



**Mémoire portant sur le projet de loi no. 50 - Loi édictant la Loi  
sur la sécurité civile visant à favoriser la résilience aux  
sinistres et modifiant diverses dispositions relatives  
notamment aux centres de communications d'urgence et à la  
protection contre les incendies de forêt**

Mémoire présenté à

La Commission de l'aménagement du territoire de l'Assemblée nationale du  
Québec

43<sup>e</sup> législature, 1<sup>re</sup> session

**Par**

**Yan Boulanger, PhD Biologie**

**Jonathan Boucher, ing.f., PhD**

**Service canadien des forêts**

**Ressources naturelles Canada**

**20 mars 2024**

## Table des matières

I.	Sommaire exécutif .....	4
II.	Présentation des auteurs du mémoire: .....	7
1.	Objet du présent mémoire.....	9
2.	Mise en contexte scientifique .....	11
3.	Impacts des changements climatiques sur les incendies de végétation au Canada et au Québec	13
4.	La saison de feux 2023 est une illustration de l'effet des changements climatiques.....	15
5.	Impacts des changements climatiques sur les feux et leurs répercussions sur les communautés et les infrastructures .....	17
6.	Impacts des changements climatiques sur les feux et leurs répercussions sur la charge de travail des pompiers forestiers et les coûts de suppression des feux.....	19
	Considération 1 : Inclusion des changements climatiques .....	20
7.	Améliorer les capacités de détection, de suivi et de suppression des feux.....	21
	Considération 2: Soutenir et améliorer les capacités de détection, de suivi et de suppression des feux.....	22
8.	Présentation d'un cadre d'évaluation du risque aux incendies de végétation .....	23
	Considération 3 : Définition commune du risque .....	26
	Considération 4: Processus consultatif dans la gestion et l'analyse du risque .....	26
	Considération 5 : Création d'une base de données géospatiale sur les ressources et actifs.....	27
	Considération 6 : Amélioration des connaissances sur la susceptibilité .....	27
	Considération 7 : Création d'une base de données géospatiale sur les impacts .....	28
	Considération 8 : Création ou maintien d'une base de données sur les feux, les activités de suppression et les mesures d'atténuation .....	28
	Considération 9 : Réévaluer les risques au fil du temps .....	30
9.	Pour une meilleure résilience et protection des valeurs à risque.....	31
	9.1. Réaliser des évaluations de risque pour identifier les zones les plus vulnérables.....	31
	Considération 10 : Importance de caractériser et cartographier le risque .....	32
	Considération 11: Développement de l'expertise en gestion et analyse de risques aux incendies de végétation .....	32
	9.2. Mettre en place des mesures d'atténuation proactives autour des communautés et infrastructures vulnérables au feu .....	33
	Considération 12 : User de mesures proactives.....	35
10.	Pour une meilleure planification des évacuations.....	36
	Considération 13: pertinence d'intégrer les évacuations dans le plan de gestion du risque .....	38
11.	Pour la mise en place d'une gestion intégrée du risque relié aux aléas naturels .....	39
	Considération 14 : Gestion intégrée des risques .....	40

12. De l'importance de la recherche afin d'éclairer la gestion des risques naturels .....	42
Considération 15 : Rôle de la recherche .....	43
13. Conclusion.....	44
14. Remerciements .....	44
15. Littérature citée.....	45

## I. Sommaire exécutif

Ce mémoire représente une analyse exhaustive et scientifiquement rigoureuse du projet de loi 50, lequel « [...] propose principalement un nouveau régime en matière de sécurité civile ayant pour objet la protection des personnes et des biens par une gestion efficace des risques de sinistre et une réponse optimale aux sinistres en vue de favoriser la résilience de la société à ceux-ci ». De plus, le projet de loi prévoit « [...] la coordination d'une démarche gouvernementale de gestion des risques de sinistre visant à développer la connaissance des risques de sinistre d'intérêt national ainsi qu'à planifier et à mettre en place des mesures pour prévenir les sinistres et pour préparer la réponse à ceux-ci ». Dans ce contexte, les chercheurs de Ressources Naturelles Canada, Jonathan Boucher et Yan Boulanger, ont analysé le projet de loi 50 en regard de leur **expertise en recherche scientifique portant sur le domaine des incendies de végétation**. Ce document s'appuie sur une expertise approfondie en matière d'incendies de végétation, tirant parti des dernières recherches et données probantes à ce sujet. Le mémoire présente des **considérations** relatives au projet de loi, avec un accent particulier sur les **impacts accrus des changements climatiques et sur la gestion de risques face aux incendies de végétation pour les communautés et les infrastructures**.

Le mémoire présente le contexte scientifique de façon détaillée, soulignant **l'augmentation des risques liés aux incendies de végétation dans un climat qui se réchauffe**. Ce mémoire met en évidence des données probantes indiquant une fréquence et une sévérité accrues des conditions météorologiques favorables aux incendies de végétation au cours des dernières décennies, tendance qui est appelée à s'accroître dans les prochaines décennies. Cette situation met en exergue les **impacts significatifs auxquels seront exposés les communautés, les infrastructures et les écosystèmes**. Dans ce contexte, la saison des feux de 2023 représente une illustration des défis futurs pour l'ensemble des parties prenantes à la gestion de risques, alors qu'on y a enregistré une activité des feux record exacerbée par des conditions météorologiques extrêmes liées aux changements climatiques.

Le mémoire propose une analyse minutieuse des risques et des impacts des incendies de végétation, s'appuyant sur des études de cas et des données empiriques. Les répercussions des changements climatiques sur la fréquence et l'intensité des feux y sont examinées au niveau de la sécurité des communautés, la protection des infrastructures et d'autres valeurs à risque, ainsi que sur la charge de travail de l'organisme de protection contre les incendies de végétation. **Le mémoire met en évidence la nécessité d'une évaluation approfondie des risques reliés aux incendies de végétation et d'une planification stratégique pour atténuer efficacement ces impacts**.

De façon plus spécifique, les auteurs du mémoire appellent à la considération des éléments suivants dans le projet de loi 50. Ceux-ci s'articulent autour de 7 thèmes :

### **Thème « Changements climatiques » :**

1. **Inclusion des changements climatiques** : Appui à l'intégration des changements climatiques dans la législation sur la sécurité civile pour renforcer la résilience des

communautés et des infrastructures face aux sinistres, en soulignant l'importance de cette considération dans la loi.

**Thème « Amélioration des capacités de détection, de suivi et de suppression des feux » :**

2. **Soutenir et améliorer les capacités de détection, de suivi et de suppression des feux :** Encouragement des bonnes pratiques de sécurité civile, particulièrement dans le contexte de la gestion des incendies de végétation, pour répondre aux besoins de détection, de suivi, et de suppression des feux.

**Thème « Un cadre d'évaluation du risque aux incendies de végétation » :**

3. **Définition commune du risque :** Harmonisation de la terminologie autour du risque en adoptant une définition intégrée qui considère à la fois l'aléa et les impacts potentiels, facilitant l'utilisation de données scientifiques à travers le pays.
4. **Processus consultatif dans la gestion et l'analyse du risque :** Importance d'inclure la société dans le processus d'analyse et de gestion des risques dès le début, pour assurer une compréhension partagée des objectifs et des méthodologies utilisées dans la gestion de risques.
5. **Création d'une base de données géospatiale sur les ressources et actifs :** Création d'une base de données géospatiale exhaustive pour faciliter la gestion du risque et permettre une meilleure prévention et atténuation des sinistres.
6. **Amélioration des connaissances sur la susceptibilité :** Développement de données et modèles pour mieux évaluer la susceptibilité des ressources et actifs face aux incendies de végétation, aidant ainsi à produire des évaluations de risque plus exhaustives.
7. **Création d'une base de données géospatiale sur les impacts :** Mise en place de bases de données documentant les impacts des différents sinistres sur les ressources et actifs pour appuyer le développement de connaissances basées sur des preuves.
8. **Création ou maintien d'une base de données sur les feux, les activités de suppression et les mesures d'atténuation :** Collecte et maintien de données historiques sur les feux et leurs gestions pour comprendre les régimes de feux et affiner l'évaluation des risques.
9. **Réévaluer les risques au fil du temps :** Réévaluation périodique des risques pour rester pertinent face aux changements dans l'aménagement du territoire, les vulnérabilités sociales, le climat, et à la suite de sinistres récents.

**Thème « Pour une meilleure résilience et protection des valeurs à risque » :**

10. **Importance de caractériser et cartographier le risque :** Nécessité d'intégrer la cartographie des risques dans l'évaluation du risque relié aux incendies de végétation pour une identification claire et une meilleure gestion des zones à risque.
11. **Développement de l'expertise en gestion et analyse de risques aux incendies de végétation :** Besoin d'expertise en gestion des risques liés aux incendies de végétation, et proposition de développer un curriculum de formation spécifique.

12. **User de mesures proactives** : Importance de considérer le contexte régional à divers niveaux pour la mise en œuvre de mesures d'atténuation proactives et adaptées face aux changements climatiques.

**Thème « Pour une meilleure planification des évacuations » :**

13. **Pertinence d'intégrer les évacuations dans le plan de gestion du risque** : Mettre plus d'emphase sur les évacuations et à l'importance de leur planification, de leur optimisation et de leur communication auprès de la population concernée.

**Thème « Pour la mise en place d'une gestion intégrée du risque relié aux aléas naturels » :**

14. **Gestion intégrée des risques** : Encouragement d'une approche intégrée dans la gestion des risques, prenant en compte les divers aléas et parties prenantes concernées.

**Thème « De l'importance de la recherche afin d'éclairer la gestion des risques naturels » :**

15. **Rôle de la recherche** : Engagement des chercheurs à contribuer à l'évaluation des risques et à la recherche sur l'efficacité des stratégies d'adaptation et d'atténuation face aux incendies de végétation, ainsi qu'à la formation spécialisée.

En conclusion, le mémoire appelle à une action cohérente et basée sur la science pour faire face aux défis posés par les incendies de végétation dans le contexte des changements climatiques. Il souligne l'importance d'une législation éclairée par la recherche scientifique et d'une collaboration étroite entre tous les acteurs de la sécurité civile. Le mémoire met de l'avant la nécessité d'intégrer pleinement les connaissances sur les changements climatiques, le besoin en données pour supporter la science appuyant la gestion du risque, dont les analyses de risques et les stratégies d'atténuation dans le cadre du projet de loi 50, pour assurer une protection efficace des personnes, des biens, et de l'environnement au Québec.

## II. Présentation des auteurs du mémoire:

- **Jonathan Boucher, ing.f., PhD:** M. Boucher est chercheur sur les incendies de végétation au Service canadien des forêts de Ressources Naturelles Canada. Il développe des connaissances scientifiques pour soutenir la gestion des incendies de végétation et les activités de gestion des risques à cet aléa. Au niveau canadien, il est membre du comité scientifique et du comité opérationnel du programme de cartographie forestière pour la résilience aux incendies de végétation, et membre du comité directeur du Cadre national d'évaluation des risques aux incendies de végétation pour le Canada. Il fait également partie du groupe sur le danger d'incendie du Service canadien des forêts, qui travaille à l'élaboration de la prochaine génération de la Méthode Canadienne d'Évaluation du Danger d'Incendie de Forêt, où il dirige le volet sur les combustibles. Il dirige aussi le projet Firehawk, une plateforme web étant un évaluateur rapide des risques pour les incendies de végétation au Canada.
  - *Projets d'intérêts :* (1) En tant que membre du Comité directeur sur le Cadre National d'évaluation du risque aux incendies de végétation pour le Canada (*National Risk Assessment Framework Steering Committee*), M. Boucher contribue à la rédaction du Cadre National d'évaluation du risque aux incendies de végétation du Canada qui sera rendu publique en 2024; (2) M. Boucher est à la tête de l'équipe ayant développé les premières fonctions de réponse au feu pour les bâtiments de type résidentiel et leur intégration dans une l'analyse de risque à travers le développement de *FireLossRate* (Abo El Ezz et al., 2022; Nicoletta et al. 2023); (3) Financé par la Défense Nationale, M. Boucher a mené, en 2022-2023, une analyse de risques aux incendies de végétation pour la Base militaire de Gagetown au Nouveau-Brunswick, dont les travaux se poursuivent avec l'intégration d'outils d'optimisation afin d'identifier les endroits optimaux pour la mise en place de mesures d'atténuation.
  
- **Yan Boulanger, PhD Biologie:** M. Boulanger est chercheur en écologie forestière au Service canadien des forêts de Ressources Naturelles Canada depuis 2013. En partenariat avec le milieu académique de même que les différents paliers de gouvernement, M. Boulanger utilise différents outils de modélisation afin notamment de projeter les impacts des changements climatiques sur les régimes de feux futurs de même que leurs conséquences sur la vulnérabilité des forêts et des volumes de bois.
  - *Projets d'intérêts :* (1) Yan Boulanger a participé à caractériser les impacts des changements climatiques sur les feux et sur l'interface péri-humaine (péri-urbaine, péri-industrielle et péri-infrastructure, Erni et al. 2021) ou encore sur des infrastructures critiques (Dawe et al. 2022, Yemshanov et al. 2023); (2) Il a développé une zonation des régimes de feux au Canada (Boulanger et al. 2012, 2014; Erni et al. 2020) laquelle est utilisé dans le cadre d'études portant sur la

détermination des probabilités de brûler à l'échelle fine; (3) Il a aussi participé à déterminer l'impact des changements climatiques récents sur les variables météorologiques qui ont stimulé la saison de feux extrême qu'a connu le Québec en 2023 en collaboration avec le World Weather Attribution initiative.

## 1. Objet du présent mémoire

Le projet de loi 50 « [...] propose principalement un nouveau régime en matière de sécurité civile ayant pour objet la protection des personnes et des biens par une gestion efficace des risques de sinistre et une réponse optimale aux sinistres en vue de favoriser la résilience de la société à ceux-ci ». De plus, le projet de loi prévoit « [...] la coordination d'une démarche gouvernementale de gestion des risques de sinistre visant à développer la connaissance des risques de sinistre d'intérêt national ainsi qu'à planifier et à mettre en place des mesures pour prévenir les sinistres et pour préparer la réponse à ceux-ci ». Qui plus est, le projet de loi « [...] accorde au ministre le pouvoir d'ordonner toute mesure pour assurer la sécurité publique lorsqu'un incendie de forêt ou qu'un risque d'un tel incendie l'exige, notamment restreindre ou interdire la circulation en forêt ainsi que l'accès à celle-ci et interdire de faire des feux sur le territoire qu'il détermine. »

Dans ce contexte, et à la demande de M. Félix Fortin-Lauzier, secrétaire de la Commission de l'aménagement du territoire, nous avons analysé le projet de loi 50 (**ici après PL50**) en regard de notre expertise en recherche scientifique portant sur le domaine des incendies de végétation. Nous appuyons donc notre analyse sur des **données probantes** lesquelles sont essentielles afin d'offrir une perspective holistique de la gestion de risques, notamment celle reliée aux incendies de végétation. En résumé, nous soulignons que le projet de loi présente **des éléments intéressants** qui sont cohérents avec la science et que nous avons voulu mettre en exergue dans le cadre de ce mémoire. Ceux-ci portent notamment sur :

- **La considération de l'importance des changements climatiques dans l'appréciation des risques actuels et futurs;**
- **Les notions d'analyses de risques;**
- **L'importance de l'identification des vulnérabilités et des mesures d'atténuation et d'adaptation face aux risques.**

Par ailleurs, nous soulignons que certains éléments **mériteraient d'être davantage étayés** ou considérés

- **Gestion intégrée du territoire, des parties prenantes et multi-aléas;**
- **Mise en place de base de données en support et en suivi aux sinistres, visant à l'amélioration des connaissances et de la science en lien avec la gestion du risque;**
- **L'analyse de risque et la mise en place de plan d'atténuation nécessitent des connaissances spécialisées;**
- **La planification des évacuations devrait faire partie intégrante de la gestion du risque.**

Tous ces éléments sont discutés en détail dans les lignes suivantes. Nous débutons brièvement sur ce que la science nous a appris en ce qui concerne les impacts des changements climatiques sur les incendies de végétation au Canada et plus particulièrement au Québec notamment en ce qui a trait aux conséquences sur les communautés, les infrastructures et la gestion de risques. Ceci est suivi par un retour sur la saison des feux 2023, qui à elle seule nous donne un exemple des risques auxquels sera confronté la province au cours des prochaines décennies en raison notamment des

changements climatiques. De plus, nous présentons un cadre d'évaluation du risque visant à fournir une méthodologie fondée dans la science et une terminologie commune aux parties prenantes. Nous enchaînons en énumérant des éléments que nous considérons pertinents lors de la finalisation et la mise en place de la loi. Nous terminons en mentionnant comment les recherches menées au sein de nos équipes au Service canadien des forêts de Ressources Naturelles Canada peuvent soutenir le Québec dans la gestion du risque aux incendies de végétation.

