



Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Aléa feu de forêt

Mars 2019

Votre
gouvernement

Québec

Production

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
Direction de la protection des forêts

Contribution

Ce travail a été appuyé par le Cadre pour la prévention de sinistres 2013-2020 du Gouvernement du Québec [CPS 18-19-21] par une contribution financière de 60 000 \$.

Pour plus de renseignements

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
5700, 4^e Avenue Ouest
Québec (Québec) G1H 6R1
Téléphone : 418 627-8609
Télécopieur : 418 643-6513
Courriel : services.clientele@mffp.gouv.qc.ca

Photo : Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Référence : MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2019). *Aléa feu de forêt*, Québec, Direction de la protection des forêts, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Gouvernement du Québec, Québec, 21 p.

Mots clés : feu de forêt, aléa, gestion du risque, sécurité civile, incendie, zone périurbaine

Keywords: forest fire, wildfire, wildland fire, hazard, risk management, public safety, fire, wildland-urban interface

© Gouvernement du Québec
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs
Dépôt légal – Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2019
ISBN : 978-2-550-83733-6 (PDF)

Table des matières

Introduction.....	1
Principes universels des feux.....	1
Fondements physiques.....	2
Combustion.....	2
Préchauffage.....	2
Inflammation et combustion des gaz.....	2
Incandescence.....	3
Propagation de la chaleur.....	3
Feux de forêt.....	4
Causes des feux de forêt.....	4
Saison des feux de forêt.....	5
Nomenclature des feux de forêt.....	7
Environnement et comportement des feux de forêt.....	8
Environnement du feu.....	8
Topographie.....	8
Conditions météorologiques.....	9
Combustibles.....	9
Comportement du feu.....	10
Type de feu.....	10
Vitesse de propagation.....	11
Charge des combustibles consommés.....	12
Intensité.....	12
Temps de passage.....	12
Feux disséminés.....	12
Profondeur de brûlage.....	13
Solutions possibles.....	13
Prévenir l'occurrence d'une menace due à un feu de forêt.....	14
Réduction de l'exposition.....	14
Prévention de nouveaux feux.....	14
Suivi de la situation et évacuation.....	15
Réduire les conséquences d'une menace par un feu de forêt.....	17
Atténuation du comportement du feu.....	17
Réduction de la vulnérabilité des biens.....	18
Assurances.....	19
Conclusion.....	19
Bibliographie.....	20

Liste des figures

Figure 1.	Scène de feu de forêt.	1
Figure 2.	Triangle du feu.....	2
Figure 3.	Les modes de transmission de la chaleur.	3
Figure 4.	Dissémination du feu par tisons.....	4
Figure 5.	Causes générales des feux de forêt d'origine humaine dans la portion méridionale du Québec (1999-2018).....	4
Figure 6.	Source d'allumage des feux de forêt d'origine humaine dans la portion méridionale du Québec (1999-2018).....	5
Figure 7.	Proportion de feux de forêt par mois dans la portion méridionale du Québec (1999-2018). .	5
Figure 8.	Feu de printemps.....	5
Figure 9.	Moyenne mensuelle (1999 à 2018) du nombre d'éclairs au Québec et dans les environs, entre les latitudes 44° à 55° N et les longitudes 57° à 84° O.....	6
Figure 10.	Tapis de feuilles séchées à l'automne.	6
Figure 11.	Nombre moyen de feux causés par la foudre et par les humains chaque mois dans la portion méridionale du Québec (1999-2018).....	6
Figure 12.	Nombre annuel moyen de feux causés par la foudre et par les humains à proximité d'une municipalité locale dans la région méridionale du Québec (1999-2018).....	7
Figure 13.	Nombre de feux et superficie annuelle touchée (1999-2018) dans la portion méridionale du Québec.....	7
Figure 14.	Les parties d'un feu.	8
Figure 15.	Triangle du comportement du feu.	8
Figure 16.	Strates des combustibles.....	10
Figure 17.	Types de feu.....	11
Figure 18.	Patron de brûlage résultant d'un feu de forêt.	11
Figure 19.	Exemple de panneau de danger d'incendie	16
Figure 20.	Nombre d'évacuations et de personnes évacuées lors de feux de forêt au Canada (1980-2018).....	17

Liste des tableaux

Tableau 1.	Sélection de guides (français ou anglais) procurant des recommandations sur les mesures d'atténuations pour réduire les risques de feux de forêt	18
-------------------	--	----

Introduction

Un feu de forêt (figure 1) est une perturbation naturelle de territoires forestiers, tout comme le sont les insectes, les maladies des arbres et le chablis. Il s'agit d'un processus dynamique, prévisible dans une certaine mesure, mais également incertain (Pyne, 1982). Ses caractéristiques varient en fonction de son environnement; ce qui peut être observé lors d'un feu ou de feux différents (Countryman, 1972; Martin et Sapsis 1992).



Figure 1. Scène de feu de forêt.

Les feux influencent les communautés végétales depuis aussi longtemps que l'évolution de l'atmosphère et de la végétation permet à la foudre de les allumer sur la Terre (Pyne, 1982). Ils ont ainsi contribué à façonner le paysage forestier (Hirsh et Pengelly, 1998). Par leurs effets sur le cycle naturel des nutriments, sur les flux énergétiques, sur la succession végétale, sur la biodiversité, sur la stabilité et sur la productivité, les feux jouent un rôle essentiel au développement et au maintien de nombreux écosystèmes (Wright et Heinzelman, 1973).

Plus concrètement, le feu agit, entre autres, sur la disponibilité d'éléments nutritifs essentiels, sur le développement d'un milieu propice à la régénération et à la croissance des végétaux, sur la régulation des accumulations excessives de matière organique, sur l'établissement des espèces et des communautés végétales, sur la création d'habitats fauniques et sur le contrôle des populations d'insectes ou des maladies de la végétation. Certaines espèces d'arbres,

comme l'épinette noire et le pin gris, ont même développé des stratégies de reproduction basées sur le passage du feu (Brown et Smith, 2000).

Lorsque ses effets entrent en conflit avec la résilience naturelle des écosystèmes, les objectifs d'aménagement d'un territoire ou la présence humaine, cette perturbation peut également être préjudiciable. Elle devient alors un aléa¹ de cause naturelle ou anthropique qui peut occasionner des dommages, notamment aux investissements faits en forêt, à l'équipement et aux infrastructures. Un feu de forêt peut également, dans certaines circonstances, affecter la santé des personnes par ses effets sur la qualité de l'eau et de l'air, menacer leur sécurité et mener à des pertes de vies humaines. Le risque, tant de la perspective de sa probabilité d'occurrence que de ses conséquences, s'accroît constamment sous l'effet conjugué d'un environnement modifié par l'action humaine, les changements climatiques et l'usage de plus en plus varié et soutenu des territoires forestiers.

Ami ou ennemi, il faut vivre avec le feu et en gérer les risques, tant positifs que négatifs. Les prochaines sections présentent une introduction au comportement des feux de forêt ainsi qu'aux stratégies que les acteurs concernés peuvent collectivement mettre en place afin de ne pas sacrifier les conséquences bénéfiques des feux tout en réduisant celles qui sont plus dommageables.

Principes universels des feux

Le feu de forêt est avant tout un feu. Ce dernier peut être défini comme un dégagement simultané de chaleur, de lumière et de flammes produit par la combustion de matières inflammables (Centre interservices des feux de forêt du Canada, 2003).

Une bonne façon de le comprendre est d'en connaître les fondements (Saito, 2001).

¹ Aléa : phénomène, manifestation physique ou activité humaine pouvant occasionner des pertes de vies, des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales et économiques ou une dégradation de l'environnement (Ministère de la Sécurité publique, 2008).

Fondements physiques

Pour qu'un feu se manifeste, trois éléments doivent être réunis dans les bonnes proportions : un comburant² (ex. : l'oxygène), un combustible (ex. : le bois) et une énergie d'activation (ex. : la chaleur) (Barrows, 1951; Countryman, 1975; Long, 2008a). Ces trois éléments composent le triangle du feu (figure 2). En l'absence d'un de ces éléments, il ne peut y avoir de feu (Barrows, 1951).

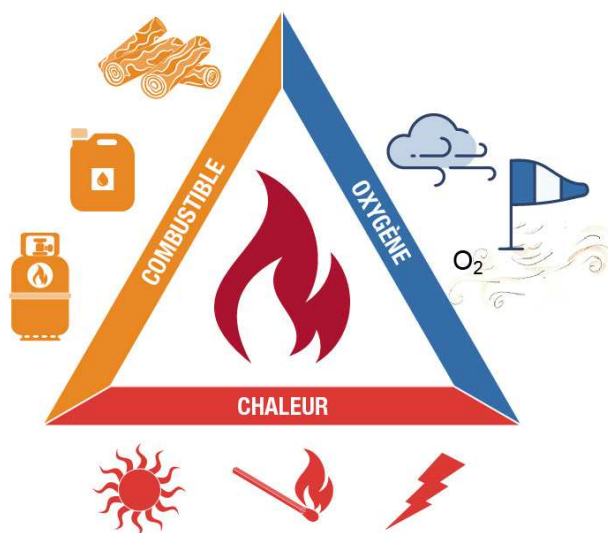


Figure 2. Triangle du feu (source : adapté de Barrows, 1951).

Deux des trois côtés du triangle sont présents en permanence dans les milieux forestiers (Kennard et Long, 2008). Les combustibles (ex. : arbres, arbustes, herbes, débris ligneux, mousses, lichens) s'y accumulent naturellement. Lorsqu'ils s'assèchent, sous l'influence de périodes de beau temps, ils deviennent de plus en plus disponibles à la combustion. L'oxygène est également déjà présent en quantité suffisante dans l'air ambiant.

Pour qu'un feu se produise, il ne manque donc qu'une source de chaleur (ou d'allumage) que peuvent procurer, par exemple, la foudre ou des activités humaines. Toutes les conditions sont alors réunies pour qu'un feu soit allumé et qu'il puisse se propager par la réaction en chaîne qui accompagne le processus de combustion.

Combustion

La combustion est l'ensemble des phénomènes qui accompagnent la combinaison chimique ou l'union rapide de l'oxygène avec le carbone contenu dans les combustibles (Centre interservices des feux de forêt du Canada, 2003). Cette oxydation survient à des températures relativement élevées (Byram, 1959).

Le processus de combustion est généralement composé de trois phases : le préchauffage, l'inflammation et l'incandescence (Byram, 1959). Ces trois phases se juxtaposent jusqu'à un certain point et se manifestent simultanément dans un feu de forêt qui se propage (Byram, 1959).

Préchauffage

La première phase, le préchauffage, se produit lorsque les combustibles sont exposés à une source de chaleur suffisamment intense. Ils se réchauffent, se dessèchent et se transforment partiellement en différents gaz inflammables (Byram, 1959; Pyne, Andrews et Laven, 1996; Cochrane et Ryan, 2009).

