthier, S., Flannigan, M. & Kafka, V. (2004) Fire regimes at the transition between mixed wood and coniferous boreal forest in Northwestern Quebec. *Ecology*, **85**, 1916–1932.
- Bergeron, Y., Gauthier, S., Kafka, V., Lefort, P. & Lesieur, D. (2001) Natural fire frequency for the eastern Canadian boreal forest : consequences for sustainable forestry *Canadian Journal of Forest Research*, **31**, 384–391.
- Bergeron, Y., Harvey, B., Leduc, A. & Gauthier, S. (1998) *Sylvicultural Practices and Forest Management Strategies That Emulate Natural Disturbances*. Working paper 1998-6E. Sustainable Forest Management Network, Edmonton, AB.
- Bergeron, Y., Irulappa Pillai Vijayakumar, D.B., Ouzennou, H., Raulier, F., Leduc, A. & Gauthier, S. (2017) Projections of future forest age class structure under the influence of fire and harvesting : implications for forest management in the boreal forest of eastern Canada. *Forestry*, **00**, 1–11.
- Bernier, P. & Schoene, D. (2009) Adapting forests and their management to climate change : An overview. *Unasylva*, **60**, 5–11.
- Berry, P., Yusa, A., Morris-Oswald, T. & Rogaeva, A. (2014) Heat alert and response systems in urban and rural communities in Canada. *Change and Adaptation in Socio-Ecological Systems*, **1**, 84–97.
- Bonan, G.B. & Shugart, H.H. (1989) Environmental factors and ecological processes in boreal forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **20**, 1–28.
- Boulanger, Y., Gauthier, S. & Burton, P.J. (2014) A refinement of models projecting future Canadian fire regimes using homogenous fire regime zones. *Canadian Journal of Forest Research*, **44**, 365–376.
- Boulanger, Y., Gauthier, S., Gray, D.R., Le Goff, H., Lefort, P. & Morissette, J. (2013) Fire regime zonation under current and future climate over eastern Canada. *Ecological Applications*, **23**, 904–923.
- Burns, R.M. & Honkala, B.H. (1990) *Silvics of North America. Volume 1 : Conifers*. Agriculture Handbook
- Chabot, M., Blanchet, P., Drapeau, P., Fortin, J., Gauthier, S., Imbeau, L., Lacasse, G., Lemaire, G., Nappi, A., Quenneville, R. & Thiffault, E. (2009) Le feu en milieu forestier dans : *Manuel de foresterie*. MultiMonde. Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, Québec (Québec), 1037–1090
- Conseil de l'industrie forestière du Québec. Produits et innovations. URL <http://www.cifq.com/fr/produits-et-innovations/>
- Côté, P., Tittler, R., Messier, C., Kneeshaw, D., Fall, A. & Fortin, M.-J. (2010) Comparing different forest zoning options for landscape-scale management of the boreal forest : Possible benefits of the TRIAD. *Forest Ecology and Management*, **259**, 418–427.
- Cyr, D., Gauthier, S. & Bergeron, Y. (2007) Scale-dependent determinants of heterogeneity in fire frequency in a coniferous boreal forest of eastern Canada. *Landscape Ecology*, **22**, 1325–1339.
- Dale, V.H., Joyce, L. a, McNulty, S., Neilson, R.P., Ayres, M.P., Flannigan, M.D., Hanson, P.J., Irland, L.C., Lugo, a E., Peterson, C.J., Simberloff, D., Swanson, F.J., Stocks, B.J. & Wotton, B.M. (2001) Climate change and forest disturbances. *Bioscience*, **51**, 723–734.
- Davidson, D.J., Williamson, T. & Parkins, J.R. (2003) Understanding climate change risk and vulnerability in northern forest-based communities. *Canadian Journal of Forest Research*, **33**, 2252–2261.
- De Groot, W.J., Flannigan, M.D. & Cantin, A.S. (2013) Climate change impacts on future boreal fire regimes. *Forest Ecology and Management*, **294**, 35–44.
- Flannigan, M.D., Amiro, B.D., Logan, K. a., Stocks, B.J. & Wotton, B.M. (2005) Forest fires and climate change in the 21ST century. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **11**, 847–859.
- Flannigan, M.D. & Wotton, B.M. (2001) Climate, weather and area burned. *Forest Fires : Behavior and Ecological Effects* (eds E. Johnson & K. Miyanishi), pp. 335–357. Academic Press, New York, NY.
- Flannigan, M.D., Wotton, B.M., Marshall, G.A., De Groot, W.J., Johnston, J., Jurko, N. & Cantin, A. S. (2016) Fuel moisture sensitivity to temperature and precipitation : climate change implications. *Climatic Change*, **134**, 59–71.
- Gauthier, S., Bernier, P., Burton, P.J., Edwards, J., Isaac, K., Isabel, N., Jayen, K., Goff, H. Le & Nelson, E. a. (2014) Climate change vulnerability and adaptation in the managed Canadian boreal forest. *Environmental Review*, **30**, 1–30.

- Gauthier, S., Vaillancourt, M.-A., Leduc, A., De Grandpré, L., Kneeshaw, D.D., Morin, H., Drapeau, P. & Bergeron, Y. (2008) Aménagement écosystémique en forêt boréale. Presses de l'Université du Québec, Québec, QC, Canada.
- Girard, F., Payette, S., & Gagnon, R. (2008) Rapid expansion of lichen woodlands within the closed-crown boreal forest zone over the last 50 years caused by stand disturbances in eastern Canada. *Journal of Biogeography*, **35**, 529-537.