## 2. Mise en contexte scientifique

La propagation de feux dans les environnements aménagés à partir des zones de végétation environnantes est un phénomène qui préoccupe les scientifiques, les gestionnaires de valeurs à risque (communauté, infrastructures, habitations, valeurs intangibles) et les gouvernements dans plusieurs pays. Au cours des dernières décennies, plusieurs feux catastrophiques sont survenus, certains ayant pour conséquences des pertes de plusieurs milliards de dollars et de dizaines de vies humaines (Beverly and Bothwell 2011). La plupart de ces feux ont résulté de la combinaison de conditions météorologiques extrêmes, d'accumulations importantes de combustibles et de l'augmentation progressive de la densité des valeurs à risque, au travers des zones de végétation (Kirchmeier-Young et al. 2017, 2018).

**Au Québec, les feux sont un facteur de risque très important en milieu naturel, que ce soit en forêt boréale ou en forêt tempérée, notamment près des grands centres urbains.** D'un côté, la problématique des feux en territoire urbains au sud de la province est représentée par des feux de petite taille, notamment au printemps, et qui sont souvent d'origine humaine. À l'inverse, les communautés en milieux boréal peuvent faire face à des feux de très grandes superficies pouvant survenir majoritairement durant les mois de juin à août et fréquemment d'origine naturelle. Les incendies de végétation peuvent survenir dans un environnement fortement anthropisé où les valeurs à risque sont excessivement nombreuses (Arseneault et al. 2023) avec un potentiel de perte de ces valeurs qui peut être excessivement élevé si l'incendie survient.

Pour qualifier l'aléa d'intérêt dans ce mémoire, nous avons choisi d'utiliser « **feu ou incendie de végétation** » plutôt que « **feu ou incendie de forêt** », puisque tout type de végétation combustible (p. ex., tourbière, friche, champs agricole, prairie arbustive, toundra, forêt) peut être à l'origine d'un sinistre. Nous englobons aussi ici tous feux d'origine humaine planifiés et désirés, comme par exemple le brûlage dirigé, le brûlage de nettoyage, ou tout autre technique visant la gestion des combustibles, la restauration écologique ou les activités de suppression. Bien que la forêt boréale domine le territoire et où s'y concentrent la majorité des superficies brûlées au Québec (SCF 2023), les autres types de végétation sont aussi présents et peuvent se retrouver à proximité des valeurs à risques et poser danger. Il est à noter que dans plusieurs régions du monde, comme la Californie, la Grèce et l'Australie, ce sont souvent les incendies en prairies arbustives qui sont à l'origine de sinistres (Bond et Keeley 2005). C'est donc ici un **élément à considérer pour la définition d'« aléa » présentée à la page 8 du PL50.**

Les évacuations à grande échelle, les problèmes de santé dus à la fumée, les dommages aux infrastructures, les impacts sur l'économie locale, les pertes de volume de bois et la détérioration des milieux humides ne sont que quelques exemples des effets négatifs des incendies de végétation observés au Québec ces dernières années (Boulangier et al. 2024). L'impact de ces feux représente des coûts énormes pour la société, notamment pour les résidents, l'industrie et les compagnies d'assurances. À titre d'exemple, les feux de 2023 au Québec pourraient représenter des pertes de plusieurs milliards de dollars pour l'industrie forestière (Opérations Forestières 2023).

**On doit s’attendre à ce que les valeurs à risque soient de plus en plus exposées aux feux au cours des prochaines décennies** (Erni et al. 2021). En effet, il existe un large consensus scientifique sur le fait que les superficies incendiées vont s'accroître avec le réchauffement climatique, même dans les zones où ces feux sont historiquement peu fréquents (Boulanger et al. 2014). On s'attend à des sécheresses plus sévères, à des feux plus grands et à des années où les conditions météorologiques propices aux feux seront plus fréquentes (Barnes et al. 2023). Des travaux récents ont aussi démontré que l'étalement urbain pourrait contribuer à une augmentation du risque aux valeurs et infrastructures qui va au-delà de l'impact des changements climatiques (Jeanneau et al. 2021). Une augmentation des incendies de végétation dans l'interface péri-urbaine de même que dans les interfaces péri-industrielles et péri-infrastructures est donc à prévoir. **Ultimement, plusieurs zones habitées seront de plus en plus exposées aux risques reliés aux incendies de végétation dans les années à venir** (Erni et al. 2021).

Le Québec a été confronté à d'importantes catastrophes climatiques au cours des dernières décennies (par exemple, la tempête de verglas de 1998, les inondations majeures de 1996, 2011, 2017, 2019 et 2020), qui ont exigé de profonds changements dans le fonctionnement de la société (par exemple, voir le "Plan de protection du territoire face aux inondations" élaboré par le gouvernement du Québec en avril 2020 en réponse aux inondations de 2019, [Gouvernement du Québec 2020]). Les incendies de végétation, notamment ceux de 2023, font partie de ces crises majeures qui poseront un défi important pour les années à venir et qui soulignent l'urgence de s'adapter et de réduire les risques associés aux incendies de végétation futurs (Boulanger et al. 2024). Dans ce contexte, il appert que le PL50 s'inscrit dans cette mouvance puisqu'il y est mentionné à la **page 8** que la « [...] *présente loi a pour objet la protection des personnes et des biens en matière de sécurité civile par une gestion efficace des risques de sinistre et une réponse optimale aux sinistres en vue de favoriser la résilience de la société à ceux-ci* ».

### 3. Impacts des changements climatiques sur les incendies de végétation au Canada et au Québec

Les forêts du Québec sont dynamiquement influencées par des perturbations naturelles, essentielles à leur renouvellement et à leur évolution. Les incendies de végétation représentent une importante proportion de ces perturbations, notamment en forêt boréale où leur cycle de récurrence varie de quelques décennies à plusieurs centaines d'années (Couillard et al. 2022). En moyenne, près de 600 feux surviennent à chaque année, brûlant près de 223 000 ha annuellement au Québec depuis les 25 dernières années (CIFFC 2023).

Les conditions météorologiques et climatiques ont une forte incidence sur les caractéristiques des incendies de végétation à plusieurs échelles temporelles et spatiales. Ainsi, les conditions plus chaudes, plus sèches et plus venteuses augmentent toutes la probabilité que les incendies de végétation s'allument, se propagent et s'intensifient (Moritz et al., 2005). Par exemple, des études paléoécologiques ont conclu que pour chaque degré Celsius de réchauffement, la taille des feux triple dans la forêt boréale du Canada (Ali et al., 2012). Dans l'est du Canada, la sensibilité des incendies de végétation aux changements des conditions atmosphériques et océaniques dans l'Atlantique Nord est également notable (Wazneh et al. 2021). Ces découvertes soulignent l'influence complexe et multifactorielle du climat sur l'activité des feux, indiquant que tant les facteurs locaux que globaux doivent être pris en compte dans la gestion des risques de feux et dans les stratégies d'adaptation aux changements climatiques. Les changements climatiques récents sont donc susceptibles de fortement influencer ce régime de perturbation.

Le Québec a déjà vécu des périodes où les feux étaient beaucoup plus fréquents qu'ils l'ont été au cours des dernières décennies, ce qui indique que **le Québec peut tout à fait subir une activité des feux très importante**. Ainsi, des études montrent une diminution de l'activité des incendies de végétation au Québec au cours du 20<sup>e</sup> siècle par rapport à la période préindustrielle (Drobyshev et al. 2017; Danneyrolles et al. 2021; Chavardès et al. 2022), une évolution corrélée à une baisse de l'intensité des sécheresses estivales (Girardin and Wotton 2009; Girardin et al. 2009, 2013). Cependant, le réchauffement climatique observé ces dernières décennies a conduit à un allongement de la saison des feux (Jain et al. 2017) et à l'émergence de conditions météorologiques propices aux feux plus sévères et plus fréquentes, entraînant une diminution significative de la teneur en eau de la végétation sur une grande partie de l'année (Ellis et al. 2022; Jain et al. 2022). Cette situation augmente l'inflammabilité des matériaux combustibles, le potentiel d'allumage des feux et influence grandement le comportement et la sévérité des feux.

Dans les écosystèmes nordiques, et notamment dans la forêt boréale, on observe **une augmentation notable de la superficie annuelle brûlée et de la taille des grands feux depuis le milieu du 20<sup>e</sup> siècle** (Hanes et al. 2019). Cette tendance est principalement attribuable à l'augmentation des températures (Gillett et al. 2004). De plus, l'intensification du l'impact humain sur le climat a rendu les conditions météorologiques favorisant les feux, et notamment les grands

feux, (>200 ha) plus probables au Canada (Hanes et al. 2019). Cette situation a conduit à des saisons de feu record et à des conditions extrêmes favorables aux feux à l'échelle suprarégionale (Kirchmeier-Young et al. 2017, 2018). Depuis 1959, la superficie annuelle moyenne brûlée au Canada a plus que doublé, augmentant à un rythme alarmant de 300 000 ha par décennie (Hanes et al. 2019). Par conséquent, les coûts associés à la gestion et à la suppression (i.e., l'extinction) des incendies ont également augmenté, avec une hausse annuelle de 120 millions de dollars canadiens (en dollars constants de 2009) depuis les années 1970 (Hope et al. 2016).

**Les prévisions suggèrent que le réchauffement climatique augmentera la gravité et la fréquence des conditions météorologiques favorables aux feux au Canada, y compris au Québec, entraînant des hausses significatives, par exemple, de la superficie annuelle brûlée** (Boulanger et al. 2014). Ainsi, dans les prochaines décennies, le réchauffement climatique est susceptible d'augmenter le nombre de jours propices à la propagation des feux, d'exacerber le déficit d'humidité et de prolonger la saison des feux. Par conséquent, plusieurs études prévoient que d'ici les prochaines décennies, l'activité des feux dans les forêts boréales du Québec augmenterait de manière significative, surtout dans la partie nord-ouest de la province. Après 2040 notamment on s'attend à des modifications majeures des régimes de feu, avec des cycles de feu inédits dans l'histoire récente de ces forêts, dépassant ce qui a été observé durant toute la période de l'Holocène (Bergeron et al. 2010).

#### 4. La saison de feux 2023 est une illustration de l'effet des changements climatiques

Alimentée par des conditions de chaleur et de sécheresse record (ESCER 2023 ; Barnes et al. 2023, Boulanger et al. 2024), la saison des feux 2023, qui s'est déroulée au Québec, en a été une de multiples extrêmes. Cette saison des feux a été un choc pour plusieurs, car la décennie précédente avait été particulièrement calme en termes d'incendies de végétation (CIFFC 2023). **Cependant, plusieurs études avaient mis en garde contre un accroissement de l'activité des feux en raison de l'augmentation du forçage climatique anthropique.** Ces études confirmaient que cette augmentation de l'activité des feux entraînerait des conséquences potentiellement désastreuses, notamment pour les infrastructures et les communautés (Erni et al. 2021). Les conséquences immédiates de ces feux sur les communautés et la sécurité publique sont évidentes, mais il est également crucial d'anticiper les effets à long terme de cette saison ainsi que ceux des saisons à venir.

La saison des feux de 2023 au Québec a été marquée par une activité exceptionnelle, avec un nombre record de feux simultanés et intenses qui ont largement sollicité, voire dépassé, les capacités de la Société de protection des forêts contre le feu du Québec (SOPFEU). Normalement, l'organisation peut gérer de 30 à 40 feux actifs par jour (Cardil et al. 2019), mais dès le début de juin, le nombre de feux actifs a explosé, passant de 21 à 132 feux dans une seule journée. Cet événement a marqué le début d'une période de 45 jours consécutifs avec plus de 30 feux actifs. Cette situation a dépassé de loin la moyenne historique, **soulignant un déficit de ressources opérationnelles et des conditions météorologiques défavorables qui ont contribué à la propagation rapide des feux** (Hirsch and Martell, 1996).

En conséquence, la SOPFEU a dû prioriser les feux menaçant directement les vies et les infrastructures essentielles, laissant moins de ressources disponibles pour ceux affectant principalement les territoires forestiers. **Cette saison des feux illustre une augmentation dramatique de la charge de travail pour les pompiers et de l'utilisation des avions-citernes,** avec des nombres d'heures largement supérieurs aux moyennes historiques, suggérant que les défis rencontrés en 2023 pourraient devenir beaucoup plus fréquents à l'avenir.

La saison des feux de 2023 a eu un impact significatif sur de nombreuses communautés au Québec, particulièrement dans le nord, où des feux se propageant rapidement ont menacé directement infrastructures critiques et habitations. Pour protéger ces zones, des coupe-feux ont été créés en urgence, tandis **que plus de 38 700 personnes ont dû être évacuées** (SCF 2023), y compris d'importantes communautés autochtones et des villes comme Sept-Îles et Chibougamau-Mistissini. Ces évacuations répétées ont exercé une pression immense sur les populations locales, les services de sécurité publique et les autorités locales, conduisant à des coûts financiers et psychologiques notables.

Parallèlement, des infrastructures critiques ont été gravement menacées, notamment le complexe hydroélectrique La Grande, qui représente 40 % de la production énergétique du Québec (Erni et al. 2017; Arseneault et al. 2023). **De nombreux feux ont touché des zones stratégiques**

**d'Hydro-Québec**, traversant des lignes électriques essentielles à l'alimentation en énergie des régions les plus peuplées de la province (Le Devoir 2023), rappelant les pannes majeures similaires causées par les incendies de 2013. **Ces événements soulignent les risques accrus pour les infrastructures essentielles** dus à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des incendies de végétation en contexte de changements climatiques, de croissance démographique et de hausse de la demande énergétique (Arseneault et al. 2023).

**Les communautés des Premières Nations ont toujours été confrontées de façon disproportionnée aux conséquences des incendies de végétation** (Grant 2023) : nombre d'entre elles sont situées dans l'interface entre les zones urbaines et les zones naturelles, sont exposées à des risques de feu plus importants et sont surreprésentées dans les événements d'évacuation liés aux incendies de végétation (Erni et al. 2021). Cette tendance s'est concrétisée en 2023, les communautés Eeyou (Cree), Anishnaabe (Algonquin), Atikamekw et Innu subissant les conséquences des incendies de végétation. Selon les données initiales recueillies par le centre d'urgence W8banaki, qui a soutenu les Premières Nations pendant la saison des feux de 2023, plus de 10 000 personnes au sein de treize communautés ont été évacuées. Les menaces étaient à la fois directes et indirectes. Celles-ci incluaient les risques pour les personnes et les infrastructures, la mauvaise qualité de l'air sur de longues périodes et la fermeture de routes qui étaient souvent le seul moyen d'accéder aux communautés.