Si l'énergie disponible n'est pas suffisante pour que l'humidité qu'ils contiennent s'évapore, les combustibles ne pourront atteindre la température requise pour passer à la phase suivante. C'est pourquoi des combustibles plus secs, souvent à la suite de périodes de beau temps, s'enflamment plus facilement. Ils contiennent moins d'eau et requièrent donc moins d'énergie pour s'enflammer.

Inflammation et combustion des gaz

La phase de l'inflammation et de la combustion des gaz est généralement celle que nous nous représentons lorsque nous pensons à un feu (Cochrane et Ryan, 2009). La chaleur d'allumage a été atteinte et c'est à ce moment que le processus commence à produire des flammes et à dégager de la chaleur en même temps que la transformation en gaz se poursuit.

² Comburant : se dit d'un corps qui, en se combinant avec un combustible, donne lieu à la combustion de ce dernier.

Ces flammes se forment au-dessus des combustibles (et non directement à leur surface), dans la zone où les gaz volatiles qui ont été libérés se mélangent avec l'oxygène (Pyne, Andrews et Laven, 1996; Long, 2008b). Le dégagement de chaleur associé à cette phase encourage la volatilisation d'autres composés chimiques (toujours contenus dans les combustibles) qui s'enflamment à leur tour. Cette chaleur de combustion fournit également l'énergie nécessaire au préchauffage des combustibles adjacents, par les modes de transmission de la chaleur décrits dans la section *Propagation de la chaleur*, créant ainsi une réaction en chaîne. Bien que des températures au-delà de 1 650 °C aient été mesurées lors de feux de forêt particulièrement intenses, une température variant entre 800 et 1 200 °C est plus fréquemment observée (Pyne, Andrews et Laven, 1996).

Lorsque la combustion est incomplète, certaines substances libérées par la chaleur se condensent et forment des particules solides et de fines gouttelettes qui demeurent en suspension au-dessus du feu. C'est ce qui cause la fumée (Byram, 1959; Pyne, Andrews et Laven, 1996; Chabot et autres, 2009).

Incandescence

La phase de l'incandescence, aussi appelée phase de la combustion lente ou combustion couvante, est associée à des conditions où l'oxygène est plus limité, comme c'est parfois le cas dans l'humus du parterre forestier, dans des accumulations denses de combustibles ou à l'intérieur de morceaux de bois mort dont la surface est recouverte du charbon résiduel issu de la phase précédente de la combustion (Pyne, Andrews et Laven, 1996; Long, 2008c).

Le combustible est brûlé sous forme de solide et non de gaz comme c'est le cas lors de la phase d'inflammation et de combustion des gaz (Byram, 2004). Si la combustion est complète, il ne restera que des cendres, essentiellement composées de matériel non combustible. Dans les feux de profondeur (voir la section *Type de feu*), cette combustion peut élever la température du sol minéral environnant au-delà de 300 °C durant plusieurs heures, avec des

pointes atteignant 600 °C (Pyne, Andrews et Laven 1996).

Cette phase ne produit pas de flammes, mais son manque d'efficacité fait en sorte qu'elle est celle qui produit le plus de fumée par unité de combustible consommé (Cochrane et Ryan, 2009; Long, 2008c).

Propagation de la chaleur

La chaleur émise par un corps en combustion se transmet principalement de trois façons (figure 3) : par convection, par radiation et par conduction (Pyne, Andrews et Laven, 1996).

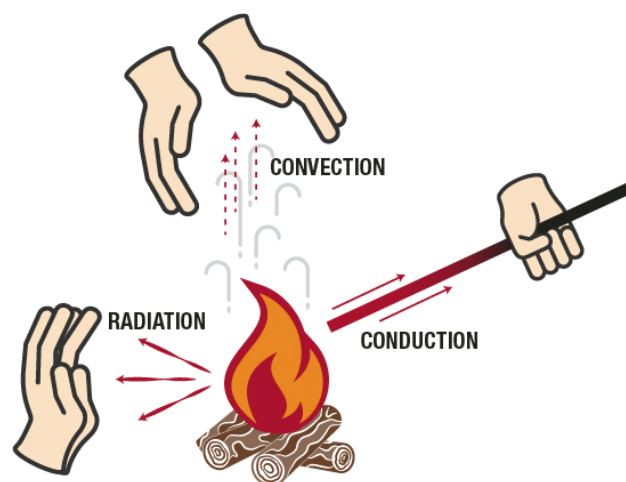


Figure 3. Les modes de transmission de la chaleur (source : adapté de kmecriunit, Wikimedia Commons³).

La convection correspond au transfert de chaleur par le mouvement d'un liquide ou d'un gaz. Dans un feu de forêt, la convection s'observe par le déplacement vertical de l'air chaud, à moins que les vents ou la pente ne causent un mouvement latéral de l'air. L'air chaud, moins dense, s'élève dans l'atmosphère et est remplacé par de l'air frais, plus dense, à la base des flammes (Schroeder et Buck, 1970; Pyne, Andrews et Laven, 1996).

La radiation, ou chaleur rayonnante, est la transmission de la chaleur sous forme d'onde électromagnétique dans toutes les directions à partir de la source.

La conduction désigne la transmission de la chaleur à travers les combustibles plutôt que dans l'air. C'est un transfert de chaleur causé par l'activité moléculaire d'une partie d'un objet vers

³ Disponible à l'adresse <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Heat-transmittance-means1.jpg> [consulté le 27 mars 2019].

une autre partie plus froide du même objet ou entre deux objets en contact (Pyne, Andrews et Laven, 1996). Or, les combustibles forestiers sont de mauvais conducteurs de chaleur (Countryman, 1977).

Dans le cas d'un feu de forêt, la convection et la radiation sont plus présentes. Un autre mécanisme de propagation de la chaleur, associé d'une certaine manière à la convection, est également actif : la dissémination à l'avant d'un front de flammes (Byram 2004; Alexander et autres, 2012).

La dissémination (figure 4) survient lorsque des tisons ou de petits débris enflammés (ex. : feuilles, brindilles, cônes, morceaux d'écorce ou de bois) sont soulevés et transportés par le vent ou avec les courants ascendants de l'air causés par le feu, avant de redescendre au sol, où ils peuvent contribuer à accélérer la progression du feu ou allumer de nouveaux foyers d'incendie à l'extérieur de son périmètre (Alexander et autres, 2012).



Figure 4. Dissémination du feu par tisons.

De manière générale, pour qu'un feu de forêt puisse se propager, il est essentiel qu'il transfère assez de chaleur aux combustibles adjacents pour les chauffer jusqu'à leur température d'allumage et que suffisamment de combustibles alimentent le front de flammes (Van Wagner, 1983).

Feux de forêt

Un feu de forêt est un feu non planifié qui consomme des matériaux naturels en terrain forestier (Centre interservices des feux de forêt du Canada, 2003). Il se produit lorsque des combustibles aux propriétés adéquates sont disponibles en quantité suffisante, que leur niveau de sécheresse permet de supporter la combustion et qu'une source d'allumage est présente (Van Wagner, 1983). Cette dernière

peut être provoquée par un phénomène naturel ou par l'homme. Au Québec, alors que la foudre est le phénomène naturel à l'origine des feux le plus fréquent, les sources anthropiques sont plus variées.

Causes des feux de forêt

De plus en plus, les gens résident en forêt ou à proximité, s'y rendent pour travailler ou profitent du milieu pour leurs loisirs. Or, les activités en milieu forestier augmentent la probabilité que des feux soient allumés et exposent davantage les personnes et les biens.

Les feux de cause humaine représentent en moyenne près de 75 % de tous les feux de forêt allumés annuellement dans la partie méridionale du Québec, située approximativement au sud du 51^e parallèle. Les personnes pratiquant des activités récréatives (ex. : chasse, pêche, excursion, camping) et celles qui résident en forêt ou à proximité (ex. : cultivateur, trappeur, propriétaire de résidence ou de terrain en milieu forestier) figurent en tête de liste des groupes responsables de ces feux (figure 5).

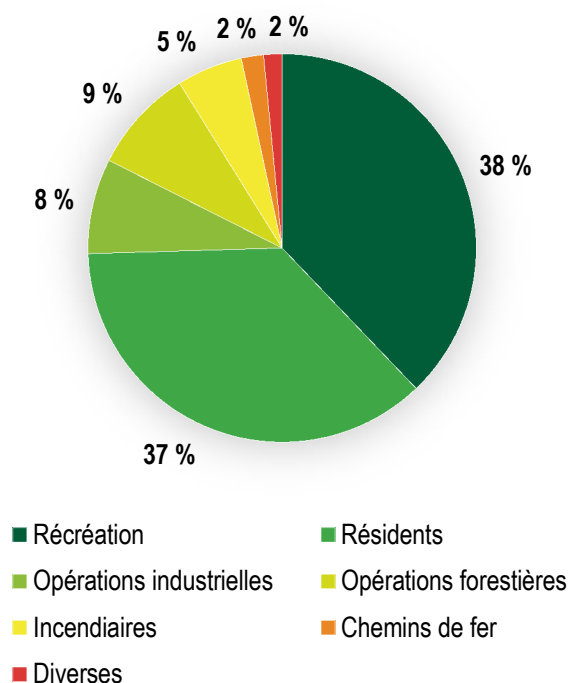


Figure 5. Causes générales des feux de forêt d'origine humaine dans la portion méridionale du Québec (1999-2018).

Les activités les plus courantes menant à des allumages d'origine humaine sont associées aux allumettes et aux articles de fumeurs (ex. : cigarettes, cigares, pipes), aux feux de cuisson ainsi qu'au brûlage de rebuts et d'abattis (figure 6).

Les autres feux de forêt recensés annuellement sur ce territoire, environ 25 %, sont causés par la foudre. Celle-ci n'allume toutefois pas d'incendie chaque fois qu'elle frappe. Comme pour les feux d'origine humaine, en plus d'une source d'allumage, il faut que les conditions propices soient réunies. Bien que les feux causés par la foudre soient moins nombreux que ceux causés par l'homme, ils brûlent souvent de plus grandes superficies (Chabot et autres, 2009) en raison notamment de leur éloignement et des conditions présentes au moment de leur allumage (sécheresse, allumages multiples, etc.). La foudre est à l'origine de plus de 85 % des superficies brûlées annuellement entre 1999 et 2018.

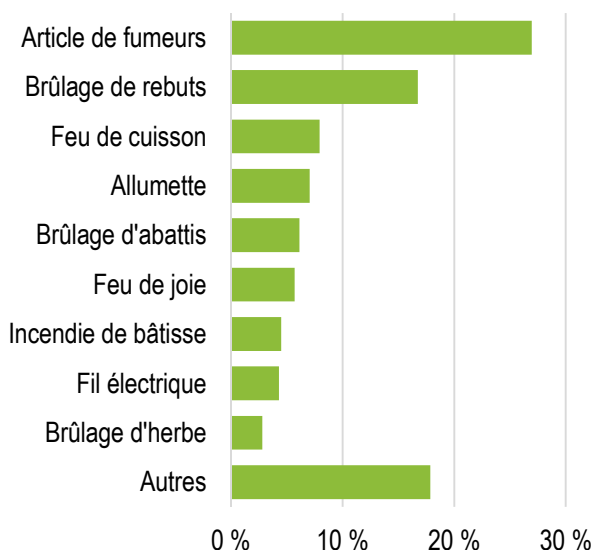


Figure 6. Source d'allumage des feux de forêt d'origine humaine dans la portion méridionale du Québec (1999-2018).