- Girardin, M.P. (2007) Interannual to decadal changes in area burned in Canada from 1781 to 1982 and the relationship to Northern Hemisphere land temperatures. *Global Ecology and Biogeography*, **16**, 557-566.
- Girardin, M.P., Ali, A. a., Carcaillet, C., Gauthier, S., Hély, C., Le Goff, H., Terrier, A. & Bergeron, Y. (2013) Fire in managed forests of eastern Canada : Risks and options. *Forest Ecology and Management*, **294**, 238-249.
- Girardin, M.P. & Terrier, A. (2015) Mitigating risks of future wildfires by management of the forest composition : an analysis of the offsetting potential through boreal Canada. *Climatic Change*, **130**, 587-601.
- Le Goff, H., Leduc, A., Bergeron, Y. & Flannigan, M. (2005) The adaptive capacity of forest management to changing fire regimes in the boreal forest of Quebec. *Forestry Chronicle*, **81**, 582-592.
- Johnstone, J.F. & Chapin, F.S. (2006) Effects of soil burn severity on post-fire tree recruitment in boreal forest. *Ecosystems*, **9**, 14-31.
- Johnstone, J.F., Chapin, F.S., Hollingsworth, T.N., Mack, M.C., Romanovsky, V. & Turetsky, M. (2010) Fire, climate change, and forest resilience in interior Alaska. *Canadian Journal of Forest Research*, **40**, 1302-1312.
- Kurz, W. & Apps, M. (1995) An analysis of future carbon budget of Canadian boreal forests. *Water, Air and Soil Pollution*, **82**, 321-331.
- Lajoie, G., Houle, D. & Blondlot, A. (2016) Impacts de la sécheresse sur le secteur forestier québécois dans un climat variable et en évolution. Ouranos, Montréal, QC.
- Leduc, A., Bernier, P.Y., Mansuy, N., Raulier, F., Gauthier, S. & Bergeron, Y. (2015) Using salvage logging and tolerance to risk to reduce the impact of forest fires on timber supply calculations. *Canadian Journal of Forest Research*, **45**, 480-486.
- Marchal, J., Cumming, S. G., & McIntire, E. J. (2017). Exploiting Poisson additivity to predict fire frequency from maps of fire weather and land cover in boreal forests of Québec, Canada. *Ecography*, **40**(1), 200-209.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec. (2015) Ressources et industries forestières : portrait statistique édition 2015. Québec, QC.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec. (2016a) Protection du milieu forestier. URL <http://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/protection/index.jsp>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs du Québec. (2016b) Critères et INDicateurs d'aménagement durable des forêts. URL <http://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/enligne/forets/criteres-indicateurs/accueil.asp>
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (2017). Insectes, maladies et feux dans les forêts du Québec en 2016.
- Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts. (2011a) *Insectes, maladies et feux dans les forêts québécoises – rapport de 2010*. Québec.
- Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Direction de l'environnement et de la protection des forêts. (2011b) *La récolte dans les forêts brûlées : enjeux et orientation pour un aménagement écosystémique*. Québec.
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques. (2015) Indice de la qualité de l'air URL <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/air/laqa/index.htm>
- Oshanski, D., Chiarotto, J. & Eyamie, J. (2015) Wildland fire smoke and human health : learnings from Manitoba. *Climate Change Health Risks in Rural and Small Communities*, Webinar; Health Canada, Ottawa, ON.
- Ouranos. (2015) *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie I : Évolution climatique au Québec*. Édition 2015. Ouranos, Montréal, QC.
- Price, D.T., Alfaro, R.I., Brown, K.J., Flannigan, M.D., Fleming, R. a, Hogg, E.H., Girardin, M.P., Lakusta, T., Johnston, M., Mckenney, D.W., Pedlar, J.H., Stratton, T., Sturrock, R.N., Thompson, I.D., Trofymow, J. a & Venier, L. a. (2013) Anticipating the consequences of climate change for Canada's boreal forest ecosystems. *Environmental Reviews*, **365**, 322-365.
- Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts. (2003) *Intelli-Feu – Protégez votre localité contre les incendies forestiers*. URL <https://www.firesmartcanada.ca/resources-library/intelli-fue>
- Ressources naturelles Canada (2016). *Régime des feux*. URL <http://www.mcan.gc.ca/forets/changements-climatiques/changements-forestiers/17781>
- Ryan, K.C. (2002) Dynamic interactions between forest structure and fire behavior in boreal ecosystems. *Silva Fennica*, **36**, 13-39.
- Seymour, R.S. & Hunter Jr, M.L. (1992) *New Forestry in Eastern Spruce-Fir Forests : Principles and Applications to Maine*. *Maine Agricultural and Forest Experiment Station Miscellaneous Publication 716*.
- Stephens, S.L. & Moghaddas, J.J. (2005) Experimental fuel treatment impacts on forest structure, potential fire behavior, and predicted tree mortality in a California mixed conifer forest. *Forest Ecology and Management*, **215**, 21-36.
- Williamson, T.B., Price, D.T., Beverly, J.L., Bothwell, P.M., Parkins, J.R., Patriquin, M.N., Pearce, C.V., Stedman, R.C. & Volney, W.J.A. (2007) *A Framework for Assessing Vulnerability of Forest-Based Communities to Climate Change*. Information report NOR-X-414. Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Ottawa, ON.