Les communautés des Premières Nations ont dû se mobiliser très rapidement pour faire face aux incendies de végétation de 2023 (Boulangier et al. 2024). Elles ont mis à jour leurs protocoles d'intervention d'urgence et ont développé leurs connaissances en matière d'évaluation des risques et de comportement du feu. Elles ont recueilli quotidiennement des informations afin de prendre des décisions importantes pour protéger la santé et la sécurité de leurs membres. Les personnes qui étaient au cœur de la crise dans les communautés ont joué un rôle clé dans l'élaboration d'outils d'évaluation et de gestion des risques pour les feux qui surviendront dans l'avenir. La saison des feux de 2023 pourrait donc marquer le début d'une collaboration entre les institutions scientifiques et les communautés des Premières Nations, qui partagent des savoirs et des compétences complémentaires.

## 5. Impacts des changements climatiques sur les feux et leurs répercussions sur les communautés et les infrastructures

**Les recherches actuelles anticipent une hausse des incendies de végétation dans les interfaces péri-urbaines, péri-industrielles et péri-infrastructures** (qui forment ensemble les interfaces péri-humaines [IPH]) en raison des changements climatiques, mettant en lumière une augmentation du risque pour de nombreuses zones habitées dans les années à venir (Erni et al. 2021). L'incendie de Horse River dans le secteur de Fort McMurray, en Alberta, en 2016, avec des pertes en biens assurables estimées à 3,7 milliards de dollars, illustre l'ampleur financière potentielle de ces catastrophes.

Une étude menée au Service canadien des forêts révèle qu'un quart du territoire forestier canadien dans les interfaces péri-humaines est actuellement exposé à des cycles de feux relativement courts, soit moins de 250 ans (Erni et al. 2021). Une proportion non-négligeable de ces régions se retrouvent dans le nord-ouest du Québec, dans une région s'étendant du Saguenay Lac-St-Jean, à l'Abitibi et au nord à la Baie James. Les communautés autochtones, qui représentent près d'un tiers des habitants de l'IPH et 12 % de la population canadienne, sont particulièrement vulnérables, avec environ 18 % de ces communautés exposées à un risque de feux aussi important, comparativement à seulement 5 % pour l'ensemble de la population canadienne dans les IPH (Erni et al. 2021).

Il est prévu que les changements climatiques accentuent ce risque dans les années à venir, réduisant potentiellement l'intervalle moyen entre deux feux à moins de 100 ans dans certaines régions, notamment dans le nord-ouest du Québec (Erni et al. 2021). Ces changements seraient particulièrement importants pour les communautés autochtones qui s'y trouvent. Ainsi, dans le scénario le plus pessimiste pour l'an 2100, jusqu'à 39 % des communautés autochtones canadiennes pourraient être exposées à des intervalles de retour de feu de moins de 250 ans, contre 18 % pour la population générale vivant dans l'IPH. En tout et pour tout, les pertes matérielles et de ressources, ainsi que les évacuations des communautés seraient amenées à fortement augmenter, particulièrement auprès des communautés nordiques.

**En plus d'augmenter le risque de feu à l'échelle régionale, les communautés et les infrastructures qui en dépendent devront faire face à un comportement des feux plus sévère en raison des changements climatiques** (Dawe et al. 2022). Ainsi, le territoire couvert par les feux pouvant affecter une communauté ou une infrastructure donnée (ce qu'on appelle le bassin pyrographique), s'agrandira alors que l'intensité des feux sera sensiblement plus élevée, diminuant l'efficacité des ressources de suppression (Dawe et al. 2022). Par ailleurs, les modifications que les changements climatiques apporteront eux-mêmes à la végétation autour de ces valeurs à risque devront être considérées (Boulangier et al. 2023), **de même que celles amenés par l'aménagement forestier à l'échelle du paysage** (Arseneault et al. 2023).

À l'échelle du Québec, **certaines régions sont déjà exposées à des probabilités de brûler très élevées** (Bernier et al. 2016). Notamment, il a été démontré que **le territoire du complexe La**

**Grande** et les valeurs à risque qui s’y retrouvent, sont particulièrement exposés. Plus spécifiquement, le triangle formé des communautés de Radisson, Chisasibi et Wemindji se caractérise par des probabilités de brûler très élevées (Arseneault et al. 2023). **Cette exposition est amenée à fortement augmenter dans le futur** en raison des changements climatiques, exposant davantage les valeurs à risque qui s’y trouvent.

À l’heure actuelle, bien que certaines analyses aient été entreprises à l’intérieur de mandats et de contextes spécifiques, **il n’existe pas d’analyse permettant d’évaluer les risques actuels et futurs à l’échelle de chaque communauté ou infrastructure au Québec**. De plus, **il n’existe actuellement que très peu de données et modèles permettant d’évaluer la susceptibilité des diverses valeurs à risque aux incendies de végétation**, rendant ainsi difficile la production d’évaluation de risque exhaustive. Toutefois, les analyses qui ont été effectuées jusqu’à maintenant démontrent la nécessité de bien connaître l’exposition à l’aléa (ici les incendies de végétation) parce que celui-ci est vraisemblablement très différent d’une région à l’autre, en fonction du climat régional mais aussi la configuration des combustibles dans leur entourage immédiat.

## 6. Impacts des changements climatiques sur les feux et leurs répercussions sur la charge de travail des pompiers forestiers et les coûts de suppression des feux

Les inquiétudes concernant les coûts et la capacité des agences canadiennes de gestion des feux à répondre efficacement aux incendies de végétation, en particulier dans le contexte des changements climatiques, sont en augmentation. Les saisons de feux intenses génèrent une demande importante pour les ressources de lutte contre les feux, que ce soit à l'échelle interagences ou internationale. Les pertes économiques dues aux incendies de forêt peuvent être difficiles à calculer et comprennent des coûts directs et indirects. Compte tenu de l'augmentation de l'activité des incendies de végétation en raison des changements climatiques, **la plupart des provinces canadiennes pourraient voir leurs dépenses annuelles doubler d'ici la fin du siècle**, tandis que **les coûts annuels moyens totaux pour le Canada pourraient dépasser 1,4 milliard de dollars** au cours de la même période (Hope et al 2016).

Pour surveiller les incendies, les agences canadiennes de gestion des feux planifient méticuleusement le déploiement des ressources dédiées à la lutte contre ces derniers, incluant tant les pompiers sur le terrain que l'utilisation d'avions-citernes (Tymstra et al. 2020). La collecte et l'analyse de l'information et des données relatives à ces activités sont fondamentales. Elles permettent non seulement de comprendre les besoins actuels de ces agences, mais aussi d'anticiper les variations futures de la charge de travail dans différentes régions du Canada (Cardil et al. 2019; Boucher et al., en préparation). Ces informations jouent un rôle crucial dans la planification stratégique et la prise de décisions efficaces, notamment en ce qui concerne le recrutement de pompiers, la quantité d'avions-citernes nécessaires et la détermination des emplacements stratégiques pour leurs bases (Boychuk et al 2020).

**Les projections révèlent une tendance à la hausse de l'activité des feux et des charges de travail associées à leur suppression, particulièrement marquée dans la deuxième moitié du 21e siècle et menant à une augmentation du nombre de feux incontrôlés** (Boucher et al., en préparation). En effet, **avec l'intensification des changements climatiques, des scénarios comme celui de la saison des feux de 2023, où les capacités de suppression des feux sont débordées, devraient devenir plus fréquents**. Cela est dû à l'augmentation prévue du nombre d'incendies, de la superficie brûlée, des conditions favorables à la propagation des incendies et des jours d'incendies intenses qui entravent les efforts de suppression, et ce même pour les avions-citernes (Wotton et al. 2017). Des travaux récents ont indiqué que cela aurait un impact direct sur la charge de travail des pompiers et des avions-citernes (c'est-à-dire le nombre d'heures consacrées aux activités de lutte contre les incendies) (Boucher et al., en préparation). La saison des feux 2023 est un exemple de ces impacts, où la charge de travail pour les pompiers et les avions-citernes a été similaire à celle prévue pour la fin de ce siècle (2071-2100) sous le scénario RCP 8.5 (Boucher et al. en préparation).

**En plus d'augmenter la charge de travail des ressources de suppression, ces conditions de plus en plus extrêmes poseront un risque accru de fatigue et de danger pour les pompiers opérant tant sur le terrain que dans les airs**. Il faut aussi penser que malgré une dépendance

accrue envers les moyens aériens pour contrer ces feux intenses, des limitations demeurent, notamment en termes de disponibilité des aéronefs et des pilotes et des coûts opérationnels des avions-citernes.

En raison de prévisions indiquant un doublement des coûts de suppression d'ici la fin du siècle (Hope et al. 2016) et de la grande échelle des impacts potentiels des feux, **une gamme complète d'approches complémentaires s'avère nécessaire**. Ces **stratégies incluent l'engagement communautaire, la modernisation des structures, l'aménagement de zones tampons et la gestion stratégique des combustibles à différents niveaux**. Des analyses et **modélisations proactives** peuvent également aider à déterminer les zones prioritaires pour l'atténuation des combustibles (Parisien et al. 2005), en prenant en compte les processus écologiques, les taux de maturation des espèces d'arbres et les impacts potentiels sur la faune et la propagation des espèces invasives. Ces efforts visent à adapter les communautés et les écosystèmes aux changements climatiques et à renforcer leur résilience face aux futurs feux au Canada.

#### Considération 1 : Inclusion des changements climatiques

Tel que nous l'avons démontré précédemment dans le texte, **la considération omniprésente des changements climatiques dans l'édiction de la loi** sur la sécurité publique civile visant à favoriser la résilience aux sinistres, de même que dans les articles de la loi où cette considération est présentement nommée (voir extraits ci-dessous), va dans le même sens que nous l'indique la science traitant de l'effet des changements climatiques sur les incendies de végétations.

Le projet de loi 50 souligne que « [...] *le Québec est confronté à une augmentation de la fréquence et de l'ampleur des sinistres, notamment en raison des changements climatiques [...]* ». De plus, elle mentionne que « [...] *la sécurité civile entretient des liens indissociables et interdépendants avec les autres domaines qui y concourent, dont l'aménagement et le développement durables du territoire, l'environnement, la lutte contre les changements climatiques, la santé et l'économie* ». Selon nous, et en considérant les impacts mentionnés ci-dessus, l'inclusion de cette notion est excessivement appropriée et se doit d'être située au cœur de l'esprit du projet de loi. La considération des changements climatiques dans la démarche de gestion des risques des sinistres aux **articles 8 et 39** nous apparaît essentielle. Il en est de même dans la *section III, Gestion des risques de sinistre* lorsqu'on mentionne explicitement l'importance de considérer les changements climatiques lors de la planification (**article 43**) et la protection des biens et services essentiels (**article 48**).

## 7. Améliorer les capacités de détection, de suivi et de suppression des feux

Dans les zones de protection intensive au Canada, l'objectif des agences de lutte contre les incendies de végétation est d'atténuer leur impact en les détectant et les maîtrisant le plus rapidement possible (Tymstra et al. 2020). Cet objectif est atteint en limitant la propagation des incendies, en réduisant l'occurrence des grands incendies et en minimisant leurs effets néfastes. Pour ce faire, les agences mettent en place des systèmes de détection des incendies et déploient des stratégies d'attaque initiale afin de les contenir rapidement, évitant ainsi des dommages importants et la nécessité d'opérations de suppression des incendies vastes et coûteuses.

Dans la zone de protection intensive (ZPI) du Québec, la SOPFEU poursuit quatre objectifs principaux pour gérer efficacement les incendies (Cardil et al. 2019). Ces objectifs comprennent la détection précoce des incendies avant qu'ils ne dépassent 0,5 hectare, l'attaque initiale dans l'heure qui suit la détection, le contrôle du périmètre de l'incendie avant la prochaine période de brûlage (avant 10 heures le lendemain) et l'extinction des incendies avant qu'ils n'atteignent une superficie supérieure à 3 hectares. La réalisation de ces objectifs, en particulier le dernier, sert de référence pour évaluer l'efficacité du système de protection contre les incendies, comme dans les autres provinces.

Le système de gestion des incendies au sein de la ZPI est centralisé, ce qui garantit que les ressources sont allouées efficacement dans toutes les zones sur la base d'objectifs opérationnels et de critères de priorité uniformes. En cas d'incendies multiples, les priorités sont attribuées selon un ordre précis : protection des vies humaines, sauvegarde des infrastructures publiques et privées essentielles, probabilité de réussite de l'attaque initiale, contrôle et efforts de suppression, et enfin, conservation des zones forestières. Cette approche structurée permet d'apporter une réponse coordonnée et efficace aux incendies de végétation, en mettant l'accent sur la protection des vies humaines, des infrastructures et des ressources naturelles.

Au cours de la saison des feux 2023, un grand nombre de ressources, tant humaines que matérielles, initialement destinées à la suppression des feux, ont été mobilisées pour appuyer des interventions rapides et réactives afin de préserver les communautés et les infrastructures menacées par les incendies de végétation. **Cette saison suggère que la capacité opérationnelle de la SOPFEU, qui est de 30 à 40 feux actifs par jour, devra vraisemblablement être augmentée si l'on veut réduire le nombre de feux brûlant librement chaque année. De plus, la capacité de suppression aérienne semble avoir plafonné à un peu plus de 3 000 heures par saison de feu, comme le prouvent les saisons de feu de 2005 et 2023. Cela pourrait être dû au vieillissement à l'échelle mondiale de la flotte des avions-citernes (Radio-Canada 2023) les plus efficaces dans nos conditions boréales (principalement les CL-215 et CL-415, McFayden et al 2023) et à la rareté des pilotes qualifiés (Noovo Info 2023). Comme il l'a été démontré ci-dessus, ces éléments s'additionnent au fait que la charge de travail devrait fortement augmenter en raison des changements climatiques dans les prochaines décennies.**

Ces analyses suggèrent alors qu'**il sera crucial de renforcer les capacités de détection, de suivi et de suppressions des incendies de végétation**. Améliorer la résolution spatiale et temporelle de la surveillance (par exemple, grâce à la télédétection des points chauds sur une base quotidienne) permettrait entre autres de réagir plus rapidement en cas d'incendie de végétation, ce qui pourrait sauver des vies et réduire les dégâts matériels. Par ailleurs, **l'acquisition de nouveaux avions serait avantageuse**, et il serait profitable que ces acquisitions se fassent à moyen terme afin d'en garantir leur disponibilité opérationnelle d'ici 2030 (Le Soleil 2023). **Parallèlement, de nouveaux pilotes et mécaniciens devront être recrutés et formés**.

Considération 2: Soutenir et améliorer les capacités de détection, de suivi et de suppression des feux

Dans l'esprit de l'extrait du PL50 ci-dessous, **il semble important de maintenir, voire augmenter les capacités de l'organisme en charge de la protection contre les incendies de végétation**. Cela devrait être **en adéquation avec les besoins actuels et futurs** en matière de détection, de suivi et de suppression des incendies de végétation tels qu'identifiés ci-dessus.

**L'article 29** du projet du loi 50 suggère « [...] *de promouvoir les bonnes pratiques en matière de sécurité civile* [...] » de même que « [...] *de favoriser la concertation entre tous les acteurs de la sécurité civile* [...] » ainsi que « [...] *d'assurer une veille des sinistres et de leur évolution* [...] ».