Saison des feux de forêt

Au Québec, la saison des feux de forêt commence généralement au début du mois d'avril et se termine vers la fin du mois d'octobre (figure 7).

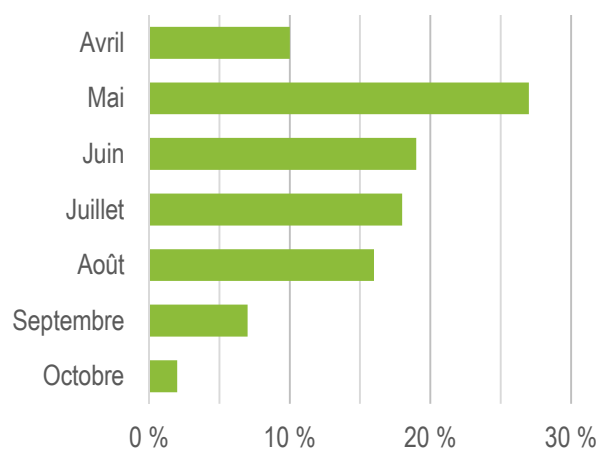


Figure 7. Proportion de feux de forêt par mois dans la portion méridionale du Québec (1999-2018).

Au printemps, ces feux frappent davantage les forêts feuillues, et celles du sud de la province sont les premières touchées. À cette période de l'année, la neige y fond généralement plus rapidement que dans les autres peuplements, car le feuillage n'est pas encore arrivé à maturité. Ces conditions permettent au parterre forestier (ex. : litière, brindilles, morceaux d'écorce, mousses et lichens), alors plus exposé, de s'assécher rapidement. Quelques heures d'ensoleillement et la présence de vent suffisent à assécher les combustibles au sol (figure 8) alors que le grand ménage des terrains bat son plein.

Certaines personnes utilisent le feu ou se livrent à des activités sans se méfier suffisamment des risques auxquels elles s'exposent et exposent la forêt. Entre la fonte des neiges et le mois de juin, en moyenne, environ 75 % des feux sont imputables à des résidents ou à des activités récréatives.



Figure 8. Feu de printemps.

Les peuplements de conifères, souvent situés dans les régions plus au centre et au nord de la province, sont graduellement exposés aux feux de forêt au cours des semaines suivantes. Éventuellement, l'ensemble de la forêt québécoise est vulnérable. En sus de la présence humaine, du mois de juin au mois d'août, la foudre devient à son tour une source potentielle d'allumage (figure 9).

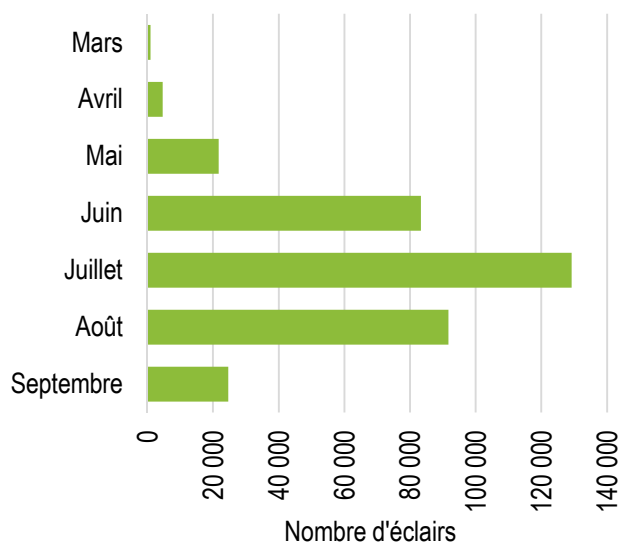


Figure 9. Moyenne mensuelle (1999 à 2018) du nombre d'éclairs au Québec et dans les environs, entre les latitudes 44° à 55° N et les longitudes 57° à 84° O (source : Hydro-Québec).

En septembre et octobre, avec l'arrivée de l'automne, la tendance inverse se produit avec la chute des feuilles (figure 10) et le début de la saison froide, plus hâtif au nord.



Figure 10. Tapis de feuilles séchées à l'automne.

En plus d'ajouter en moyenne plus de 400 feux de forêt au total annuel, les allumages d'origine humaine prolongent la saison des feux avant et après la période où la foudre frappe habituellement (figure 11).

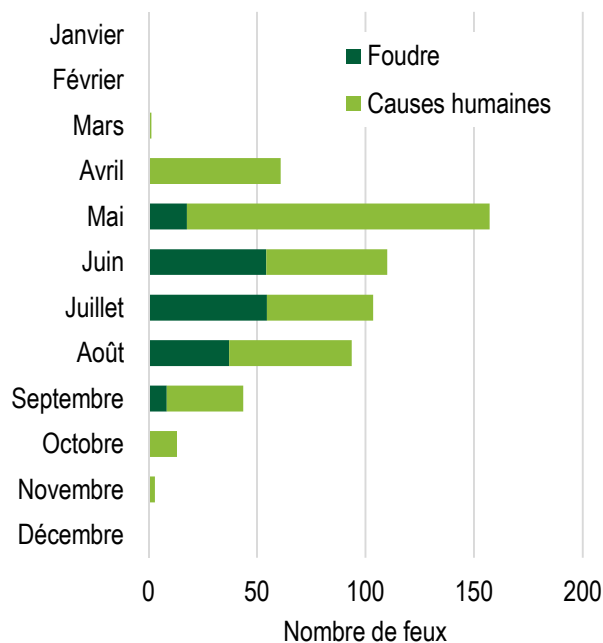


Figure 11. Nombre moyen de feux causés par la foudre et par les humains chaque mois dans la portion méridionale du Québec (1999-2018).

Les feux de causes humaines augmentent également la répartition spatiale des feux en introduisant des foyers d'incendie plus au sud et plus au nord que ne le fait la foudre durant les mois où les conditions sont propices à l'allumage.

Les feux de forêt ne prennent pas toujours naissance en milieu éloigné. En fait, les données recueillies depuis 1999 démontrent qu'en moyenne, chaque année, près de 230 feux de forêt sont rapportés à moins de cinq kilomètres d'une municipalité locale, un nombre qui augmente à environ 400 feux si le rayon est élargi à 25 km (figure 12). Ces feux sont causés à plus de 90 % par les humains.

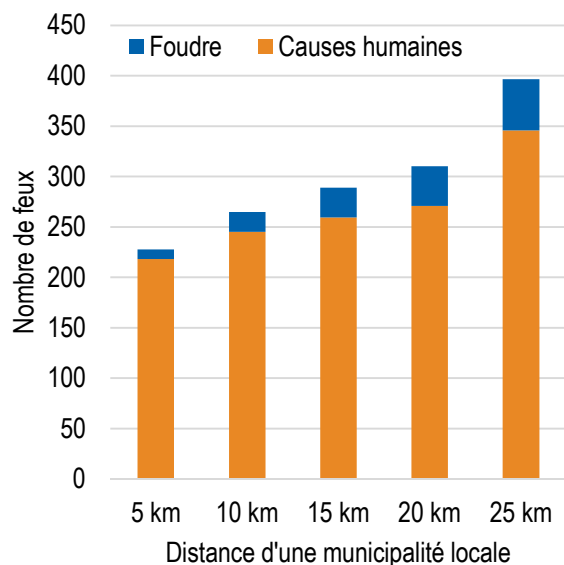


Figure 12. Nombre annuel moyen de feux causés par la foudre et par les humains à proximité d'une municipalité locale dans la région méridionale du Québec (1999-2018).

Les statistiques portant sur les feux de forêt sont souvent présentées sous forme de moyennes. Il ne faut toutefois pas perdre de vue que la superficie et le nombre de feux peuvent varier de façon importante d'une année à l'autre. À la figure 13, il est possible d'observer ces fluctuations.

Nomenclature des feux de forêt

Pour faciliter la description du comportement des feux et des opérations de lutte, les parties principales d'un feu sont désignées selon leur position (figure 14). La tête est la portion du feu qui avance généralement avec le vent (ou vers le haut de la pente). C'est à cet endroit que le feu progresse le plus rapidement et présente la plus grande intensité. À l'opposé, l'arrière du feu progresse généralement contre le vent (ou vers le bas de la pente). Les flancs sont les parties intermédiaires entre la tête et l'arrière de chaque côté du feu. Les doigts sont des parties qui s'avancent pour former une saillie à partir du corps principal. Les baies sont caractérisées par une échancrure résultant du développement plus lent du feu.

Les parties d'un feu peuvent alterner plusieurs fois durant la période où il brûle et se propage. Par exemple, lorsque le vent change de direction, il n'est pas rare que l'arrière ou l'un des flancs du feu en devienne la tête (Gouvernement du Québec, 2013)

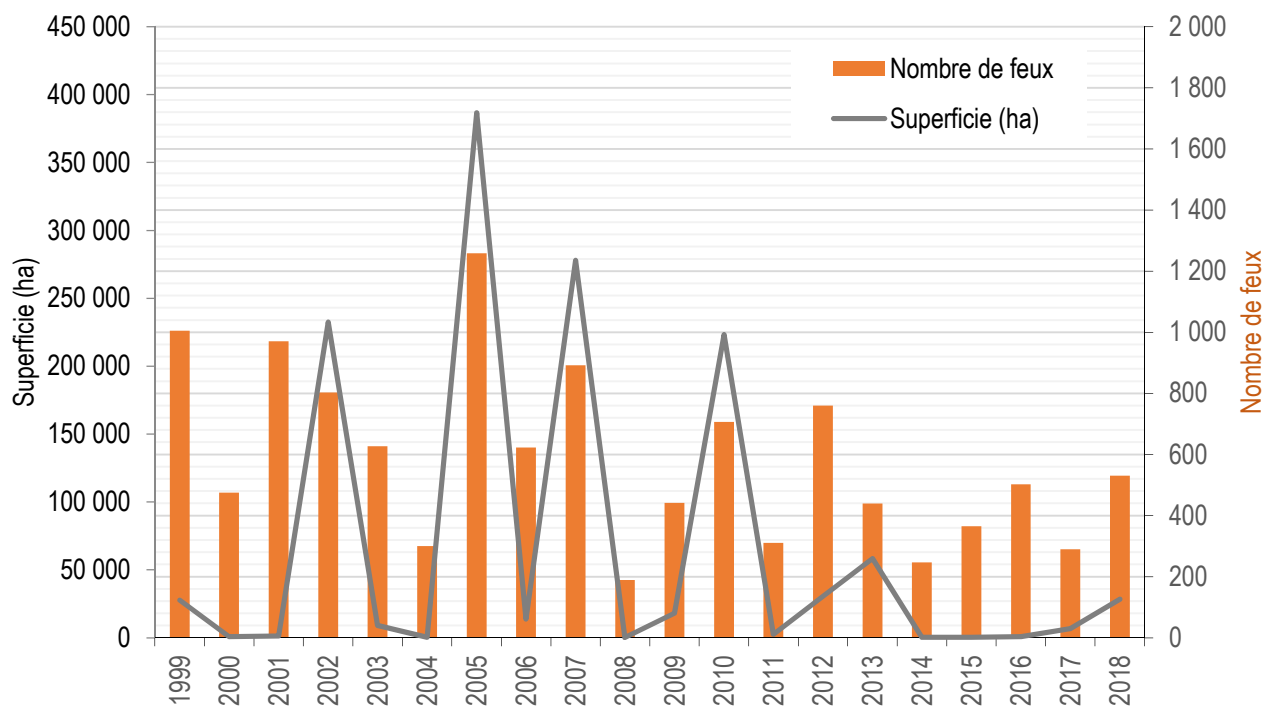


Figure 13. Nombre de feux et superficie annuelle touchée (1999-2018) dans la portion méridionale du Québec.