## 8. Présentation d'un cadre d'évaluation du risque aux incendies de végétation

En 2015, le Canada a rejoint la majeure partie de la communauté internationale en adoptant le Cadre de Sendai (UNISDR 2015) pour la Réduction des Risques de Catastrophes (2015-2030) des Nations Unies, un document clé soulignant l'importance de mettre en œuvre des évaluations exhaustives et des mesures de réduction des risques de catastrophes liés aux aléas naturels. À la suite de cela, plusieurs pays ont développé des cadres généraux pour l'évaluation des risques liés aux aléas naturels. Dans cet esprit, nous résumons ici un cadre visant à **établir des fondements communs pour une évaluation précise et pour promouvoir une compréhension unifiée des concepts de risque, tout en proposant une méthodologie standardisée adaptable par divers utilisateurs.**

La gestion des risques liés aux incendies de végétation au Canada est une responsabilité partagée entre les gouvernements fédéral, provinciaux, territoriaux, ainsi que les autorités régionales, municipales et autochtones. Le Centre interagences des feux de forêt du Canada (CIFFC) coordonne le soutien national et international, la planification stratégique et le partage d'informations, tandis que le Conseil canadien des ministres des forêts (CCMF) facilite la coordination et la collaboration en matière de gestion des feux. Cette coopération intergouvernementale vise à renforcer la résilience du Canada face aux incendies de végétation, **nécessitant toutefois l'engagement de toute la société pour atteindre des objectifs communs de gestion du risque face aux incendies de végétation.**

Le cadre proposé vise à fournir des lignes directrices cohérentes pour aider les citoyens et gestionnaires du territoire à évaluer les risques d'incendies de végétation à l'échelle du paysage (Parisien et al. en préparation). Il a été conçu pour le contexte canadien, en se basant sur la littérature scientifique portant sur le risque aux aléas naturels (Thompson et Calkin 2011; Parisien et al. 2019; Johnston et al. 2020; Bénichou et al. 2021) et plus particulièrement sur les travaux de Scott et al (2013). Ce cadre définit le **risque d'incendie de végétation** comme le produit des **impacts** et de l'**aléa** à un endroit donné (Figure 1). Les impacts sont mesurés par rapport aux **ressources et aux actifs (RA)** concernés et sont composés de la **susceptibilité** de ces RA à être affectés par un incendie de végétation et de leur **exposition**, soit le chevauchement spatial des RA avec des incendies potentiellement dangereux. L'aléa se compose de la **probabilité d'occurrence d'un incendie** à un endroit et à un moment donné et de sa **magnitude**, qui est souvent définie comme l'énergie dégagée par le feu (c'est-à-dire l'intensité du feu), bien que d'autres mesures du comportement de l'incendie puissent également être utilisées (p. ex., vitesse de propagation, fumée). Pour bien comprendre le risque, il est impératif de mesurer et interpréter chacun de ces quatre éléments.

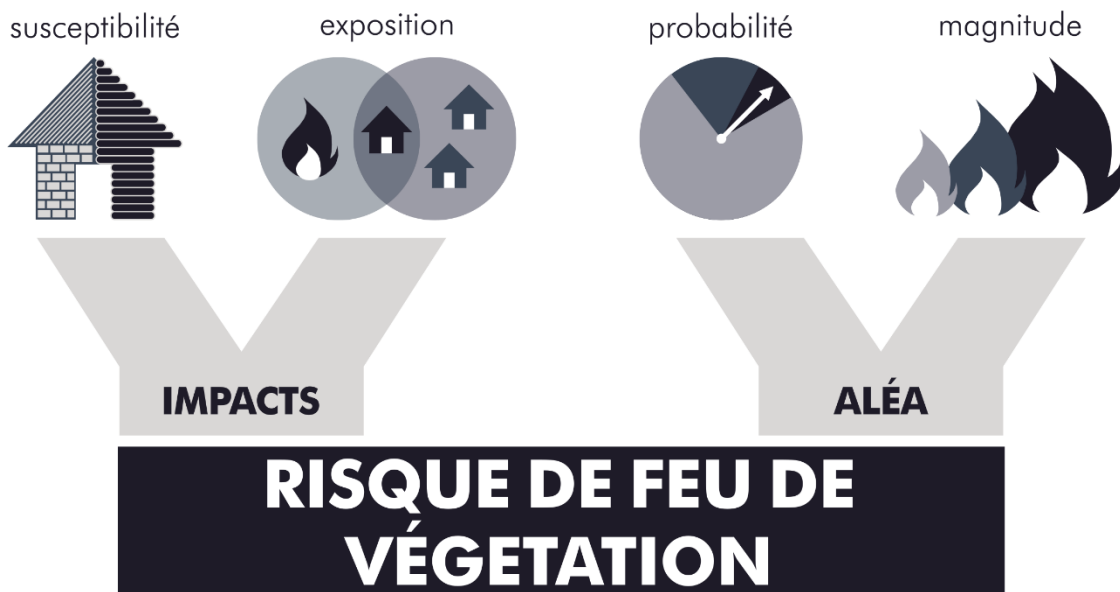


Figure 1. Le risque d'incendie de végétation se définit comme le produit des impacts et de l'aléa, où les impacts sont composés par la susceptibilité et l'exposition, et l'aléa est composé de la probabilité d'incendie et de sa magnitude (tiré du Cadre national d'évaluation du risque aux incendies de végétation pour le Canada; Parisien et al. en préparation).

Dans ce cadre, l'évaluation des risques d'incendie de forêt comprend quatre étapes : l'établissement de la portée de l'évaluation, la collecte de données, l'évaluation et la réévaluation (Figure 2).

- i. L'établissement de la portée nécessite la constitution d'une équipe de planification chargée de mener des consultations avec l'ensemble de la société pour identifier les ressources et les actifs (RA) concernés, de déterminer l'étendue temporelle (p. ex., l'année en cours ou les 20 prochaines années) et spatiale qui présente un intérêt, et sélectionner les outils et méthodologies à utiliser pour dériver les éléments de risque.
- ii. L'étape de la collecte de données consiste à compiler toutes les données pertinentes nécessaires à l'évaluation, telles que celles décrivant l'historique des incendies, la couverture terrestre, les conditions météorologiques et climatiques, l'identification et l'emplacement des RA d'intérêt, et la sélection des fonctions de réponses pour la susceptibilité de ces RA au feu.
- iii. Lors de la phase d'évaluation, les quatre éléments du risque sont calculés et combinés en une mesure globale du risque d'incendie de végétation.
- iv. **Une réévaluation du risque doit être entreprise lorsque les priorités ou les objectifs de l'évaluation des risques changent, ou lorsque des changements significatifs se produisent dans le paysage en raison de l'évolution du couvert végétal, des conditions météorologiques, de la démographie et des zones à risque.**

L'évaluation complète n'est pas toujours nécessaire, et le cadre est présenté de manière modulaire afin d'aider les utilisateurs à identifier leurs propres priorités et à choisir la voie appropriée. Un document complet présentant ce cadre est présentement à l'étape de révision par les pairs, et deux exemples d'application d'évaluation du risque y seront présentés.

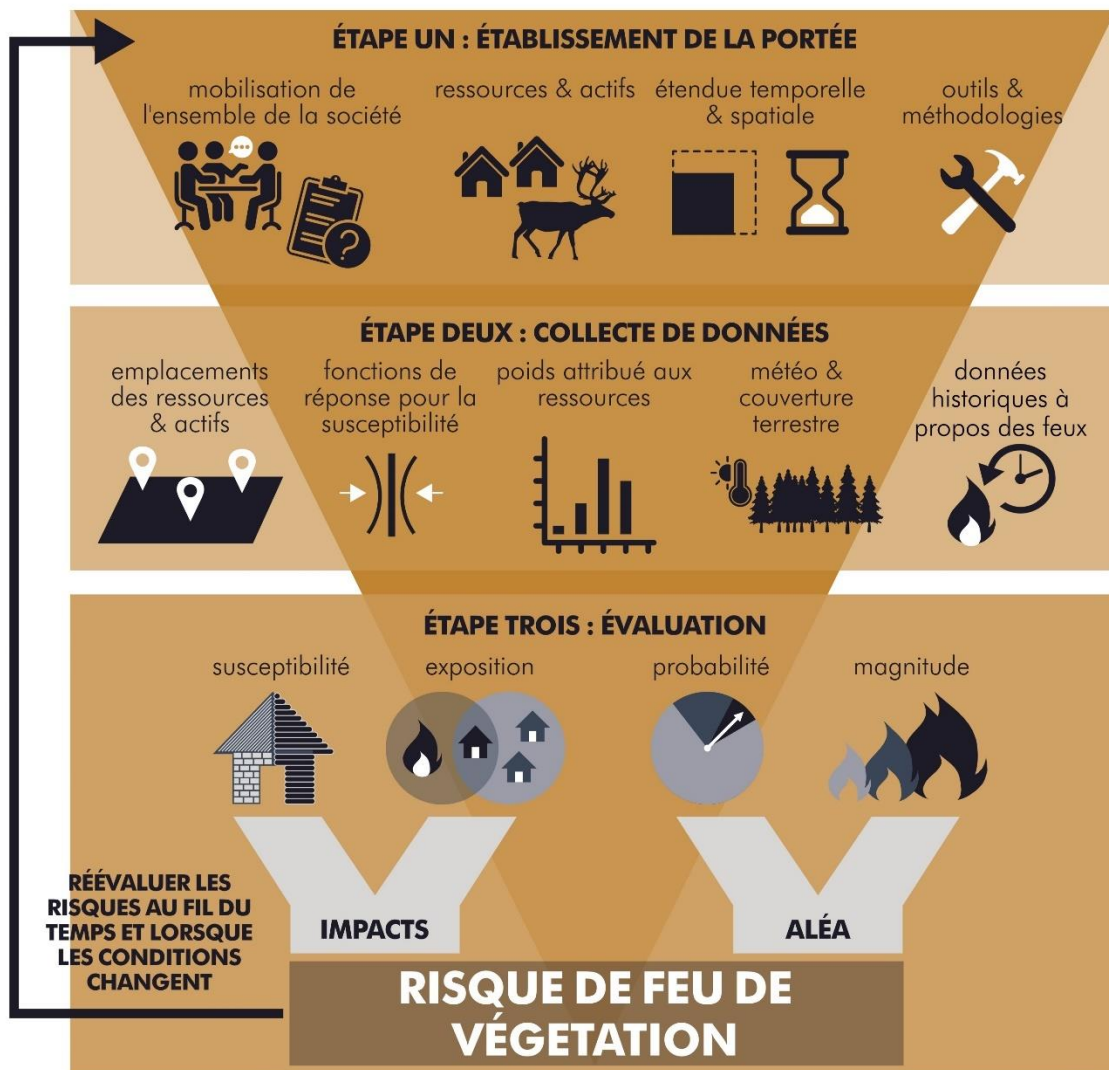


Figure 2. Principales étapes et considérations pour l'élaboration d'une évaluation de risque aux incendies de végétation (tiré du Cadre national d'évaluation du risque aux incendies de végétation pour le Canada; Parisien et al. en préparation).

Ci-dessous, nous faisons part de considérations pour le PL50, en lien avec ce cadre, et plus particulièrement en lien avec les étapes pour l'élaboration d'une évaluation de risque aux incendies de végétation. **Le processus d'évaluation du risque nécessite une grande quantité de données comme le prévoit le cadre mentionné ci-dessus.** Ceci est exacerbé par les besoins relatifs au développement de connaissances scientifiques liées au risque, à la réévaluation et au processus

d'amélioration continue permettant de tenir compte des environnements physique, social et scientifique changeants. Le projet de loi fait référence à maintes reprises à des données qui devront être colligées en lien avec les sinistres (voir les extrais ci-dessous). Ce sont là des opportunités qui nous portent à émettre certaines des considérations (**voir considérations 5, 7 et 8**) quant à la création de base de données sur ces éléments, puisque certaines de ces informations seront publiques. Voir l'extrait ci-dessous à titre d'exemple :

**L'article 72** mentionne « [...] *ont un caractère public les renseignements relatifs aux sommes versées à une personne physique en application d'un programme* ».

#### Considération 3 : Définition commune du risque

Il existe dans la littérature plusieurs définitions de « risque » et celles-ci peuvent varier selon l'aléa et l'objectif recherché. Notre cadre présente une définition intégrant les éléments critiques présents dans la littérature, dont la notion importante de produit entre l'aléa et les impacts potentiels, puisqu'en l'absence d'un de ces éléments, le risque est nul. La définition de « risque de sinistre » présentée au PL50 (voir extrait ci-dessous) est en accord avec celle que nous proposons dans le cadre. Toutefois elle utilise une terminologie différente, i.e., « conséquences » plutôt qu'« impacts »; et bien qu'elle intègre la « probabilité d'occurrence », elle n'intègre pas la notion de « magnitude » de l'aléa. Ce n'est pas là une considération critique, mais **l'utilisation d'une même terminologie dans la définition du risque pourrait faciliter l'intégration et l'utilisation de la science et des produits faits à l'échelle pancanadienne par des organismes comme le Service canadien des forêts, mais aussi une meilleure intégration dans un contexte multi-aléas.**

Page 9, paragraphe 3 : « *« risque de sinistre » : risque qui, en fonction de la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un aléa et des conséquences potentielles pouvant en résulter sur les éléments vulnérables d'un milieu, est susceptible de causer un sinistre; »*

#### Considération 4: Processus consultatif dans la gestion et l'analyse du risque

Selon l'approche mise de l'avant par notre cadre, celui-ci **se doit d'être un processus permettant de mobiliser l'ensemble de la société concernée**. En effet, il est essentiel d'inclure les membres du public le plus tôt possible afin de s'assurer qu'un large éventail de points de vue, de valeurs et de préoccupations sont pris en compte pour fixer les objectifs, définir l'étendue temporelle et spatiale, les ressources et actifs d'intérêt ou préoccupant, identifier les sources de données, les outils, les méthodes et l'expertise nécessaires. Inévitablement, de nouvelles personnes sont identifiées pour participer au processus, ce qui peut entraîner une redéfinition de la portée, des objectifs, des RAs, des données, des méthodes et des outils. **Nous reconnaissons donc la considération qu'un tel processus consultatif soit présent dans le PL50**, tel qu'illustré par ces extraits :

Page 8, paragraphe 1: «*CONSIDÉRANT que la sécurité civile constitue une responsabilité partagée entre les différents acteurs de la société qui doit être abordée selon une approche globale et intégrée afin de favoriser leur concertation et la cohérence de leurs décisions;*»

Et

Page 10, paragraphe 2 : « *Elles doivent favoriser la participation de leurs citoyens à la sécurité civile, notamment en les consultant et en les informant sur ces mesures ainsi que sur celles qu'ils peuvent prendre pour réduire les risques de sinistre et pour limiter les conséquences des sinistres.*»

Considération 5 : Création d'une base de données géospatiale sur les ressources et actifs

**Actuellement, il n'y a pas de base de données géospatiale exhaustive pour les ressources et actifs sur le territoire.** Avoir une telle information faciliterait la gestion du risque pour celles-ci. L'information concernant les biens ou les activités pouvant être à l'origine d'un sinistre n'est pas non plus accessible. Avoir cette information pourrait aider à prévenir les effets en cascade où un incendie de végétation viendrait déclencher un second sinistre, par exemple en brûlant un entrepôt de produit toxique.

PL50, Page 2, paragraphe 4 : « *Le projet de loi prévoit que les personnes dont les biens ou les activités peuvent être à l'origine d'un sinistre que le gouvernement détermine par règlement doivent collaborer avec les autorités municipales en produisant une déclaration de risque. »*

Ce passage du projet de loi soulève l'opportunité d'**organiser l'information et l'emplacement relatifs aux ressources et actifs sur le territoire sous la forme d'une base de données géospatiale.** Cela faciliterait la gestion du risque, incluant son évaluation et son atténuation, tout en facilitant l'intégration de celle-ci à diverses échelles spatiales. De plus, une telle information géospatiale bénéficierait aussi à la gestion et aux opérations d'urgence face à un sinistre imminent ou en cours.

Considération 6 : Amélioration des connaissances sur la susceptibilité

Mis à part notre modèle de réponse des structures de type résidentiel au feu (*FireLossRate*; Abo El Ezz et al. 2022; Nicoletta et al. 2023), il n'existe actuellement que très peu de données et modèles permettant d'évaluer la susceptibilité des diverses ressources et actifs face aux incendies de végétation, rendant ainsi difficile la production d'évaluations de risque exhaustives. Face aux obligations énoncées dans le PL50 quant à l'évaluation, l'atténuation et la gestion du risque, il appert évident qu'il existe un besoin de **développer une meilleure compréhension scientifique des susceptibilités, tant physiques que socio-économiques, des**

**divers RAs sur le territoire du Québec.** Cela semble être dans l'esprit de la loi, tel que capté par l'extrait ci-dessous :

PL50, Page 3 paragraphe 2 : « [...] *dont la coordination d'une démarche gouvernementale de gestion des risques de sinistre visant à développer la connaissance des risques de sinistre d'intérêt national ainsi qu'à planifier et à mettre en place des mesures pour prévenir les sinistres et pour préparer la réponse à ceux-ci.* »

Considération 7 : Création d'une base de données géospatiale sur les impacts

En référence à la considération précédente, un tel développement de connaissances sur les susceptibilités gagnerait à être supporté par une science basée sur les données probantes. Le PL50 souligne des obligations en lien avec le suivi des sinistres, ce qui présente une opportunité inouïe pour la **mise en place de base de données sur les impacts aux différents RAs.**

**l'article 17** stipule qu'une « [...] *municipalité locale doit, dans les six mois suivant le déploiement de mesures d'intervention pour répondre à un sinistre survenu sur son territoire ou qui y était imminent, communiquer à la municipalité régionale et au ministre, selon les modalités que ce dernier détermine, l'aléa en cause, la date, l'heure, le lieu, le territoire, les causes probables et les circonstances du sinistre de même que ses conséquences, notamment sur les personnes et les biens, ainsi qu'une description des mesures déployées.* ».

De plus, **l'article 26** mentionne qu'une « [...] *municipalité locale ayant déclaré l'état d'urgence doit produire un rapport dans les six mois suivant la fin de l'état d'urgence. Ce rapport doit préciser la date et l'heure de la déclaration d'état d'urgence, la durée de l'état d'urgence, la nature du sinistre à l'origine de celui-ci et les pouvoirs extraordinaires exercés en vertu du premier alinéa de l'article 23* ».

Par ailleurs, **l'article 60** affirme que le « [...] *ministre doit déposer un rapport à l'Assemblée nationale, dans les six mois suivant la fin de l'état d'urgence national ou, si elle ne siège pas, dans les 15 jours de la reprise de ses travaux. Ce rapport doit préciser la date, l'heure, le lieu, la nature, les causes probables et les circonstances de l'événement, la date et l'heure de la déclaration d'état d'urgence, la durée de l'état d'urgence ainsi que les mesures déployées et les pouvoirs exercés en vertu de l'article 57* ».

Considération 8 : Création ou maintien d'une base de données sur les feux, les activités de suppression et les mesures d'atténuation

Les données historiques à propos des feux représentent une information critique afin de comprendre les régimes de feux et d'évaluer adéquatement les risques associés. Depuis sa création

en 1994, la SOPFEU est parmi les meilleures agences de gestion des incendies de végétation au pays en ce qui a trait à la gestion de données sur leurs opérations. Bien qu'une telle **gestion de l'information sur les incendies de végétation, les activités de suppression et la protection des communautés et infrastructures**, puisse sembler lourde et coûteuse, elle est excessivement profitable et **devrait être encouragée et maintenue dans le temps**, dans la foulée du nouveau mandat de l'organisme de protection :

Page 4, paragraphe 4 : « *Par ailleurs, le projet de loi transfère au ministre de la Sécurité publique le pouvoir de désigner un organisme de protection contre les incendies de forêt et élargit la charge de cet organisme à la protection des communautés et des infrastructures stratégiques. Ce faisant, il accorde au ministre le pouvoir d'ordonner toute mesure pour assurer la sécurité publique lorsqu'un incendie de forêt ou qu'un risque d'un tel incendie l'exige, notamment restreindre ou interdire la circulation en forêt ainsi que l'accès à celle-ci et interdire de faire des feux sur le territoire qu'il détermine.* »

Les divers extraits du projet de loi regroupés ci-dessous mettent en lumière les obligations en lien avec la planification et la mise en place de mesures de résilience, qui sont donc aussi des opportunités pour **mettre en place un suivi sous la forme de base de données des mesures de résilience ou d'atténuation des risques**. Ce type d'information est nécessaire afin de donner un éclairage sur les effets des différentes mesures entre elles et même sur le maintien de leur effet dans le temps face à un environnement en constant changement (p. ex., les changements climatiques). À terme, cette information servira à développer des modèles qui permettront d'optimiser la planification, le choix et la mise en place des diverses mesures de résilience et d'atténuation des risques.

**L'article 9** mentionne « *Chaque municipalité régionale doit adopter un plan régional de résilience aux sinistres dans lequel sont consignées les mesures planifiées dans le cadre de la démarche de gestion des risques de sinistre et mettre en place celles dont elle est responsable, le cas échéant.* »

**L'article 44** mentionne « *Le ministre établit un plan national de résilience aux sinistres dans lequel sont consignées les mesures planifiées dans le cadre de la démarche de gestion des risques de sinistre pour accroître la connaissance des risques de sinistre et pour prévenir les sinistres.* »

**L'article 46** mentionne « *Le plan national de résilience aux sinistres et le plan gouvernemental de réponse aux sinistres sont publiés sur le site Internet du ministère de la Sécurité publique, après qu'en a été extrait, s'il y a lieu, tout renseignement susceptible de compromettre la sécurité d'installations, d'infrastructures, d'équipements ou de tout autre type de biens.* »

**L'article 48** mentionne « *[...] mettre en place des mesures destinées à réduire l'importance des aléas pouvant affecter ces biens ou ces services et la vulnérabilité de ceux-ci à ces aléas, en tenant compte notamment des changements climatiques.* »

#### Considération 9 : Réévaluer les risques au fil du temps

Il s'agit de la quatrième étape du cadre présenté à la Figure 2. Celle-ci rappelle l'importance de garder à l'esprit que les évaluations de risque doivent être refaites après un certain nombre d'années afin qu'elles restent valables en fonction des changements dans l'aménagement et l'utilisation du territoire, des changements dans l'état ou la priorisation des valeurs à risques, des changements dans les susceptibilités socio-économiques, des changements relatifs au climat et des changements liés à un sinistre récent. **Cet aspect de réévaluation des risques semble couvert par le concept d'amélioration continue, présenté ci-dessous dans l'extrait du PL50, mais qui pourrait gagner à être plus explicite dans son application.**

*L'article 8 mentionne « [...] chaque municipalité régionale doit réaliser, en complémentarité et en cohérence avec les autres domaines de sa compétence qui concourent à la sécurité civile et en tenant compte des changements climatiques, une démarche de gestion des risques de sinistre, selon un processus d'amélioration continue [...] ».*

## 9. Pour une meilleure résilience et protection des valeurs à risque

À l’instar des enseignements provenant de la saison des feux de 2023, les études scientifiques menées au cours des dernières années (Bernier et al. 2016; Erni et al. 2021; Dawe et al. 2022; Arseneault et al. 2023) **démontrent la vulnérabilité des communautés et des infrastructures critiques aux incendies de végétation au Québec**. De plus, ces études accentuent l’importance cruciale de la préparation et de la réponse aux urgences, ainsi que de l’adaptation aux défis posés par les changements climatiques pour garantir la sécurité et la résilience des communautés et des infrastructures essentielles au Québec. Elles mettent en évidence la **nécessité de mieux connaître les risques aux communautés et aux infrastructures et d’améliorer les stratégies d’atténuation des risques** de feux près des infrastructures vitales, surtout dans les zones éloignées, afin d’assurer la sécurité et la continuité des services essentiels.

### *9.1. Réaliser des évaluations de risque pour identifier les zones les plus vulnérables*

Pour coexister avec les défis posés par les incendies de végétation, il est impératif d’adopter des approches qui nous permettent de s’ajuster et de limiter autant que possible les pertes et les dommages. Cela implique une gestion des risques efficace, qui commence par une compréhension approfondie des éléments déterminants du risque (Scott et al. 2013). **Cette compréhension facilite l’évaluation, la quantification et la représentation cartographique des risques, ce qui est crucial pour élaborer des stratégies efficaces de prévention et de réaction face à cette crise**. En essence, l’analyse et l’évaluation du risque d’incendies de végétation sont la pierre angulaire sur laquelle repose toute stratégie de gestion de ces risques. En effet, **l’évaluation des risques, notamment dans un contexte de changements climatiques, constitue une étape primordiale dans l’atténuation et l’adaptation aux risques d’incendies de végétation** tel que mentionnée précédemment dans la section portant sur le cadre d’évaluation du risque aux incendies de végétation.

**Il n’existe présentement que très peu d’études qui caractérisent les risques en considérant de manière intégrée chacun des éléments, soient la susceptibilité, l’exposition, la probabilité et la magnitude, à l’échelle provinciale** (Erni et al. 2021, 2024). Toutefois, **ces analyses revêtent une importance cruciale afin d’identifier les zones plus vulnérables et d’y apporter les mesures d’atténuation appropriées**. Par exemple, une cartographie préalable des risques de feux en 2022 dans le complexe hydroélectrique de La Grande Rivière, situé dans la région de la Baie-James, a permis d’identifier avec précision les zones qui ont été préférentiellement touchées par les feux en 2023 (Arseneault et al. 2023), ce qui souligne l’efficacité et la pertinence de ces évaluations prédictives pour la gestion des incendies de végétation (Parisien et al 2019). Le développement de connaissances à ce sujet est donc primordial.

Considération 10 : Importance de caractériser et cartographier le risque

**Nous saluons donc le fait que plusieurs articles du PL50 portent spécifiquement sur l'importance de l'évaluation des risques, notamment dans le contexte des incendies de végétation. Il n'est toutefois pas apparent qu'une cartographie cohérente du risque à grande échelle spatiale, notamment à l'échelle provinciale, est une considération dans le PL50.**

Le projet de loi stipule à la **page 3** qu'il vise à « [...] *développer la connaissance des risques de sinistre d'intérêt national ainsi qu'à planifier et à mettre en place des mesures pour prévenir les sinistres et pour préparer la réponse à ceux-ci* ».

Par ailleurs, **l'article 43** mentionne que le « [...] *ministre coordonne la réalisation d'une démarche gouvernementale de gestion des risques de sinistre, selon un processus d'amélioration continue, visant à développer la connaissance des risques de sinistre d'intérêt national ainsi qu'à planifier et à mettre en place des mesures pour prévenir les sinistres et pour préparer la réponse à ceux-ci, en vue de favoriser la résilience de la société aux sinistres* »

De plus, il est important de mentionner que **le personnel qualifié afin de mener ce genre d'évaluation de risque aux feux de forêt est pour l'instant très limité**. Ces analyses nécessitent la compréhension de notions complexes reliées aux régimes d'incendies de végétation et la maîtrise de modèles de simulation du comportement des feux (e.g., Burn-P3) ou encore de modèles permettant d'estimer les dommages aux infrastructures (fonctions de réponse pour la susceptibilité) en fonction de leurs caractéristiques et de celles des feux les affectant (e.g. modèle *FireLossRate*; Nicoletta et al. 2023).

Considération 11: Développement de l'expertise en gestion et analyse de risques aux incendies de végétation

Étant donnée l'obligation (voir extraits ci-dessous) des municipalités régionales à mettre en branle une démarche de gestion du risque, cela créera une demande accrue pour une expertise peu présente dans la province, voire au pays.

**Article 1 alinéa 2** : « À cette fin, elle vise à ce que les autorités municipales et gouvernementales développent la connaissance des risques de sinistre, planifient et mettent en place des mesures coordonnées, complémentaires et cohérentes pour prévenir les sinistres et pour préparer la réponse à ceux-ci et déploient des mesures d'intervention et de rétablissement pour répondre aux sinistres. »

Et

**Article 6 alinéa 2 :** « À cette fin, une municipalité régionale et les municipalités locales qui font partie de son territoire doivent se concerter et collaborer afin de planifier et de mettre en place, sur leur territoire, des mesures pour connaître les risques de sinistre, pour prévenir les sinistres et pour préparer la réponse à ceux-ci, en vue de favoriser la résilience de leur collectivité aux sinistres. Elles doivent favoriser la participation de leurs citoyens à la sécurité civile, notamment en les consultant et en les informant sur ces mesures ainsi que sur celles qu'ils peuvent prendre pour réduire les risques de sinistre et pour limiter les conséquences des sinistres. »

En lien avec les extraits du PL ci-dessous, **il sera important de maintenir et promouvoir le développement de l'expertise en gestion et analyse de risques reliée aux incendies de végétation au Québec, voire à développer un curriculum de formation adaptée.**

**Article 31 alinéa 3 :** « à des organisations désignées en vertu du paragraphe 6° de l'article 33 et à des associations agissant dans le domaine de la sécurité civile, notamment pour le recrutement de bénévoles, ou pour favoriser la formation de telles associations. »

**Article 33 alinéa 3 :** « organiser des activités de formation en matière de sécurité civile destinées au personnel des autorités municipales et gouvernementales ou participer à leur organisation; »

**Article 33 alinéa 4 :** « instaurer un mécanisme d'agrément des activités de formation en matière de sécurité civile offertes par des organismes ou par des entreprises et, s'il s'agit d'activités de perfectionnement, par des établissements d'enseignement; »

**Article 45 alinéa 1 :** « les activités de formation, d'évaluation ou de communication, les exercices ou les autres mesures devant être réalisés par les autorités gouvernementales afin de renforcer leur capacité à répondre aux sinistres dont les conséquences prévisibles sont d'intérêt national; »

#### *9.2. Mettre en place des mesures d'atténuation proactives autour des communautés et infrastructures vulnérables au feu*

**Il est illusoire de penser que seule une amélioration de la suppression des feux sera suffisante afin de garantir une réduction du risque** (Cardil et al. 2019). Sous certaines conditions météorologiques, il est impossible de procéder à des stratégies de suppression actives que ce soit au sol ou des airs, considérant l'intensité du front de flammes. Ces conditions de très fortes intensités se produisent lorsque les conditions météorologiques sont extrêmes, conditions qui se sont d'ailleurs présentées fréquemment en 2023 (Barnes et al. 2023; Boulanger et al. 2024). Avec les changements climatiques, ce genre de conditions devraient se présenter plus fréquemment faisant en sorte que **des stratégies complémentaires doivent aussi être mises de l'avant afin de réduire le risque.**

En ce sens, **l'adoption de mesures d'atténuation pour les communautés et les infrastructures est essentielle**. Les exemples fournis lors de la saison 2023, notamment la création en mode réactif de bandes coupe-feu autour de certaines localités aux prises avec des incendies de végétation (Boulangier et al. 2024), nous confirment que **l'adoption de pratiques d'atténuation doit se faire dès maintenant et que celles-ci seront encore plus pertinentes dans un climat futur**. Par ailleurs, les analyses que nous avons réalisées en partenariat avec Hydro-Québec (Dawe et al. 2022, Arseneault et al. 2023) démontrent la volonté de la société d'état d'atténuer les risques de feu pour ses valeurs critiques, incluant sous un climat futur plus favorable aux incendies de végétation.