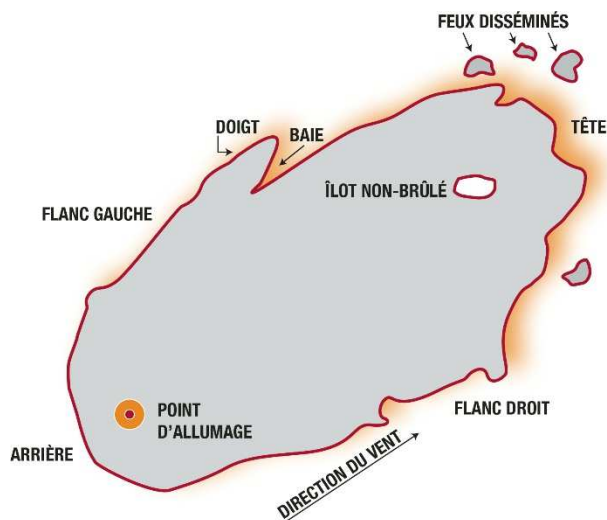


Figure 14. Les parties d'un feu.

Environnement et comportement des feux de forêt

Il y a peu de phénomènes naturels présentant l'ampleur et la complexité d'un feu de forêt (Van Wagner, 1985). L'environnement et le comportement du feu sont des éléments importants pour bien en comprendre les effets réels et potentiels et pouvoir en gérer les risques, tant par des activités de lutte que par une prévention et une atténuation des risques adéquates.

Environnement du feu

Il n'existe pas deux feux de forêt semblables, chacun dépend du milieu dans lequel il évolue (Countryman, 1972). Cet environnement regroupe les facteurs, les influences et les forces qui régissent son comportement. La topographie, les conditions météorologiques et les combustibles sont les trois éléments qui composent le triangle du comportement du feu (Countryman, 1972) (figure 15). Ils sont en constante interaction, en plus d'agir directement sur le feu. Par conséquent, si l'un d'eux change, il peut entraîner une réaction en chaîne (Countryman, 1972).

Topographie

La topographie joue un rôle important dans le comportement d'un feu de forêt et peut avoir un effet considérable sur la forme du feu, sa direction et sa vitesse de propagation (Countryman, 1972). Cette influence se manifeste notamment selon l'inclinaison et l'exposition de la pente, l'altitude, la forme du terrain et la structure du sol. Par exemple, dans une pente, le feu progresse plus rapidement que sur un terrain plat. Sans l'effet marqué du vent, le feu aura tendance à se diriger vers le haut de la pente, puisque celle-ci permet aux flammes d'être plus près des combustibles accélérant ainsi le transfert de chaleur et le processus de combustion.

En plus de son influence directe sur le comportement du feu, la topographie modifie l'écoulement de l'air selon les obstacles et la forme du terrain (ex. : vallée, cul-de-sac, crête rocheuse), ce qui a un effet, entre autres, sur les conditions météorologiques locales (ex. : vitesse et direction du vent). Les combustibles sont également influencés par l'altitude et par l'exposition de la pente.

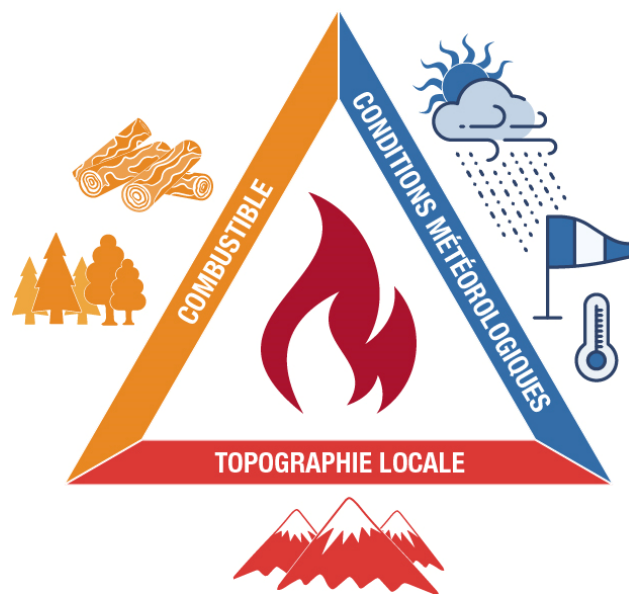


Figure 15. Triangle du comportement du feu (source : adapté de Countryman, 1972).

La topographie étant un facteur constant dans le temps, il est plus facile de déterminer ou de prévoir son influence. Sur le terrain, elle peut cependant varier considérablement sur de courtes distances et ces changements peuvent modifier drastiquement le comportement du feu (Countryman, 1972; Chabot et autres, 2009).

Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques influencent le comportement du feu de différentes façons. Leurs effets cumulatifs ont d'abord un impact majeur sur la sécheresse et la facilité d'allumage des combustibles sous l'effet de variables telles que les précipitations, l'humidité relative, la température ou le vent. Certaines conditions mèneront également au développement d'orages accompagnés de foudre, laquelle peut être, comme mentionné précédemment, responsable de l'allumage des feux.

D'un autre côté, la température, l'humidité relative, la nébulosité, les précipitations, la stabilité de l'air, la vitesse et la direction du vent sont des variables qui peuvent jouer un rôle crucial pour déterminer comment un incendie se propage. Par exemple, un feu brûlera plus vigoureusement lorsque les conditions atmosphériques sont instables. Les vents affectent aussi les feux de forêt de différentes façons. Ils peuvent, entre autres, assécher les combustibles et aider à la combustion en alimentant le feu en oxygène ou en faisant pencher les flammes plus près des combustibles. De plus, ils influencent la direction de propagation du feu et, dans certaines circonstances, contribuent à disséminer les tisons.

Divers phénomènes météorologiques extrêmes tels les vents violents, la grêle, le verglas, la neige abondante ou le gel peuvent également affecter les combustibles et changer les conditions d'inflammabilité d'un peuplement (Alexander et autres, 2012). Ces phénomènes, le chablis causé par des vents violents par exemple, modifient la structure des combustibles, comme la charge de combustibles au sol, et, par conséquent, le comportement du feu.

La météo est l'élément le plus variable de l'environnement du feu (Countryman, 1972). Elle est influencée par les masses d'air et les systèmes météorologiques, mais elle peut aussi être modifiée localement par la topographie et la

végétation. Certains facteurs météorologiques varient selon un cycle journalier alors que d'autres subissent une influence saisonnière (Schroeder et Buck, 1970). Par ailleurs, les heures d'ensoleillement qui augmentent avec la latitude peuvent expliquer les périodes prolongées de brûlage dans le nord de la province durant les mois de juin et de juillet (Van Wagner, 1983).

Les conditions météorologiques changent aussi de manière très importante à la fois spatialement et temporellement. De plus, un feu intense de grande superficie peut même dominer suffisamment son environnement pour créer ses propres conditions météorologiques (Countryman, 1972).

Combustibles

Il existe des combinaisons quasi infinies de caractéristiques des combustibles (ex. : quantité, grosseur, forme, disposition) qui influencent le comportement du feu.

Dans les peuplements forestiers, les combustibles sont généralement répartis en quatre grandes strates (figure 16) (Davis, 1959; Pyne, Andrews et Laven, 1996; Alexander et autres, 2012) :

- le combustible de profondeur (humus, tourbe, racines, etc.);
- le combustible de surface (feuilles mortes, aiguilles, ramilles, végétation herbacée, petits arbustes, souches, semis, mousses et lichens, débris ligneux, etc.);
- le combustible étagé (lichens arboricoles, grands arbustes, petits arbres sous couvert ou branches d'arbres descendant près du sol, etc.);
- le combustible aérien (couronne des arbres dominants, co-dominants et intermédiaires composée de feuillage, de ramilles, de branches ou de cônes).

Même si les caractéristiques des combustibles d'un endroit donné changent généralement lentement avec la croissance des végétaux et la dynamique naturelle des écosystèmes, certains éléments peuvent varier plus rapidement au cours des saisons (ex. : présence ou non de feuillage, proportion de combustibles vivants et morts, teneur en humidité) ou à la suite d'une

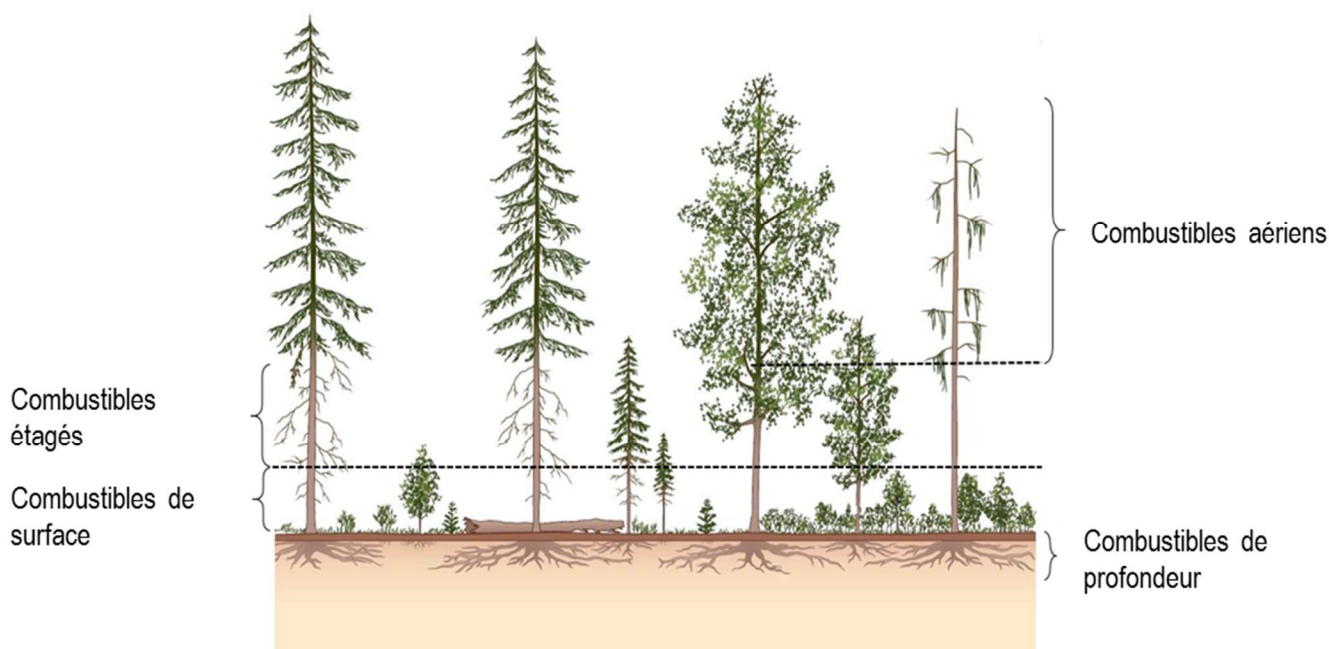


Figure 16. Strates des combustibles (source : adapté de Alexander et autres, 2012).

perturbation naturelle ou anthropique (ex. : infestation d'insectes, sécheresse, chablis, développement industriel ou urbain, aménagement forestier). Dans certaines circonstances, les conditions météorologiques locales peuvent même être affectées par ces changements. Les combustibles peuvent donc varier considérablement dans le paysage, même sur de courtes distances.