Ces analyses nous enseignent de plus qu'il est important que les mesures d'atténuation soient entreprises à plusieurs échelles spatiales (Dawe et al. 2022) ce qui **implique la participation de plusieurs parties prenantes, qu'elles soient à l'échelle régionale, locale ou individuelle**. Par exemple, et en lien avec l'évaluation des risques, les mesures d'atténuation pourront être effectuées de manière conjointe à l'échelle de la municipalité de même qu'à l'échelle des bâtiments individuels. Dans le cadre des changements climatiques, cette réalité est encore plus prégnante, étant donné que les projections futures indiquent une accélération de la vitesse de propagation des incendies (Wotton et al. 2017; Dawe et al. 2022). De ce fait, les feux capables d'affecter des zones à risque pourraient provenir de distances bien plus importantes que celles observées dans les conditions climatiques actuelles, suggérant ainsi la nécessité de considérer des échelles plus grandes lors de l'évaluation du risque mais aussi afin de l'atténuer (Dawe et al. 2022). En milieu forestier, notamment en milieu boréal, **ceci pourrait ainsi signifier la participation du secteur forestier afin de considérer les impacts de l'aménagement forestier sur la vulnérabilité de l'interface péri-humaine à proximité** (Yemshanov et al. 2023). En ce sens, cette préoccupation se retrouve en partie à **la page 7** du projet de loi où on y mentionne que : « *CONSIDÉRANT que la sécurité civile entretient des liens indissociables et interdépendants avec les autres domaines qui y concourent, dont l'aménagement et le développement durables du territoire, l'environnement, la lutte contre les changements climatiques, la santé et l'économie* ».

Il existe plusieurs stratégies afin d'atténuer le risque d'incendies de végétation auprès des communautés et des infrastructures. **Dans tous les cas, celles-ci visent à modifier ou réduire les combustibles et leur connectivité** (Beverly et al. 2010). Cela pourrait par exemple se traduire par le retrait ou la réduction des combustibles (arbres et arbustes) dans un périmètre de 30 m autour des infrastructures (Beverly et al. 2018). De même, l'usage du brûlage dirigé (là où c'est permis), pourrait être une autre option dans les espaces plus grands qui séparent différentes infrastructures. À cet égard, les communautés qui ont établi des coupe-feu à la hâte en 2023 sont maintenant confrontées à des décisions cruciales concernant l'avenir de ces mesures de protection. Une solution envisageable serait d'intensifier l'aménagement des zones avoisinant les communautés, par exemple, en privilégiant la plantation d'espèces d'arbres moins inflammables et à croissance rapide, telles que le peuplier hybride et le mélèze hybride, ou d'espèces d'arbustes comme le saule et l'aune, espèces qui pourraient en outre contribuer à la production de biocarburants (Mansuy et al. 2018). De plus, l'instauration des règlements qui préconisent l'utilisation de normes de

construction réduisant l'inflammabilité des maisons, comme l'utilisation de matériaux non-inflammables notamment pour le toit et les murs pourraient être envisagée (Bénichou et al. 2021). **Dans tous les cas, l'utilisation d'une stratégie de planification proactive plutôt que réactive est à préconiser.**

Reconnaissant l'importance d'une gestion plus structurée des risques d'incendies de végétation, la SOPFEU a établi une direction dédiée à l'atténuation des risques après la saison des feux de 2022. Parallèlement, le ministère de la Sécurité publique du Québec a récemment alloué 29 millions de dollars notamment pour la mise en place de mesures d'atténuation, incluant le traitement des combustibles et l'application des principes Intelli-feu dans les communautés à hauts risques d'incendies de végétation. Ces mesures permettent non seulement de se prémunir contre les menaces immédiates d'incendies de végétation, mais contribuent également à la résilience de ces régions sur le long terme. En mettant en œuvre des mesures d'atténuation des incendies sous la forme de traitements des combustibles par exemple, les gestionnaires peuvent tirer parti des conditions climatiques futures qui favoriseront des paysages moins inflammables. Dans tous les cas, les décisions d'aménagement devront être fondées sur la tolérance au risque des individus ou des organisations, ou sur un compromis entre le risque pour l'infrastructure et les avantages pour l'environnement.

#### Considération 12 : User de mesures proactives

Nous rappelons **l'importance que la planification de la mise en place de mesures d'atténuation proactives** devrait considérer le contexte régional, local et individuel ce qui nécessairement impliquera plusieurs parties prenantes œuvrant à ces échelles. En lien avec l'évaluation des risques, les mesures d'atténuation devront être elles-mêmes adaptées à l'évolution du climat et du territoire.

**L'article 43** mentionne que la « [...] démarche s'effectue dans l'esprit d'assurer la cohérence et la complémentarité des mesures favorisant la résilience aux sinistres mises en place au niveau gouvernemental dans les domaines qui concourent à la sécurité civile et en tenant compte des changements climatiques ».

## 10. Pour une meilleure planification des évacuations

La décision d'évacuer est une décision difficile à prendre pour les autorités locales lors d'une situation d'urgence, en raison de la multitude de coûts associés, y compris les répercussions sociales et psychologiques. Bien qu'il s'agisse d'une mesure de dernier recours, l'évacuation s'avère parfois indispensable pour garantir la sécurité d'une communauté. Cette nécessité se manifeste particulièrement lorsque la qualité de l'air est dégradée ou lorsque la menace d'un incendie à proximité de la communauté est jugée élevée, risquant de compromettre l'accès aux voies de circulation ou d'endommager les infrastructures, les édifices et les habitations, ou menaçant l'intégrité des personnes. Au Québec, environ 65 communautés ont dû procéder à une évacuation entre 1980 et 2021, représentant ainsi près de 5 % du total des évacuations recensées à l'échelle du Canada (Beverley et al. 2011; Tepley et al. 2022). Alors qu'en 2023 seulement, les incendies de végétation au Québec ont contraint à l'évacuation plus de 38 700 personnes (SCF 2023), y compris d'importantes communautés autochtones et des villes comme Sept-Îles et Chibougamau-Mistissini. Pour la majorité de ces communautés, il s'agissait de leur première évacuation. **Ce contexte souligne l'importance cruciale de la planification des évacuations, indépendamment des expériences antérieures, particulièrement pour les communautés exposées à un risque élevé d'incendie de forêt.**

La planification d'une évacuation commence bien avant qu'un incendie ne menace une communauté. Cette planification inclut un ensemble de décisions qui doivent considérer les caractéristiques et les besoins propres à chaque communauté afin d'assurer une évacuation sécuritaire et efficiente (Bayram 2016). Tout d'abord, il est primordial d'identifier les besoins spécifiques des habitants, notamment en termes de logement, de transport et de soins médicaux, en accordant une attention particulière aux individus vulnérables, tels que les personnes âgées, hospitalisées ou en situation de handicap. Une bonne compréhension du réseau routier disponible pour l'évacuation est aussi cruciale, y compris les routes principales et les chemins forestiers pour les communautés plus isolées, ainsi que les aéroports à proximité et autres options d'évacuation envisageables (p. ex., hélicoptère et bateau). L'analyse des risques auxquels la population pourrait être confrontée durant l'évacuation est également fondamentale (Siam et al. 2022; Wu et al. 2022; Zhao et al. 2022). Ces informations sont déterminantes pour **établir le temps nécessaire pour achever l'évacuation**, choisir les modes de transport les plus adaptés et identifier les ressources requises pour réaliser l'évacuation, **sélectionner les communautés d'accueil et les voies d'évacuation**, et même **identifier les investissements nécessaires pour augmenter la capacité d'évacuation si besoin**. Néanmoins, ces décisions doivent être prises pour répondre à une situation bien particulière, incertaine et en constante évolution, influencées par le comportement des évacués et l'évolution du sinistre et son influence sur le réseau routier.

Notre équipe de recherche, en collaboration avec la professeure Valérie Bélanger au HEC Montréal, s'intéresse au développement d'outils d'aide à la décision afin de soutenir les municipalités mises à risque par les incendies de végétation à planifier une évacuation. En effet, différents entretiens avec des acteurs de divers paliers gouvernementaux ont permis de cibler les

défis rencontrés lors des évacuations au Québec et au Canada. Plusieurs ont souligné **l'intérêt de se doter d'outils pour soutenir la prise de décision pour assurer une évacuation sécuritaire et efficace le cas échéant**. Provenant de ces travaux, de premiers outils ont récemment développés, basé sur des techniques de visualisation et d'optimisation, permettant de déterminer la capacité d'évacuation d'une municipalité, d'identifier les points critiques du réseau routier et de définir des actions et stratégies à adopter lors de l'évacuation. Cela permettra, entre autres, **d'assurer une communication et une préparation adéquate de la part de la population**. La littérature montre que les individus sans plan défini lors d'événements d'incendies de végétation sont plus susceptibles d'opter pour une évacuation tardive, ce qui peut accroître les risques et la probabilité de blessures (Bayram et al. 2018). Plus concrètement, l'utilisation d'un tel outil lors de la planification stratégique permettra de:

- Déterminer le temps nécessaire pour évacuer partiellement ou totalement une municipalité. Cela pourrait contribuer, entre autres, à **établir des déclencheurs** adaptés à la réalité de chaque communauté. En effet, l'établissement de déclencheurs est essentiel pendant la phase de planification pour aider à orienter les décideurs vers la réponse appropriée une fois ce déclencheur atteint. En d'autres termes, **afin de mieux identifier le moment opportun pour déclencher l'évacuation**.
- **Faciliter la mobilisation des ressources nécessaires à l'évacuation**. Par exemple, dans le cas du transport organisé, des ententes peuvent être établis à l'avance afin de mobiliser les véhicules nécessaires tels que les autobus scolaires ou publics, au moment où une évacuation doit être déclenchée. Les autorités locales devraient également prédéterminer les points de rassemblement pour le transport organisé. S'assurer de maintenir une réserve d'essence suffisante pour soutenir l'évacuation par véhicule.
- **Identifier et communiquer avec les communautés d'accueil**. Les communautés d'accueil potentielles sont généralement contactées pendant la phase de planification pour définir les canaux de communication, et le plus souvent, des accords d'entraide mutuelle sont établis.
- **Planifier les voies d'évacuation et mettre en place des stratégies afin de réduire la congestion**. Pour améliorer le flux de circulation pendant les évacuations, les communautés peuvent utiliser plusieurs stratégies, techniques et outils, incluant la gestion ou l'amélioration de la capacité des routes et la modification des itinéraires par des détours, des fermetures de routes et de la signalétique. Ces mesures sont particulièrement importantes puisque **la congestion routière est connue pour augmenter les temps d'évacuation, contribuer au stress et à l'inconfort des évacués**.

Ainsi, la planification stratégique d'une évacuation peut faciliter la communication avec le public, améliorer la collaboration entre les parties prenantes et prévenir la confusion pendant le processus d'évacuation, ce qui, à terme, contribuera à une évacuation plus fluide et sécuritaire.

Considération 13: pertinence d'intégrer les évacuations dans le plan de gestion du risque

Les seuls endroits dans le PL50 où l'on parle formellement d'évacuation sont aux articles 23 et 57, où les évacuations ne sont considérées que comme une action de dernier recours. On ne retrouve pas d'autres indications quant à la **planification des évacuations dans un cadre stratégique et de manière intégrée à la gestion du risque.**

**Article 23 alinéa 2** : *« ordonner, lorsqu'il n'y a pas d'autre moyen de protection, l'évacuation de personnes ou leur mise à l'abri, dont leur confinement; »*

**Article 57 alinéa 6** : *« ordonner, lorsqu'il n'y a pas d'autre moyen de protection, l'évacuation de personnes ou leur mise à l'abri, dont leur confinement. »*

Pourtant, les extraits ci-dessous pourraient être de bons endroits afin de **donner plus de place aux évacuations et à l'importance de leur planification, de leur optimisation et de leur communication auprès de la population concernée.**

Page 3 paragraphe 3 : *« Le projet de loi prévoit les mesures d'alerte et de mobilisation applicables lors d'un sinistre ou de son imminence et oblige les autorités gouvernementales concernées à déployer des mesures d'intervention ou de rétablissement pour y répondre. »*

**Article 7 alinéa 2** : *« Elle doit, de plus, adopter un plan de sécurité civile dans lequel sont notamment consignées des mesures de préparation générale pour répondre à un sinistre ou à son imminence, dont des procédures d'alerte de sa population et de mobilisation des ressources. »*

## 11. Pour la mise en place d'une gestion intégrée du risque relié aux aléas naturels

Par ailleurs, nous sommes d'avis que le PL50 offre une occasion pour réviser ou repenser les stratégies de gestion des risques, en tenant compte des changements climatiques ainsi que de l'émergence de risques systémiques et de points de bascule (UNISDR 2022). Les risques climatiques sont le résultat d'interactions dynamiques entre les aléas météorologiques et les extrêmes climatiques, les facteurs de vulnérabilité et d'exposition locaux (environnementaux et humains) préexistants, ainsi que la capacité collective et individuelle à y faire face (voir IPCC 2018, 2023 ; UNISDR 2019 et 2022). L'exposition et les contextes de vulnérabilité et de résilience influent sur les conséquences des changements climatiques et des risques qui y sont associés (Berry et al. 2010 ; IPCC 2012 ; Disse et al. 2020). Les facteurs d'exposition et de vulnérabilité évoluent rapidement avec les développements socio-économiques et démographiques, tandis que les risques d'incendie de végétation, en matière d'occurrence, de durée et de gravité/étendue, augmenteront au cours des prochaines années (Boulanger et al. 2023; Barnes et al. 2023). **La gestion des risques doit donc évoluer rapidement.** C'est l'une des considérations les plus difficiles à prendre en compte pour les décideurs et **cela signifie également que les infrastructures humaines et les plans d'aménagement doivent être revus.**

Dans un contexte de croissance démographique, davantage de communautés et d'infrastructures se retrouveront exposées aux risques d'incendies de végétation dans le futur. À cet égard, **il est urgent de mettre en place un zonage des risques qui prend en compte les risques multiples, y compris les incendies de végétation.** Un tel zonage aidera les municipalités et les communautés à mieux planifier l'utilisation future du territoire et leur développement en fonction des risques environnementaux. Si l'on ne tient compte des coûts totaux des diverses propriétés assurées à la suite de catastrophes naturelles au Québec (les incendies de végétation et les inondations étant les catastrophes les plus fréquentes et les plus coûteuses), les 9 premiers mois de 2023 ont été les plus coûteux dans la province avec 612 M\$ en 2023 comparativement à une moyenne d'environ 97 M\$ sur les 5 années de 2011-2015, et d'environ 222 M\$ en 2016-2020 (données du CatIQ, B. Marchand, communication personnelle). **L'escalade des coûts économiques associés aux incendies de végétation (Hope et al. 2016) pourrait entraîner soit une augmentation potentielle, soit une fermeture possible des programmes d'assurances privées ou des actifs industriels** (par exemple, les compagnies forestières). Cette vulnérabilité socio-économique représente donc une préoccupation majeure tant pour les personnes que pour les infrastructures situées dans la zone de protection intensive et au-delà.