Comportement du feu

Le comportement du feu est un terme général utilisé afin d'exprimer ce que fait un feu de forêt (Byram, 1959). Plus spécifiquement, l'expression renvoie à la manière dont le feu débute, dont les flammes se développent et dont le feu se propage et démontre différents phénomènes déterminés par l'interaction entre les combustibles, les conditions météorologiques et la topographie (Canadian Interagency Forest Fire Centre, 2003). Lorsque le comportement du feu paraît inhabituel ou inattendu, c'est souvent parce que les conditions, les influences et les forces en présence n'ont pas pu être évaluées correctement (Countryman, 1972).

Les variables couramment utilisées pour qualifier ou quantifier le comportement du feu comprennent, entre autres : le type de feu, la vitesse de propagation, la charge des combustibles, l'intensité, le temps de passage, les feux disséminés et la profondeur de brûlage.

Type de feu

Les feux de forêt sont généralement classés selon trois catégories en fonction des strates de combustibles dans lesquelles ils progressent : le feu de profondeur, le feu de surface et le feu de cimes (figure 17) (Centre interservices des feux de forêt du Canada, 2003); ce dernier se propageant jusqu'aux combustibles étagés et aériens de manière intermittente ou continue. La fraction des cimes touchée varie donc en conséquence.

Ces différents types de comportements font en sorte que les combustibles consommés dans ces strates peuvent varier considérablement selon les conditions qui prévalaient au moment du passage du feu. Un feu de forêt ne brûle pas tout. Il laisse certaines portions de forêt brûlées à différents degrés et d'autres portions intactes. Le patron de brûlage qui en résulte reflète la variabilité des types de feu et des fractions des cimes consommées (figure 18).

Certaines situations faciliteront l'embrasement des cimes et la propagation du feu à ce niveau (Van Wagner, 1983), notamment : une faible séparation entre la base des cimes et le parterre forestier, une densité suffisante de feuillage dans les cimes, une faible teneur en humidité dans le feuillage et un feu suffisamment intense pour générer l'énergie requise afin d'embrasement les cimes et de se propager ensuite de l'une à

l'autre. Ainsi, la continuité verticale des peuplements (qui résulte souvent de leur structure, de la hauteur de la base des cimes des conifères et de la présence de combustibles étagés) aura une incidence sur l'allumage des feux de cimes. Ceux-ci se produisent principalement dans les peuplements de conifères et les peuplements mélangés ayant un pourcentage de conifères suffisant pour favoriser la propagation du feu à ce niveau.

Feu de profondeur



Feu de surface



Feu de cimes intermittent



Feu de cimes continu



Figure 17. Types de feu.

Vitesse de propagation

La vitesse de propagation est celle à laquelle le feu s'étend horizontalement, exprimée en distance par unité de temps (mètre/minute ou kilomètre/heure) (Canadian Interagency Forest Fire Centre, 2003). Cette variable peut être mesurée en tout point sur le périmètre du feu

(ex. : tête, flanc, arrière), dans une direction perpendiculaire à ce périmètre (Pyne, Andrews et Laven, 1996).



Figure 18. Patron de brûlage résultant d'un feu de forêt (source : Worldview-3 © 2018 DigitalGlobe, Inc.).

Alors que les feux de profondeur peuvent progresser très lentement, de l'ordre de 1 m/h, les feux de surface dans des peuplements ouverts ont le potentiel d'atteindre des vitesses de propagation allant de 15 à 25 m/min, comparativement à 5 ou 6 m/min dans des peuplements fermés, avant de se transformer en feux de cimes (Alexander et autres, 2012). Lorsque cela se produit, le feu peut doubler ou même tripler sa vitesse de propagation (Alexander et autres, 2013), atteignant 30 à 60 m/min (Alexander et autres, 2012). Quant à la vitesse de propagation des feux d'herbe sèche, elle a été documentée au-delà de 385 m/min (23 km/h) sous certaines conditions (Alexander et autres, 2012).

La vitesse de propagation à la tête du feu est la plus rapide, alors que celle à l'arrière est la plus lente, les vitesses de propagation sur les flancs se situant généralement entre ces deux extrêmes. Une variation dans l'environnement du feu (combustibles, topographie ou conditions météorologiques) pourra accélérer ou ralentir sa progression.

Tel que mentionné précédemment, un vent fort ou une pente abrupte contribuent à accélérer le processus de combustion et à augmenter la vitesse de propagation. De plus, tout comme la direction du vent, la pente peut influencer la direction de propagation du feu. En l'absence de vent, le feu se propagera généralement vers le haut de la pente. Il est important de noter que le passage d'un front froid ou de cellules orageuses peut changer soudainement la vitesse et la direction du vent, modifiant ainsi celles du feu.

Le type de combustible joue également un rôle déterminant dans la vitesse de propagation d'un feu. Lorsqu'ils sont soumis aux mêmes conditions de terrain et de météo, les feux qui consomment de l'herbe fanée ou se propagent dans des peuplements de conifères (ex. : épinette noire, pin gris) progresseront plus rapidement que ceux qui surviennent dans un peuplement d'arbres feuillus (ex. : peuplier faux-tremble). Avec l'assèchement des combustibles vient également une accélération de la vitesse de propagation.

Charge des combustibles consommés

La charge des combustibles correspond à leur poids sec par unité de surface (Centre interservices des feux de forêt du Canada, 2003). Elle peut s'exprimer en kilogramme par mètre carré (kg/m²) ou en tonne par hectare (t/ha). La quantité de combustible disponible sera notamment fonction de la charge totale de combustible et de sa teneur en humidité (Chabot et autres, 2009). Spécifions que la teneur en humidité des combustibles morts peut varier rapidement en fonction des conditions météorologiques.

Intensité

L'intensité du feu est la description la plus complète du feu pouvant être exprimée en une seule quantité (Van Wagner, 1983). C'est le taux de chaleur ou d'énergie dégagée par le feu par unité de longueur d'un front de flammes (Alexander, 1982). Elle est habituellement exprimée en kilowatt/mètre et est fonction de la vitesse de propagation et de la charge des combustibles consommés. Lorsque ces variables augmentent, l'intensité augmente également (Byram, 1959).

L'intensité du feu se manifeste principalement par la longueur des flammes (Byram, 1959; Alexander, 1982) : plus elles sont longues, plus le feu est intense. L'intensité du feu varie de moins de 10 kW/m (feu de profondeur ou feu de surface peu actif) à plus de 10 000 kW/m (feu de cimes).

Temps de passage

Le temps de passage, aussi appelé temps de résidence, est le temps (en minutes ou en secondes) que prend la zone enflammée ou le

front de flammes d'un feu en expansion pour franchir un point donné (Centre interservices des feux de forêt du Canada, 2003).

Il dépend de différents facteurs, comme la vitesse de propagation et la profondeur du front de flammes. Il se situe, en général, autour des valeurs suivantes pour des feux se produisant dans ces types de végétation (Alexander et autres, 2012) : 10 secondes dans l'herbe, 20 dans les prairies boisées, 45 dans les peuplements forestiers et 90 dans les débris de coupe.

Le temps de passage des flammes à un endroit donné peut influencer les dommages subis par la végétation, les bâtiments ou d'autres biens, selon les matériaux dont ils sont constitués et leur résistance aux flammes ou à la chaleur.

Feux disséminés

Les feux disséminés, qui sont une forme de transfert de chaleur (voir section *Propagation de la chaleur*), peuvent permettre au feu de franchir des secteurs qui entravent la progression du front de flammes tels que des lacs, des rivières, des routes et même des lignes d'arrêt, préventives ou construites lors d'opérations de lutte contre l'incendie. Des tisons ou de petits débris enflammés peuvent allumer un feu lorsque du combustible inflammable se trouve à leur point de chute. Cette probabilité augmente s'ils tombent à proximité les uns des autres (Werth et autres, 2011).

Selon les conditions dans lesquelles ils se produisent, les feux disséminés peuvent, entre autres, contribuer à l'expansion du feu en modifiant sa vitesse de propagation, influencer la forme et la continuité des superficies brûlées, entraver les efforts de lutte, augmenter le danger pour les combattants du feu qui travaillent dans le secteur et accroître le risque que le feu se propage aux bâtiments se trouvant dans la zone périurbaine.

Des pluies de tisons pouvant aller jusqu'à 100 m de distance sont fréquentes dans plusieurs feux de forêt (Alexander et autres, 2012) et peuvent allumer des feux disséminés qui sont souvent rattrapés par le front de flammes du feu principal. Des tisons peuvent également être déplacés sur plusieurs centaines de mètres, leur densité décroissant généralement en fonction de leur distance par rapport à la partie active du feu.

Bien que cette distance ait été documentée jusqu'à 16 km (Anderson, 1968) en Amérique du Nord, elle dépasse rarement un à deux kilomètres (Alexander et Cruz, 2006, Alexander et autres, 2012).

Profondeur de brûlage

La profondeur de brûlage correspond à l'épaisseur de la matière organique du parterre forestier consumée par le feu (adapté de Centre interservices des feux de forêt du Canada, 2003). Elle est souvent associée à la sévérité d'un feu et à ses effets sur l'écosystème. Elle dépend notamment de la teneur en humidité de la matière organique. La profondeur de brûlage est relativement indépendante de la vitesse de propagation et de l'intensité d'un feu (Alexander, 1982; Van Wagner, 1983).

Solutions possibles

Dans plusieurs régions du monde, la présence humaine en forêt est en constante augmentation. Du point de vue de la lutte contre les feux de forêt, cette nouvelle réalité représente une menace en croissance (Alexander et autres, 2012). En effet, les individus tendent de plus en plus à s'éloigner des centres urbains, tant pour leurs loisirs que pour y habiter et, par conséquent, se rapprochent des combustibles forestiers. En parallèle, des industries se développent en milieu forestier pour répondre aux besoins des citoyens, maintenir les services ou encore exploiter les ressources naturelles du territoire québécois. Parfois même, des communautés prennent de l'expansion et planifient des développements qui accroissent leur proximité avec la forêt. Toutes ces activités augmentent à la fois la probabilité qu'un feu soit allumé et ses conséquences potentielles.