Il est également crucial de considérer ou d'approfondir l'étude **des effets en cascade des grands incendies de végétation**, notamment sur le cycle de l'eau et sur l'augmentation potentielle des inondations résultantes du ruissellement et du transport de sédiments ou de matériaux provenant des zones brûlées au sein des bassins versants (Robinne et al. 2018). Il est à noter que la morphologie des bassins versants et la densité des peuplements forestiers interagissent lors de grandes inondations, par le biais d'embâcles créés par les troncs et la matière organique (Linger et al. 2021). Les incendies de végétation affecteront également la saisonnalité des inondations au

cours du printemps, lors d'événements de pluie sur neige, mais aussi en été et en automne lors d'événements de précipitations intenses ou extrêmes, qui devraient augmenter au cours des prochaines années (IPCC 2023). Il ne faut également pas négliger l'augmentation des concentrations de mercure dans les poissons de l'ensemble du bassin versant (Garcia et Carignan 2005), ce qui peut affecter la santé des communautés autochtones dépendantes des ressources naturelles locales pour leur subsistance. Tous ces effets domino et ces points de bascule potentiellement dommageables sont d'importants motifs de préoccupation **et doivent être intégrés** dans les approches de gestion des risques.

L'escalade des risques systémiques, découlant d'une combinaison de divers risques hydrométéorologiques ou de risques habituels et combinés survenant à une échelle régionale ou locale, imposera une contrainte nette sur les stratégies d'adaptation actuellement disponibles (O'Neill et al. 2017). **L'adoption d'une gestion intégrée des risques prenant en compte l'ensemble des différents risques climatiques pourrait s'avérer bénéfique.** Cette approche devrait inclure une variété de stratégies, allant de mesures individuelles à des initiatives communautaires, soulignant les bénéfices d'interventions ciblées pour les communautés les plus vulnérables, tout en visant à atténuer les impacts des incendies de végétation.

Considération 14 : Gestion intégrée des risques

**Nous réitérons l'importance de considérer les différentes parties prenantes de même que les différents aléas pouvant affecter une région en particulier dans le cadre d'une saine gestion intégrée des risques.**

Le projet de loi mentionne **en page 7, paragraphe 5** : « *CONSIDÉRANT que la sécurité civile entretient des liens indissociables et interdépendants avec les autres domaines qui y concourent, dont l'aménagement et le développement durables du territoire, l'environnement, la lutte contre les changements climatiques, la santé et l'économie [...]* ».

**Page 8, paragraphe 1** indique « [...] *que la sécurité civile constitue une responsabilité partagée entre les différents acteurs de la société qui doit être abordée selon une approche globale et intégrée afin de favoriser leur concertation et la cohérence de leurs décisions* ».

**L'article 8** mentionne que « [...] *l'appréciation des risques, soit l'identification, l'analyse et l'évaluation des risques présents sur son territoire permettant d'inventorier ceux qui constituent des risques de sinistre et d'établir, parmi ces derniers, ceux qui doivent être priorités* ».

Ces éléments laissent présager une concertation des parties prenantes lors de la gestion des risques, ce qui est effectivement très souhaitable, comme mentionné précédemment. Toutefois, **il n'est pas mentionné explicitement dans le PL50 que cette concertation devra s'inscrire dans une démarche de gestion intégrée des risques.** Cette gestion intégrée implique certes plusieurs parties prenantes lorsqu'on considère un aléa spécifique, mais cette gestion doit aussi considérer celle de plusieurs risques qui se cumulent et interagissent entre eux. **L'intégration se fait donc à**

**deux niveaux : au niveau de l'intégration des parties prenantes pour un aléa spécifique, mais aussi dans l'intégration de plusieurs aléas et à l'échelle des paysages concernés.**

## 12. De l'importance de la recherche afin d'éclairer la gestion des risques naturels

Le Service canadien des forêts (SCF) joue un rôle de premier plan dans la recherche sur les incendies de végétation depuis des décennies, travaillant avec des partenaires à l'échelle canadienne pour enrichir la connaissance sur ces phénomènes et améliorer la capacité des autorités à anticiper et gérer les risques associés. La Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt (MCÉDIF), qui inclut la Méthode canadienne de l'indice forêt-météo (IFM) et la Méthode canadienne de prévision du comportement d'incendie (PCI) de forêt ont tous été développés par le SCF (Van Wagner 1987; Forestry Canada Fire Danger Group 1992). La MCÉDIF est utilisée quotidiennement par les agences canadiennes de gestion des incendies de végétation et est à la base de l'évaluation de risque à cet aléa, faisant partie intégrante du cadre présenté plus haut (Parisien et al. en préparation). De plus, le Système canadien d'information sur les incendies de végétation est un outil clé fourni par le SCF, offrant des données à jour sur les niveaux de danger d'incendie et sur les grands incendies.

Nous travaillons actuellement à développer la prochaine génération de la MCÉDIF, dont les améliorations permettront une meilleure modélisation des éléments suivants : le comportement du feu dans un plus large éventail de combustibles forestiers ainsi que pour la période de la nuit et des premières heures du jour; l'effet sur le comportement d'incendie de traitement de réduction des combustibles, comme l'éclaircie et l'élagage; le risque que des tisons ou des feux disséminés créent des brèches dans les coupe-feux ou soient déplacés sur des distances moyennes à grandes (Groupe de travail sur les dangers d'incendie du Service canadien des forêts 2021). Dans cette mouvance, le partage d'information avec les agences de gestion des incendies est un processus intégré et continu mené par le SCF. Ces travaux permettront une meilleure évaluation du risque et plus particulièrement une meilleure compréhension de l'effet des mesures d'atténuation relative au combustible, donc une meilleure planification relative aux mesures d'atténuation dans le paysage.

En collaboration avec le milieu académique, ainsi que plusieurs collègues au SCF, nous avons mené de multiples analyses au cours des dernières années afin de projeter l'impact des changements climatiques sur les feux (e.g., Boulanger et al. 2013, 2014, 2017), de même qu'afin d'évaluer l'exposition actuelle et future de l'interface péri-humaine aux incendies de végétation à travers le Canada (voir Erni et al., 2021, 2024). Plus spécifiquement, nous avons été mis à contribution afin d'évaluer l'exposition actuelle et future aux incendies de végétation pour des infrastructures de transport d'énergie (e.g., ligne Micoua-Saguenay, Dawe et al. 2022) de même que pour les valeurs à risque situées dans la région de la Jamésie (Héon et al. 2015; Arseneault et al. 2023, Erni et al. 2021). De plus, nous travaillons à développer des outils visant à connaître les pertes potentielles aux infrastructures lors d'incendies de végétation dans l'interface péri-urbaine (modèle *FireLossRate*); et nous prenons avantage des sinistres récents ayant eu lieu au pays (p. ex., feux de 2023 en Nouvelle-Écosse) afin d'améliorer nos connaissances et modèles pour mieux évaluer le risque. Qui plus est, le Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada est

en train de mettre au point des outils en ligne pour aider les décideurs à rassembler les données et les outils nécessaires à l'évaluation des risques d'incendie de forêt.

Nous menons aussi des travaux intégrant l'analyse de risque aux ressources et actifs à des modèles d'optimisation visant, pour un paysage donné, à identifier l'emplacement optimal de mesure d'atténuation visant à diminuer la continuité du combustible afin de protéger des infrastructures (Yemshanov et al. 2023) et des habitations (Boucher et al., travaux en cours). C'est là un autre exemple de développements scientifiques à portée opérationnelle pouvant appuyer la mise en application du PL50. Nous poursuivons d'ailleurs, en collaboration avec le domaine académique, nos travaux de développement d'outils d'aide à la décision pour la planification des évacuations.

#### Considération 15 : Rôle de la recherche

En tant que chercheurs et en collaboration avec le secteur académique, les différents ministères provinciaux concernés et la SOPFEU, nous sommes ouverts à contribuer à fournir notre expertise dans la mise en place et la recherche visant les éléments de ce projet de loi. Ceci comprend l'évaluation des risques actuels et futurs liés aux incendies de végétation au Québec de même que la recherche visant à déterminer l'efficacité des stratégies d'adaptation et d'atténuation face aux incendies de végétation. De plus, nous pouvons contribuer à la formation de personnel hautement qualifié (ou spécialisé) dans le cadre de ces travaux de recherche.

### 13. Conclusion

Notre mémoire, analysant l'angle des incendies de végétation, souligne qu'il est essentiel de replacer les impacts et les conséquences des feux, notamment ceux de 2023, dans le contexte des changements climatiques. L'évaluation et l'atténuation des risques, conjointement à l'adaptation et à la mise en œuvre d'actions rapides, sont cruciales. Il s'agit notamment d'identifier les vulnérabilités et les bénéfices conjoints, et de mettre en œuvre des mesures d'adaptation régionales intégrant diverses expertises. Les coûts des stratégies d'adaptation doivent être pris en compte, en privilégiant les approches présentant de multiples avantages mutuels. Une approche de précaution est cruciale face à un niveau de réchauffement incertain (Millar et al. 2007). Les risques liés aux incendies de végétation et aux effets des changements climatiques exigent une approche de gestion intégrée des risques, renforçant les outils de prévention et les systèmes d'alerte précoce. Une situation comme celle à laquelle nous avons été confrontés pendant la saison des feux de 2023 est l'occasion de nous rappeler que nous devons améliorer les stratégies de gestion des incendies de végétation. Cette approche holistique renforcerait notre capacité à prévoir, prévenir et réagir aux incendies de végétation, réduisant ainsi leur impact sur les secteurs économiques, les écosystèmes et les populations.

### 14. Remerciements

Nous remercions l'Assemblée nationale et la Commission de l'aménagement du territoire de nous avoir invités à partager notre expertise et nos commentaires dans le cadre des consultations particulières et des auditions publiques concernant le projet de loi n° 50, Loi édictant la Loi sur la sécurité civile visant à favoriser la résilience aux sinistres et modifiant diverses dispositions relatives notamment aux centres de communications d'urgence et à la protection contre les incendies de forêt. Ainsi que nos collaborateurs ayant contribué directement au contenu de ce mémoire, soient Valérie Bélanger (HEC Montréal), Philippe Gachon (UQAM) et Sandy Erni (SCF-RNCan). De plus que nos collègues de la direction Planification, partenariats et intégration du SCF-RNCan, soient Noémie Gonzalez, Noémie Deshaies et Pierre-Luc Lepage.

## 15. Littérature citée

1. Abo El Ezz A., Boucher J., Cotton-Gagnon A., Godbout A. 2022. Framework for spatial incident-level wildfire risk modelling to residential structures at the wildland urban interface. *Fire Safety Journal*, **131**: 103625.
2. Ali A.A., Blarquez O., Girardin M.P., Hély C., Tinquat F., Guella A.E., Valsecchi V., Terrier A., Bremond L., Genries A., Gauthier S., Bergeron Y. 2012. Control of the multimillennial wildfire size in boreal North America by spring climatic conditions. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **109**(51):20966-20970.
3. Arseneault D., Parisien M-A., Boulanger Y., Simard M., Asselin H., Shakeri, Z., Proulx G., Lavoie S. 2023. Exposition et adaptation aux incendies forestiers dans la taïga canadienne. Scientific Report.
4. Barnes C., Boulanger Y., Keeping T., Gachon P., Gillett N., Boucher J., Roberge F., Kew S., Haas O., Heinrich D., Vahlberg M., Singh R., Elbe M., Sivanu S., Arrighi J., Van Aalst M., Otto F., Zacharian M., Krikken F., Wang X., Erni S., Pietropalo E., Avis A., Bisaillon A., Kimutai, J. 2023. Climate change more than doubled the likelihood of extreme fire weather conditions in eastern Canada. Scientific Report, .
5. Bayram, V. 2016. Optimization models for large scale network evacuation planning and management: A literature review. *Surveys in Operations Research and Management Science*, **21**(2): 63-84.
6. Bayram, V. and Yaman, H. 2018. Shelter location and evacuation route assignment under uncertainty: A benders decomposition approach. *Transportation Science*, **52**(2): 416-436.
7. Bénichou N., Adelzadeh M., Singh J., Goma I., Elsagan N., Kinatader M., Ma C., Gaur A., Bwalya A., Sultan M. 2021. National Guide for Wildland-Urban-Interface Fires: Guidance on Hazard and Exposure Assessment, Property Protection, Community Resilience and Emergency Planning to Minimize the Impact of Wildland-Urban Interface Fires. National Research Council of Canada Publication.
8. Bergeron Y., Cyr D., Girardin M.P., Carcaillet C. 2010. Will Climate Change Drive 21st Century Burn Rates in Canadian Boreal Forest Outside of Its Natural Variability: Collating Global Climate Model Experiments With Sedimentary Charcoal Data? *Int. J. Wildl. Fire* **19**:1127-1139.
9. Bernier P.Y., Gauthier S., Jean P.-O., Manka F., Boulanger Y., Beaudoin A., Guindon L. 2016. Mapping local effects of forest properties on fire risk across Canada. *Forests*, **7**(8):157.
10. Berry H.L., Bowen K. Kjellstrom T. 2010. Climate change and mental health: a causal pathways framework, *Int. J. Pub. Health*, **55**(2): 123-132. doi: 10.1007/s00038-009-0112-0.

11. Beverly J.L., Bothwell P., Conner J.C.R., Herd E.P.K. 2010. Assessing the exposure of the built environment to potential ignition sources generated from vegetative fuel. *Int. J. Wild. Fire*, **19**:299-313.
12. Beverly J., Bothwell P. 2011. Wildfire evacuations in Canada 1980-2007. *Natural Hazards* **59**:571-596.
13. Beverly J.L., Braid G., Chapman L., Kelm S., Pozniak W., Stewart L., Johnston K. 2018. FireSmart. Wildfire Exposure Assessment. A planning tool for identifying values at risk and prioritizing mitigation effort. Scientific Report. 28 pp.
14. Bond W.J., Keeley J.E. 2005. Fire as a global ‘herbivore’: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends Ecol. Evol.* **20**:387-394.
15. Boucher J., Chavardes R.D., Pascual Puigdevall J., Boulanger. Y., Wotton M.. Projected increase in wildland fire suppression workload due to climate change. (En preparation)
16. Boulanger Y., Gauthier S., Burton P.J. 2014. A refinement of models projecting future Canadian fire regimes using homogeneous fire regime zones. *Can. J. For. Res.* **44**: 365–376.
17. Boulanger Y., Puigdevall J.P., Belisle A.C., Bergeron Y., Brice M.-H., Cyr D., De Grandpre L., Fortin D., Gauthier S., Grondin P., Labadie G., Leblond M., Marchand M., Splawinski T.B., St-Laurent M.-H., Thiffault E., Tremblay J.A., Yamasaki S.H. 2023. A regional integrated assessment of the impacts of climate change and of the potential adaptation avenues for Québec's forests. *Can. J. For. Res.* **53**(8):556–578.
18. Boulanger Y., Arseneault D. , Belisle A.C. , Bergeron Y. , Boucher J. , Boucher Y. , Danneyrolles V. , Erni S. , Gachon P. , Girardin M.P. , Grant E. , Grondin P. , Jetté J.-P. , Labadie G. , Leblond M. , Leduc A. , Pascual Puigdevall J. , St-Laurent M.-H. , Tremblay J.A. , Waldron K. 2024. The 2023 wildfire season in Québec: an overview of extreme conditions impacts lessons learned and considerations for the future. *Can. J. For. Res.* Soumis.
19. Boychuk D., McFayden C. B., Evens J., Shields J., Stacey A., Woolford D. G., Wotton M., Johnston D., Leonard D., McLarty D. (2020). Assembling and customizing multiple fire weather forecasts for burn probability and other fire management applications in Ontario, Canada. *Fire*, **3**(2), 16.
20. Canadian Interagency Forest Fire Centre [CIFFC]. 2023. Canadian Interagency Forest Fire Centre. Disponible à [ciffc.ca](http://ciffc.ca). [Vérifié le 22 octobre 2023].
21. Canadian Wildland Fire Information System [CWFIS]. 2023. The Canadian Wildland Fire Information System. Disponible à <https://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/> [Vérifié le 22 Octobre 2023].