Chaque année au Québec, des centaines de feux de forêt sont dénombrés. Supprimer systématiquement tous les feux n'est ni souhaitable écologiquement, ni envisageable économiquement (Hirsch et Pengelly, 1998; Conseil canadien des ministres des forêts, 2005). De plus, au-delà de certaines limites (ex. : vitesse de propagation et intensité élevées), les interventions contre les feux de forêt n'ont pas d'impact décisif sur la situation et

peuvent mettre la sécurité des combattants du feu et du personnel d'urgence en danger. En fait, même les systèmes et les technologies de protection des forêts contre le feu les plus modernes ne peuvent pas toujours réduire les superficies brûlées (Alexander et autres, 2012). Malgré les efforts fournis et la quantité de ressources investies, plusieurs feux s'étant produits au Canada dans les dernières années, incluant celui de 2016 à Fort McMurray en Alberta, sont malheureusement des exemples concrets de la limite de nos capacités opérationnelles.

Une situation exacerbée par le fait que les pompiers municipaux atteignent rapidement la limite de leur capacité de lutte lorsque de nombreux bâtiments brûlent simultanément (Cohen, 2000; Alexander et autres, 2012) et par les défis particuliers que présentent les zones périurbaines ou forestières (ex. : les voies d'accès). Sans compter que la protection des bâtiments doit nécessairement être reléguée au second plan lorsque des vies humaines sont en danger.

Chaque année, les médias rapportent des événements où des chalets, des résidences, des entreprises, des quartiers et même des villes ont été endommagés ou détruits par un feu de forêt. Même si les gens sont mieux informés qu'avant, dans la majorité des cas ils ne sont pas entièrement conscients des risques qu'ils courent ni que ces risques augmentent lorsqu'ils se rapprochent de la nature pour exercer leurs activités (Beebe et Omi, 1993). Il n'est donc pas rare de nos jours qu'un feu de forêt représente une menace pour une personne ou un bien (Alexander et autres, 2012). Les gens sous-estiment les dangers auxquels ils font face. Ces risques résultent de l'interaction entre la probabilité qu'un feu de forêt (aléa) se déclare à un endroit donné et les conséquences pouvant en résulter sur les éléments vulnérables de ce milieu (Ministère de la sécurité publique, 2008).

Les limites d'intervention, tant pour combattre un feu de forêt que pour protéger un bâtiment, peuvent être rapidement atteintes. Une avenue complémentaire réside dans la responsabilisation accrue de tous les acteurs concernés afin de réduire leur dépendance à l'égard des secours lors d'une situation d'urgence.

Plusieurs événements passés ont démontré que les gens ne sont pas préparés à faire des choix adéquats pour leur survie lorsqu'ils sont en présence de situations stressantes, et ce, même quand la situation implique des intervenants entraînés possédant une expérience pertinente de la gestion des feux de forêt (Alexander et autres, 2012). Qui plus est, les gens ont souvent peu d'expérience dans la gestion de telles situations; il devient donc important de travailler en amont.

Pour ce faire, il est possible d'agir à la fois sur la probabilité d'allumage et sur les conséquences possibles du feu. Des connaissances portant sur les principes élémentaires du comportement du feu, telles que celles mentionnées précédemment à la section *Environnement et comportement des feux de forêt*, peuvent guider le choix des actions à prendre. Les leçons tirées de tragédies causées par des feux de forêt peuvent également nous éclairer sur les mesures à privilégier.

Plusieurs stratégies de traitement des risques existent et peuvent être coordonnées par les acteurs concernés (citoyens, entreprises, communautés, gouvernements). Elles consistent à éviter les risques, à les transférer, à les réduire ou à les accepter. Ces stratégies, présentées dans la prochaine section, peuvent être utilisées simultanément et adaptées à la situation. Aucune toutefois, à part l'évitement complet du risque, ne présente de garantie.

Prévenir l'occurrence d'une menace due à un feu de forêt

La première chose à faire est de réduire la probabilité de se trouver en présence d'un feu de forêt. Il est possible d'y arriver en choisissant, par exemple, de ne pas s'exposer à cette perturbation naturelle, en contribuant à empêcher l'allumage de nouveaux feux ou en s'en éloignant le plus rapidement possible lorsqu'il y en a un à proximité.

Réduction de l'exposition

Ne pas s'exposer aux feux de forêt peut vouloir dire restreindre certaines activités en fonction des risques. Ceci peut s'appliquer tant à une municipalité régionale ou locale lorsqu'elle

procède à l'aménagement du territoire qu'à une entreprise qui planifie des activités en forêt ou au particulier qui détermine l'emplacement de sa résidence ou de ses activités.

Selon la nature de l'activité et sa durée, cette stratégie peut signifier simplement un changement de date lorsque des conditions de sécheresse sévissent et sont propices à l'allumage de nouveaux feux ou que l'environnement favoriserait le comportement d'un feu actif (voir section *Comportement du feu*) si un allumage survenait ou que des feux étaient déjà en cours dans le secteur. Les cartes du danger d'incendie de forêt et des feux actifs sont disponibles sur le site Web et l'application mobile (www.sopfeu.qc.ca) de la Société de protection des forêts contre le feu (SOPFEU).

Dans d'autres cas, déplacer l'activité pourrait être une option. Deux solutions peuvent notamment être envisagées. La première est de privilégier un milieu défavorable au développement des feux de forêt, un environnement urbain ou exempt de combustibles par exemple. La seconde est de chercher un endroit où l'association entre le comportement du feu potentiel et la vulnérabilité liée à l'activité réduit le risque associé à un feu de forêt.

Si de telles options ne sont pas envisageables, d'autres stratégies de réduction des risques devraient être étudiées. Une autre possibilité consiste à ne rien changer et à accepter les risques et les conséquences qui pourraient en découler.

Prévention de nouveaux feux

Si le feu n'est pas allumé, il n'y a pas de menace pour la personne ou pour ses biens. Contribuer à éviter tout nouvel incendie d'origine humaine (voir section *Causes des feux de forêt*) est un geste que toutes les personnes concernées peuvent faire selon leur implication et leurs responsabilités.

Cela peut se traduire par diverses actions, allant de l'élaboration ou de la mise à jour de la législation et de la réglementation par les autorités compétentes (gouvernement fédéral, provincial, régional ou municipal) au respect de ces exigences par tous et à l'application de règles de prudence propre à chaque situation, qu'il s'agisse des activités de particuliers ou d'entreprises ou de l'aménagement du territoire.

En voici quelques exemples :

- S'informer sur le **danger d'incendie** avant de se rendre en forêt, et le faire quotidiennement pendant son séjour.

(Information disponible sur les panneaux d'inflammabilité (voir encadré) ainsi que sur le site Web ou l'application mobile de la SOPFEU.⁴)

- Respecter la législation provinciale et municipale concernant les **permis de brûlage**, les **feux de camp** ou les **feux pour nettoyer un terrain** résidentiel ou de villégiature.

(Voir notamment la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier ⁵ [chapitre A-18.1, art. 190] et le Règlement sur la protection des forêts ⁶ [chapitre A-18.1, r. 10.1, art. 3, 4 et 7].)

- Respecter les **interdictions de faire des feux à ciel ouvert** en forêt, ou à proximité de celle-ci, émises par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) en collaboration avec la SOPFEU.

(Information publiée dans les médias, rapportée dans les médias sociaux et également disponible sur le site Web et l'application mobile de la SOPFEU.)

- Respecter les recommandations ou les prescriptions du MFFP ou de la SOPFEU de **restreindre certaines activités industrielles** en forêt.

(Information pouvant être publiée dans les médias, rapportée dans les médias sociaux, partagée par liste d'envoi ou disponible sur le site Web et l'application mobile de la SOPFEU.)

- Respecter les restrictions concernant le fait de **fumer en forêt**.

(Voir notamment le Règlement sur la protection des forêts [chapitre A-18.1, r. 10.1, art. 6].)

- Respecter les **restrictions de circuler et d'accéder à certains territoires** émises par le MFFP en collaboration avec la SOPFEU.

(Information publiée dans les médias, rapportée dans les médias sociaux et également disponible sur le site Web et l'application mobile de la SOPFEU.)

- Respecter la législation provinciale concernant les **plans de protection** pour l'exécution de **travaux en forêt**.

(Voir notamment la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier [chapitre A-18.1, art. 192].)

- Respecter la législation provinciale concernant les règles de sécurité pour toute personne qui **possède ou utilise** en forêt, ou à proximité de celle-ci, **une machine, un bâtiment ou toute autre installation**.

(Voir notamment le Règlement sur la protection des forêts [chapitre A-18.1, r. 10.1, art. 5].)

Suivi de la situation et évacuation

Il est toujours possible pour une personne de prendre le risque de se rendre en forêt à condition de faire un suivi constant de la situation pour être informée du danger d'incendie en cours, des conditions météo, des feux de forêt actifs dans la région et des restrictions ou des interdictions d'accès ou de circulation dans certains territoires. Les informations pertinentes sont mises à la disposition du public sur le site Web et l'application mobile de la SOPFEU. Il faut également être à l'affût des communications de Québec En Alerte⁷ du ministère de la Sécurité publique (MSP) qui sont diffusées dans la population lors de situations qui présentent une menace réelle ou imminente pour la vie ou la sécurité des citoyens.

⁴ Site Web de la SOPFEU : <http://www.sopfeu.qc.ca> [consulté le 27 mars 2019].

⁵ Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier : <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cs/A-18.1> [consulté le 27 mars 2019].

⁶ Règlement sur la protection des forêts : <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/A-18.1.%20r.%2010.1> [consulté le 27 mars 2019].

⁷ Québec En Alerte : <https://alerte.securitepublique.gouv.qc.ca/> [consulté le 27 mars 2019].



Figure 19. Exemple de panneau de danger d'incendie (source : SOPFEU)

Le danger d'incendie est établi à partir des relevés de près de 200 stations météorologiques à travers la province (Société de protection des forêts contre le feu, 2017). Il renseigne sur la facilité d'allumage du combustible et sur la difficulté à contrôler un éventuel incendie en regard de la vitesse de propagation et de la quantité de combustibles disponibles.

Des panneaux (figure 19) indiquant le danger d'incendie journalier sont placés dans des endroits stratégiques (à l'entrée des parcs, des pourvoiries, des zecs, etc.) pour aviser les utilisateurs des risques d'inflammabilité des combustibles dans le secteur où ils se trouvent.

L'information est également disponible sur les sites Web gouvernementaux, certaines applications Web et dans certains médias spécialisés en météorologie. Le danger d'incendie journalier est un bon outil pour déterminer les risques d'incendie dans une région donnée.

Se tenir informé permet d'être rapidement averti de toute situation menaçante afin de s'en éloigner alors qu'il est encore possible de le faire sans essuyer de pertes ou de dommages ni mettre sa vie ou celle du personnel d'urgence en danger par négligence. Procéder à des évacuations lors de feux de forêt devenus menaçants s'est produit à plusieurs reprises au Canada au cours des dernières années, selon la base de données de Ressources naturelles Canada⁸ (figure 20). Au Québec, les évacuations de Parent (1995), de Chibougamau (2005), de Wemotaci (2010), d'Eastmain (2013) et de Baie-Johan-Beetz (2013) sont toujours présentes dans la mémoire collective.

En cas de doute, il ne faut pas attendre un avis d'évacuation formel. Il faut s'éloigner le plus tôt possible du danger, car il se pourrait que personne ne soit au courant que quelqu'un se trouve sur le terrain, que les moyens de secourir la personne ne soient pas disponibles ou que les conditions qui prévalent empêchent les secours de se rendre jusqu'à elle. De plus, mobiliser les secours pour venir en aide à quelqu'un qui se retrouve dans une position qu'il aurait pu éviter accapare de précieuses ressources et peut empirer une situation.

Il est primordial de disposer d'un plan d'évacuation ou de mesures d'urgence en cas de feu de forêt (ou de tout autre aléa pouvant survenir) avant de s'aventurer en forêt, seul ou en groupe. Cette précaution élémentaire vaut également pour les communautés établies à proximité de territoires forestiers et pour les entreprises ayant des employés travaillant en forêt, opérant des sites d'hébergement ou d'accueil en milieu forestier ou y organisant des activités. Il faut prévoir plusieurs voies d'évacuation et des moyens de s'orienter et de survivre, car la progression du feu et la fumée peuvent devenir des obstacles de taille, même avec la meilleure planification.

⁸ Base de données sur les évacuations lors de feux de forêt (Ressources naturelles Canada) : <https://www.rncan.gc.ca/forets/changements-climatiques/changements-forestiers/17788> [consulté le 26 mars 2019].

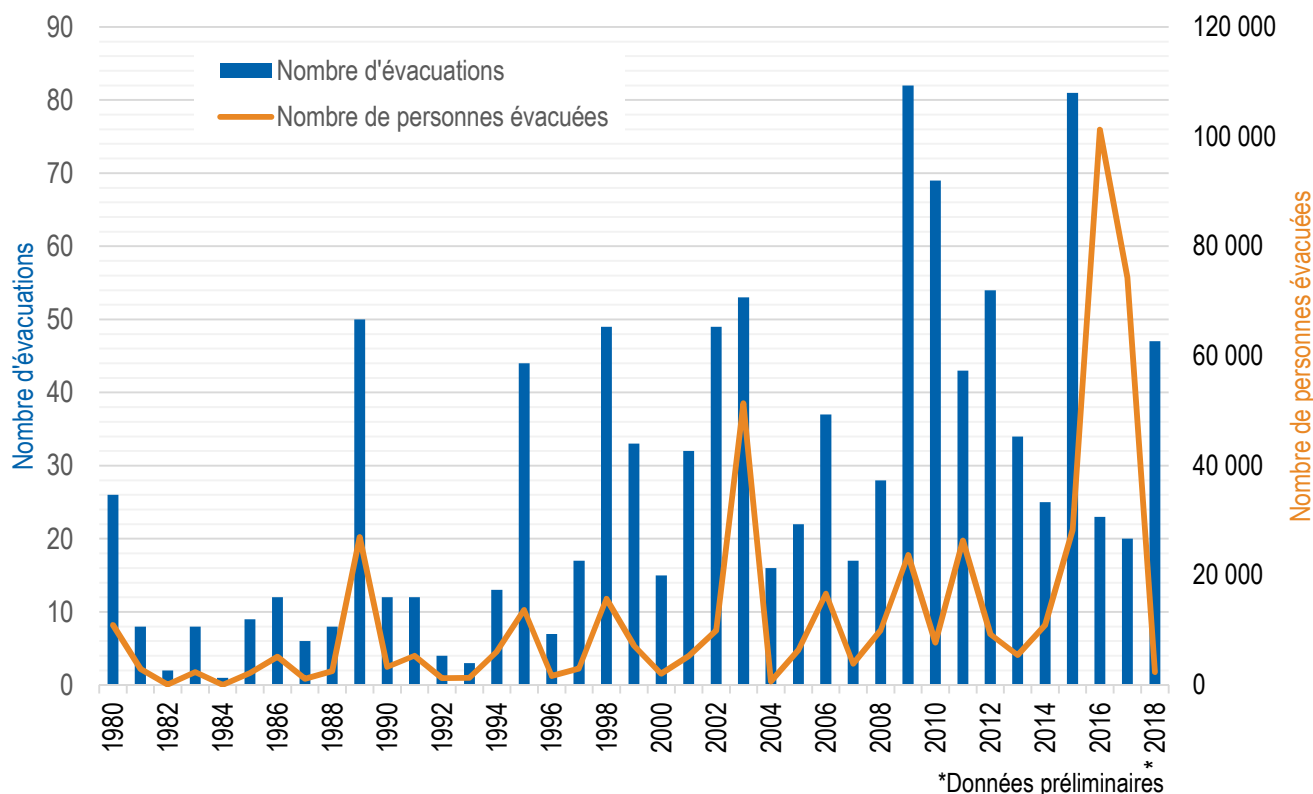


Figure 20. Nombre d'évacuations et de personnes évacuées lors de feux de forêt au Canada (1980-2018) (sources : Évacuations lors de feux de forêt⁹ [Ressources naturelles Canada, consulté le 26 mars 2019]; Amy Christianson, communication personnelle [message électronique, 26 mars 2019]).

Réduire les conséquences d'une menace par un feu de forêt

Pour diverses raisons, il n'est pas toujours possible d'éviter une situation où le feu présente une menace pour les personnes ou les biens. Il faut alors que la personne responsable, que ce soit le citoyen, le propriétaire, le gestionnaire ou l' élu, accepte le risque et ses conséquences. D'autres stratégies peuvent toutefois être considérées afin de réduire les retombées du passage d'un feu sur les éléments vulnérables du milieu.

Atténuation du comportement du feu

Le seul facteur de l'environnement du feu qui peut être modifié est le combustible. En agissant sur ce dernier à proximité d'un bien et, lorsque possible, sur une certaine distance dans le périmètre adjacent, il devient possible de réduire

la vigueur d'un éventuel feu de forêt, par exemple sa vitesse de propagation et son intensité, avant même qu'il soit allumé. Cette approche permet, le cas échéant, d'augmenter les chances de succès des opérations de lutte contre les feux de forêt et d'éviter ou de circonscrire les dommages aux biens lorsqu'elle est combinée à des actions pour réduire leur vulnérabilité.

Il existe trois approches de gestion des combustibles : la réduction, la transformation et l'isolement (Hirsh et Pengelly, 1998 ; Pyne et autres, 1996) :

- La réduction vise à diminuer la quantité de combustibles sur un territoire donné afin de réduire la probabilité qu'un feu de grande intensité survienne. Il s'agit de retirer le combustible de surface (ex. : bois mort, branches tombées), d'élaguer les branches basses ou de réaliser une éclaircie en retirant une certaine quantité d'arbres.

⁹ Ibid.

- La transformation est un processus au cours duquel les combustibles très inflammables (pins, épinettes, sapins, etc.) sont remplacés par d'autres qui le sont moins. Convertir un peuplement résineux en peuplement feuillu ou y augmenter la proportion de feuillus en sont des exemples.
- L'isolement consiste à fragmenter le couvert forestier afin de limiter la progression horizontale du feu dans les combustibles inflammables continus (Hirsh et Pengelly, 1998). La création de coupe-feu ou d'un aménagement paysager ininflammable, la localisation stratégique d'une voie d'accès ou d'une route et la présence d'un ancien brûlis, par exemple, peuvent servir à morceler les peuplements en créant une zone où les combustibles sont réduits ou absents et ainsi limiter la propagation du feu.

Divers guides à l'intention des particuliers, des entreprises et du personnel des différents paliers de gouvernement sont disponibles en ligne afin de fournir des conseils pratiques sur les mesures d'atténuation appropriées dans une situation donnée. Une liste non exhaustive de références en français et en anglais est présentée dans le tableau 1. Ces approches peuvent faire partie d'un plan d'action global de réduction des risques associés aux feux de forêt tant par la gestion des combustibles que par la réduction de la vulnérabilité des biens. Il faut toutefois s'assurer de bien respecter la législation propre à chaque situation, notamment pour les activités impliquant la coupe de bois sur les terres du domaine de l'État ou près des cours d'eau.

Réduction de la vulnérabilité des biens

Il est possible de réduire la vulnérabilité des biens notamment en choisissant judicieusement les matériaux de construction ou de rénovation, en misant sur une conception qui protège de la chaleur ou prévient l'accumulation de tisons et d'étincelles, en entretenant les bâtiments et leur environnement immédiat adéquatement et en planifiant stratégiquement l'aménagement du terrain et des accès.

Le choix des matériaux de construction est très important pour les structures et les bâtiments érigés en forêt et en milieux périurbains. Moins ces matériaux sont inflammables ou vulnérables à la chaleur, moins ils seront susceptibles de brûler ou d'être endommagés par un feu de forêt (Cohen, 2000). Pour la toiture par exemple le bardeau d'asphalte est préférable au bardeau de cèdre et le choix d'un recouvrement extérieur en brique ou en acier est préférable à leur équivalent en vinyle qui peut fondre rapidement sous l'action de la chaleur.

Tableau 1. Sélection de guides (en français ou en anglais) contenant des recommandations sur les mesures d'atténuation des risques de feux de forêt.

Organisation	Lien et langue de rédaction des guides
Partners in Protection FireSmart Canada ^{MD}	https://www.firesmartcanada.ca/ (certaines brochures et certains manuels sont disponibles en français [Intelli-feu] et en anglais) [consulté le 8 mars 2018]
National Fire Protection Association FireWise USA ^{MD}	https://www.nfpa.org/Public-Education/By-topic/Wildfire/Firewise-USA (disponible en anglais seulement) [consulté le 8 mars 2018]
ICLR (Institut de prévention des sinistres catastrophiques)	https://www.iclr.org/ (disponible en anglais seulement) [consulté le 8 mars 2018]
Canadian Association of Petroleum Producers	https://www.capp.ca/publications-and-statistics/publications/132380 (disponible en anglais seulement) [consulté le 8 mars 2018]

Pour la conception, les architectures simples sont à favoriser, tant pour le toit que pour le corps du bâtiment, afin de limiter les endroits où les débris combustibles (ex. : feuilles et aiguilles d'arbres) pourraient s'accumuler et où les étincelles et les tisons, parfois très nombreux à l'approche d'un feu de forêt, pourraient se déposer. Il faut également limiter les ajouts (ex. : gouttières, vérandas et galeries, événements) ou les

protéger afin de réduire la possibilité que des débris combustibles s'y accumulent. Dans un milieu où il y a une certaine densité de bâtiments et où les conditions sont favorables (ex. : vitesse et direction du vent), la propagation du feu peut se faire d'une structure à l'autre en plus de provenir du feu de forêt.

Il est important de procéder à l'entretien régulier des propriétés et de réduire les combustibles présents sur la structure ou autour de celle-ci. Il faut également vérifier s'il existe des sources d'allumage possibles dans les environs immédiats, tel un arbre qui menacerait de tomber sur une ligne électrique.

L'aménagement du terrain doit être stratégique, afin de réduire les risques d'allumage ou de propagation, mais également pour se donner les moyens de combattre tout début d'incendie de façon sécuritaire. Il est préférable de placer le bois de chauffage, les clôtures inflammables, le paillis des plates-bandes et les aires de feu extérieures loin des bâtiments. Des plantes résistantes au feu devraient être utilisées dans les aménagements paysagers. Il faut s'assurer de bien indiquer les voies d'accès et d'évacuation (par exemple un pont pouvant supporter la charge d'un camion d'incendie) notamment pour que les véhicules d'urgence puissent circuler ainsi qu'entrer et sortir facilement du terrain. Il est également préférable d'avoir accès sur place à une grande quantité d'eau et à des outils (pompe, pelles, gicleurs extérieurs, etc.) pour pouvoir prévenir ou éteindre tout début d'incendie.

Le tableau 1 contient des références pour obtenir des informations plus concrètes sur la manière d'atténuer les conséquences possibles d'un feu de forêt.

Assurances

Le transfert du risque, qui peut consister à assurer ses biens, est une autre approche très répandue. Bien que ce ne soit pas toujours possible ou exige des recherches plus approfondies pour trouver le produit qui correspond à ses besoins, il existe des assurances destinées aux particuliers, aux entreprises et même aux gouvernements.

Conclusion

La fréquentation accrue du milieu forestier, son utilisation à de nombreuses fins de même que les changements climatiques nécessitent une nouvelle approche dans la gestion des feux de forêt qui menacent les personnes et les biens. La société doit trouver le moyen de maintenir les bénéfices que les feux apportent aux écosystèmes et à la biodiversité des forêts québécoises, tout en diminuant les effets néfastes qu'ils peuvent avoir sur l'aménagement du territoire ainsi que sur les personnes et les biens.

Il n'existe pas de solution miracle. Il faut repenser les interventions d'urgence telles que nous les connaissons depuis des décennies et dont les limites iront en s'accroissant au cours des prochaines années. Il faut désormais miser davantage sur des approches de réduction des risques pouvant être adoptées avant qu'un feu ne soit allumé. Des efforts complémentaires et concertés de la part de tous les acteurs concernés (citoyen, entreprise, gouvernement local, régional, provincial et fédéral) sont désormais incontournables.

Bibliographie

- ALEXANDER, M. E. (1982). "Calculating and interpreting forest fire intensities", *Canadian journal of botany*, vol. 60, no 4, p. 349-357.
- ALEXANDER, M. E., ET M. G. CRUZ (2006). "Evaluating a model for predicting active crown fire rate of spread using wildfire observations", *Canadian journal of forest resources*, vol. 36, p. 3015-3028.
- ALEXANDER, M. E., R. W. MUTCH, K. M. DAVIS ET C. M. BUCKS (2012). "Wildland fires: dangers and survival". In: Auerbach, P.S., ed. *Wilderness medicine*. 6th ed. Philadelphia, Elsevier: p. 240-280.
- ALEXANDER, M. E., M. G. CRUZ, N. M. VAILLANT ET D. L. PETERSON (2013). *Crown fire behavior characteristics and prediction in conifer forests: a state-of-knowledge synthesis*. Joint Fire Science Program, Boise, Idaho. JFSP 09-S-03-1 Final Report. 39 p.
- ANDERSON, H. E. (1968). *Sundance fire: An analysis of the fire phenomena*. Research paper INT-56. Ogden, Utah, USDA Forest Service, Inter-mountain Forest and Range Experiment Station. 41 p.
- BARROWS, J. S. (1951). *Fire behavior in Northern Rocky Mountain forests*. USDA Forest Service, Northern Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Station Paper 29 (Missoula, MT). 103 p.
- BEEBE, G. S., ET P. N. OMI (1993). "Wildland burning: The perception of risk", *Journal of Forestry*, vol. 91, n° 9, p. 19-24.
- BROWN, J. K., ET J. K. SMITH (2000). *Wildland fire in ecosystems: effects of fire on flora*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42, vol. 2. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 257 p.
- BYRAM, G. M. (1959). "Combustion of forest fuels". In: Davis, K. P., editor. *Forest fire: control and use*. New York, NY: McGraw-Hill, p. 61-89.
- BYRAM, G. M. (2004). "Some principles of combustion and their significance in forest fire behavior", *Fire management today*, USDA Forest Service, Washington D.C., vol. 64, n° 1, p. 37-44.
- CANADIAN INTERAGENCY FOREST FIRE CENTRE (2003). *Glossary of forest fire management terms*, Winnipeg, Manitoba, 47 p.
- CENTRE INTERSERVICES DES FEUX DE FORÊT DU CANADA (2003). *Glossaire des termes employés en gestion du feu en forêt*, Winnipeg, Manitoba, 25 p.
- CHABOT, M. (DIR.), P. BLANCHET, P. DRAPEAU, J. FORTIN, S. GAUTHIER, L. IMBEAU, G. LACASSE, G. LEMAIRE, A. NAPPI, R. QUENNEVILLE ET É. THIFAUT (2009). « Le feu en milieu forestier », dans Ordre des ingénieurs forestiers du Québec, *Manuel de foresterie*, 2e éd., Ouvrage collectif, Éditions MultiMondes, Québec, p. 1037-1090.
- COCHRANE, M. A., ET K. C. RYAN (2009). "Fire and fire ecology: Concepts and principles". In: *Tropical Fire Ecology*. Springer Praxis Books, Springer, Berlin, Heidelberg, p. 25-62.
- COHEN, J. D. (2000). "Preventing disaster: Home ignitability in the Wildland-Urban interface", *Journal of Forestry*, vol. 98, n° 3, p. 15-21.
- CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DES FORÊTS (2005). *Stratégie canadienne en matière de feux de forêt : vision pour une approche innovatrice et intégrée pour la gestion des risques*. [En ligne]. Disponible à l'adresse https://www.ccfm.org/pdf/Vision_F_web.pdf [Consulté le 25 mars 2019].
- COUNTRYMAN, C. M. (1972). *The fire environment concept*, USDA forest service, Pacific Southwest Forest & Range Experiment Station, Bekerlay CA, 12 p.
- COUNTRYMAN, C. M. (1975). "The nature of heat", in *Heat, It's role in wildland fire, part 1*. USDA forest service, Pacific Southwest Forest & Range Experiment Station, Bekerlay CA., 10 p.
- COUNTRYMAN, C. M. (1977). *Heat and wildland fire, part 2: heat conduction* (yellow cover). Berkeley, CA: USDA Forest Service, Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, 10 p.
- DAVIS, K. P. (1959). *Forest fire control and use*. New York: McGraw-Hill, 584 p.

- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC (2013). *Le guide sylvicole du Québec. Les fondements biologiques de la sylviculture*, Les publications du Québec, Québec, 1011 p.
- HIRSH, K., ET I. PENGELLY (1998). "Forest fuel management in theory and practice". In C.R. Bamsey, ed. *Stand Density Management: Planning and Implementation*. Proceedings of a Conference, November 6-7, 1997, Edmonton, Alberta. Clear Lake Ltd., Edmonton, Alberta, p. 112-116.
- KENNARD, D., ET LONG A. (2008). "Combustion and Heat Transfer". In: *The Forest Encyclopedia Network*. <http://www.forestencyclopedia.net>, Encyclopedia Identification: p447. [Consulté le 15 février 2019].
- LONG, A. (2008a). "The Fire Triangle and Combustion". In: *The Forest Encyclopedia Network*. <http://www.forestencyclopedia.net>, Encyclopedia Identification: p483. [Consulté le 15 février 2019].
- LONG, A. (2008b). "Flaming Combustion". In: *The Forest Encyclopedia Network*. <http://www.forestencyclopedia.net>, Encyclopedia Identification: p499. [Consulté le 15 février 2019].
- LONG, A. (2008c). "Smoldering Combustion". In: *The Forest Encyclopedia Network*. <http://www.forestencyclopedia.net>, Encyclopedia Identification: p500. [Consulté le 15 février 2019].
- MARTIN, R. E., ET D. B. SAPSIS (1992). "Fires as agents of biodiversity: pyrodiversity promotes biodiversity" In *Proceedings of the Symposium on Biodiversity of Northwestern California*: October 28-30, 1991, Santa Rosa, California. Wildland resources center, University of California, p. 150-157.
- MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE (2008). Concepts de base en sécurité civile, Direction générale de la sécurité civile et de la sécurité incendie, Québec, 48 p.
- PYNE, S. J. (1982). *Fire in America: a cultural history of wildland and rural fire*. Seattle: University of Washington Press, 654 p.
- PYNE, S. J., P. L. ANDREWS ET R. D. LAVEN (1996). *Introduction to wildland fire*. 2^e édition. New York, NY, John Wiley and Sons, Inc., 769 p.
- SAITO, K. (2001). "Flames". In: E. A. Johnson et K. Miyanishi (eds), *Forest fires behavior and ecological effects*. Academic press, San Diego, CA., p. 11-54.
- SCHROEDER, M., ET C. BUCK (1970). *Fire weather: a guide for application of meteorological information to forest fire control operations*. USDA Forest Service, Agriculture Handbook 360, 229 p.
- SOCIÉTÉ DE PROTECTION DES FORÊTS CONTRE LE FEU (2017). *Comment calcule-t-on le danger d'incendie?* [En ligne]. Disponible à l'adresse <http://sopfeu.qc.ca/comment-calcule-t-on-le-danger-dincendie/> [Consulté le 3 décembre 2018].
- VAN WAGNER, C. E. (1983). "Fire behavior in northern conifer forests and shrublands". In: R.W. Wein and D.A. MacLean, editors. *The role of fire in northern circumpolar ecosystems*. Chapter 4. Wiley and Sons Ltd., New York, New York, p. 65-80.
- VAN WAGNER, C. E. (1985). "Fire behavior modelling - how to blend art and science". In: *Eight Conference on Fire and Forest Meteorology*, April 29-May 2, 1985, Detroit, Michigan, USA. Society of American Foresters, Washington, DC, USA, p.3-5.
- WERTH; P.A., B.E. POTTER; C.B. CLEMENTS; M.A. FINNEY; S.L. GOODRICK; M.E. ALEXANDER; M.G. CRUZ; J.A. FORTHOFFER ET S.S. MCALLISTER. (2011). *Synthesis of Knowledge of Extreme Fire Behavior: Volume I for Fire Managers*. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-854. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 144 p.
- WRIGHT, H. E., ET M. L. HEINSELMAN (1973). "The ecological role of fire in natural conifer forest of western and northern North America – Introduction". *Quaternary Research*, vol 3, n° 3, p. 319-328.

***Forêts, Faune
et Parcs***

Québec