22. Cardil A., Lorente M., Boucher D., Boucher J., Gauthier S. 2019. Factors influencing fire suppression success in the province of Québec (Canada). *Can. J. For. Res.* **49**(5): 531–542.
23. Couillard P.-L., Bouchard M., Laflamme J., Hébert F. 2022. Zonage des régimes de feux du Québec méridional. Mémoire de recherche forestière, no. 189. Ministère des Ressources Naturelles et des Forêts du Québec.
24. Danneyrolles V., Cyr D., Girardin M.P., Gauthier S., Asselin H., Bergeron Y. 2021. Influences of climate fluctuations on northeastern North America’s burned areas largely outweigh those of European settlement since AD 1850. *Environ. Res. Lett.* **16**(11): 114007.
25. Dawe D.A., Parisien M.-A., Boulanger Y., Boucher J., Beauchemin A., Arseneault D. 2022. Short- and long-term wildfire threat when adapting infrastructure for wildlife conservation in the boreal forest. *Ecological Applications* **32**:e2606
26. Drobyshev I., Bergeron Y., Girardin M.P., Gauthier S., Ols C., Ojal J. 2017. Strong Gradients in Forest Sensitivity to Climate Change Revealed by Dynamics of Forest Fire Cycles in the Post Little Ice Age Era: Forest Fires in Post LIA Era. *J. Geophys. Res. Biogeosci.* **122**(10): 2605–2616. doi:10.1002/2017JG003826.
27. Disse M., Johnson T.G., Leandro J. Hartmann T. 2020. “Exploring the relation between flood risk management and flood resilience”, *Water Secur.* **9**: 100059. doi: 10.1016/j.wasec.2020.100059.
28. Ellis T.M., Bowman D.M.J.S., Jain P., Flannigan M.D., Williamson G.J. 2022. Global increase in wildfire risk due to climate-driven declines in fuel moisture. *Glob. Change Biol.* **28**: 1544–1559. doi:10.1111/gcb.16006. PMID: 34800319.
29. Erni S., Arseneault D., Parisien M.A., Bégin Y. 2017. Spatial and temporal dimensions of fire activity in the fire-prone eastern Canadian taiga. *Glob. Change Biol.* **23**(3): 1152–1166.
30. Erni S., Johnston L., Boulanger Y., Manka F., Bernier P., Eddy B., Christianson A., Swystun T., Gauthier S. 2021. Exposure of the Canadian wildland-human interface and population to wildland fire, under current and future climate conditions. *Can. J. For. Res.* **51**: 1357–1367. doi:10.1139/cjfr-2020-0422.
31. Erni S., Wang X., Swystun T., Taylor S.W., Parisien M.-A., Robinne F.-N., Eddy B., Oliver J., Armitage B., Flannigan M. D. 2024. Mapping wildfire hazard, vulnerability, and risk to Canadian communities. *Int. J. Dis. Risk Red.* **101**:104221.
32. [ESCER] 2023. Centre pour l'étude et la simulation du climat à l'échelle régionale. Trends and climate normals of weather variables and indices. Disponible à [http://feux.escer.uqam.ca/en/we\\_monitoring.html](http://feux.escer.uqam.ca/en/we_monitoring.html). [Vérifié le 22 Octobre 2023].
33. Forestry Canada Fire Danger Group. 1992. Development and structure of the Canadian Forest Fire Behavior Prediction System. Forestry Canada. Forestry Canada, Headquarters,

Fire Danger Group and Science and Sustainable Development Directorate, Ottawa. Information Report ST-X-3. 64 p.

34. Garcia E., Carignan R. 2005, Mercury concentrations in fish from forest harvesting and fire-impacted Canadian Boreal lakes compared using stable isotopes of nitrogen. *Environ. Toxicol. Chem.* **24**: 685-693. <https://doi.org/10.1897/04-065R.1>.
35. Gillett N.P., Weaver A.J., Zwiers F.W., Flannigan M.D. 2004. Detecting the effect of climate change on Canadian forest fires. *Geophys. Res. Lett.* **31**:L18211.
36. Gouvernement du Québec. 2020. Plan de Protection du Territoire Face aux Inondations: des solutions durables pour mieux protéger nos milieux de vie; Gouvernement du Québec. [Vérfifié le 15 décembre 2023].
37. Grant E. 2023. The consequences of fires for the Cree users in the Eeyou Istchee territory. [In French] [Conference presentation]. Twenty Fifth Colloquium of the Chair in Sustainable Forest Management, November 28 2023, Rouyn-Noranda, Québec, Canada. <https://chaireafd.uqat.ca/evenements/colloque-chaire-2023/colloque-chaire-afd-2023-cahier-participant.pdf>.
38. Groupe de travail sur les dangers d'incendie du Service canadien des forêts. 2021. Un aperçu de la prochaine génération de la Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt. (Rapport d'information GLC-X-26). Ressources Naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Grands Lacs. Rapport d'information GLC-X-26F. 76 p.
39. Hanes C.C., Wang X., Jain P., Parisien M.A., Little J.M., Flannigan M.D. 2019. Fire-regime changes in Canada over the last half century. *Can. J. For. Res.* **49**:256-269
40. Héon J., Arseneault D., Parisien M.-A. 2014. Resistance of the boreal forest to high burn rates. *Proc. Nat. Acad. Sci.* **111**(38): 13888–13893.
41. Hirsch K., Martell D. A. 1996. Review of Initial Attack Fire Crew Productivity and Effectiveness. *Int. J. Wildl. Fire*, **6**: 199–215.
42. Hope E.S., McKenney D.W., Pedlar J.H., Stocks B.J., Gauthier S. 2016. Wildfire suppression costs for Canada under a changing climate. *PLoS One* **11**(8): e0157425. doi:10.1371/journal.pone.0157425. PMID: 27513660.
43. IPCC. 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Edited by* C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.

44. IPCC. 2018. Summary for policymakers. *In* Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty *Edited by* V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616 pp. [https://doi.org/ 10.1017/9781009157940](https://doi.org/10.1017/9781009157940).
45. IPCC. 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change *Edited by* H. Lee and J. Romero. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pp., doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.
46. Jain P., Wang X., Flannigan M.D. 2017. Trend analysis of fire season length and extreme fire weather in North America between 1979 and 2015. *Int. J. Wildl. Fire*, **26**: 1009–1020. doi:10.1071/WF17008.
47. Jain P., Castellanos-Acuna D., Coogan S.C.P., Abatzoglou J.T., Flannigan M.D. 2022. Observed increases in extreme fire weather driven by atmospheric humidity and temperature. *Nat. Clim. Change* **12**: 63–70. doi:10.1038/s41558-021-01224-1.
48. Jeanneau A., Zecchin A., van Delden H., McNaught T. & Maier H. 2021. Influence of climate change and fuel management on bushfire risk in Western Australia, *Bushfire and Natural Hazards CRC*, Melbourne.
49. Johnston L.M., Wang X., Erni, S., Taylor S.W., McFayden C.B., Oliver J.A., Stockdale C., Christianson A., Boulanger Y., Gauthier S., Arseneault D., Wotton B.M., Parisien M-A., Flannigan M.D. 2020. Wildland Fire Risk Research in Canada. *Environ. Rev.* **28**: 164–86.
50. Kirchmeier-Young M.C., Zwiers F.W., Gillett N.P., Cannon A.J. 2017. Attributing extreme fire risk in Western Canada to human emissions. *Clim. Change* **144**:365-379.
51. Kirchmeier-Young M.C., Gillett N.P., Zwiers F.W., Cannon A.J., Anslow F.S. 2019. Attribution of the influence of human-induced climate change on an extreme fire season. *Earth's future*. **7**:2-10.
52. Le Devoir. 2023. Les feux de forêt causent de nouvelles pannes d'électricité dans la région de Montréal. Disponible à: <https://www.ledevoir.com/societe/794515/les-feux-de-forests-causent-de-nouvelles-pannes-d-electricite-dans-la-region-de-montreal>. [Vérifié le 18 décembre 2023].
53. Le Soleil. 2023. Avions-citernes: des experts déplorent une perte d'expertise au pays. Disponible à: <https://www.lesoleil.com/actualites/2023/06/06/avions-citernes-des-experts->

deplorient-une-perte-dexpertise-au-pays-INFTVNYJFZGIDPMWRKI2AYR2WU/  
[Vérifié le 21 décembre 2023].

54. Lininger K.B., Scamardo J.E., Guiney M.R. 2021. Floodplain large wood and organic matter jam formation after a large flood: Investigating the influence of floodplain forest stand characteristics and river corridor morphology. *J. of Geophys. Res. Earth Surf.* **126**: e2020JF006011. <https://doi.org/10.1029/2020JF006011>.
55. Mansuy N., Barrette J., Laganière J., Mabee W., Paré D., Gautam S., Thiffault E., Ghafghazi S. 2018. Salvage harvesting for bioenergy in Canada: From sustainable and integrated supply chain to climate change mitigation. *WIREs Energy and Environment*, 7:298.
56. McFayden C.B., Wotton B.M., Robinson J.W., Johnston J.M., Cantin A., Jurko N.M., Boucher J., Wheatley M., Ansell M., Boychuk D., Russo B. 2023. Reference Guide to the Drop Effectiveness of Skimmer and Rotary Wing Airtankers. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service. Great Lakes Forestry Centre, Sault Ste. Marie, Ontario. 182p. Information Report GLC-X-35.
57. Millar C., Stephenson N.L., Stephens S.L. 2007. Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecol. Appl.* **17**: 2145–2151.
58. Moritz M.A., Morais M.E., Summerell L.A., Carlson J.M., Doyle J. 2005. Wildfires, complexity, and highly optimized tolerance. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **102**(50):17912-17917.
59. Nicoletta V., Chavardes R.D., Abo El Ezz A., Cotton-Gagnon A., Bélanger V., Boucher J. Firelossrate: An R Package for Computing Wildfire Impacts on Structures at the Wildland Urban Interface. Disponible à SSRN 4391692
60. Noovo Info. 2023. Les pilotes d’avion-citerne se rapprochent de la limite de temps de vol selon la loi. Disponible à: <https://www.noovo.info/nouvelle/les-pilotes-davion-citerne-bientot-a-la-limite-selon-la-loi.html>. [Vérifié le 21 décembre 2023].
61. O’Neill B., Oppenheimer M., Warren R., Hallegatte S., Kopp R.E., Pörtner H.O., Scholes R., Birkman J., Foden W., Licker R., Mach K.J., Marbaix P., Mastrandrea M.D., Price J., Takahashi K., Van Ypersele J.-P., Yohe G. (2017), “IPCC reasons for concern regarding climate change risks”, *Nature Climate Change*, 7: 28–37. doi: 10.1038/nclimate3179.
62. Opérations Forestières. 2023. Les feux coûteront de 10,5 à 13,5G\$ à l’économie québécoise. Disponible à: [https://www.operationsforestieres.ca/les-feux-couteront-de-105-a-135g-a-leconomie-quebecoise/#:~:text=Les%20feux%20de%20for%C3%AAt%20qui,foresti%C3%A8re%20du%20Qu%C3%A9bec%20\(CIFQ\)](https://www.operationsforestieres.ca/les-feux-couteront-de-105-a-135g-a-leconomie-quebecoise/#:~:text=Les%20feux%20de%20for%C3%AAt%20qui,foresti%C3%A8re%20du%20Qu%C3%A9bec%20(CIFQ).). [Vérifié le 15 mars 2023].
63. Parisien M.-A., Boucher J., Collins L., Dawe D., Forbes K., Johnston L., Nason S., Robinne F.-N., Stockdale C., Uchmanowicz E., and Zahara A. Cadre national d’évaluation du risque

- aux incendies de végétation pour le Canada. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts. (En préparation)
64. Parisien M.A., Kafka V.G., Hirsch K.G., Todd J.B., Lavoie S.G., Maczek P.D. 2005. Mapping wildfire susceptibility with the BURN-P3 simulation model. Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, Alberta. Inf. Rep. NOR-X-405.
  65. Parisien M-A., Dawe D.A., Miller C., Stockdale C.A., Armitage O.B. 2019. Applications of Simulation-Based Burn Probability Modelling: A Review. *Int. J. Wildl. Fire* **28** (12): 913–926.
  66. Radio-Canada. 2023. Avions-citernes: des effectifs disparates et vieillissants pour affronter les feux. Disponible à: <https://ici.radio-canada.ca/nouvelle/2006075/bombardiers-eau-essentiels-disparates-vieillissants>. [Vérifié le 21 décembre 2023].
  67. Robinne F.-N., Bladon K.D., Miller C., Parisien M.-A., Mathieu J., Flannigan M.D. 2018. A spatial evaluation of global wildfire-water risks to human and natural systems. *Sci. Tot. Environ.* **610**: 1193–1206.
  68. Scott J.H., Thompson M.P., Calkin D.E. 2013. A Wildfire Risk Assessment Framework for Land and Resource Management. United States Department of Agriculture/Forest Service. General Technical Report RMRS-GTR-315.
  69. Service canadien des forêts [SCF]. 2023. Canadian National Fire Database – Agency Fire Data. [Online.]. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, (Edmonton, AB). Disponible à <http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/ha/nfdb>. [Vérifié le 22 Octobre 2023].
  70. Siam, M.R., Wang, H., Lindell, M.K., Chen, C., Vlahogianni, E.I. and Axhausen, K. 2022. An interdisciplinary agent-based multimodal wildfire evacuation model: Critical decisions and life safety. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 103: 103147.
  71. Stocks B.J., Martell D.L. 2016. Forest fire management expenditures in Canada: 1970–2013. *For. Chron.* **92**(3): 298–306.
  72. Tepley, A.J., Parisien, M.A., Wang, X., Oliver, J.A. and Flannigan, M.D. 2022. Wildfire evacuation patterns and syndromes across Canada's forested regions. *Ecosphere*, **13** (10), 4255.
  73. Thompson M.P., Calkin D.E. 2011. Uncertainty and Risk in Wildland Fire Management: A Review. *J. Environ. Manag.* **92** (8): 1895–1909.
  74. Tymstra C., Stocks B.J., Cai X., Flannigan M.D. 2020. Wildfire management in Canada: Review, challenges and opportunities. *Prog. Dis. Sci.* **5**, 100045.
  75. United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNISDR].2015. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030 (p. 32). United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR).  
<https://www.unisdr.org/we/inform/publications/43291>

76. United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNISDR]. 2019. Global assessment report on disaster risk reduction, United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR), Geneva.
77. United Nations Office for Disaster Risk Reduction [UNISDR]. 2022. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022: Our World at Risk: Transforming Governance for a Resilient Future. Geneva.
78. Van Wagner C.E. 1987. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Can. For. Serv., Ottawa, Ont. For. Tech. Rep. 35. 37 p.
79. Wazneh H., Gachon P., Laprise R., de Vernal A., Tremblay B. 2021. Atmospheric blocking events in the North Atlantic: trends and links to climate anomalies and teleconnections. *Clim. Dyn.* **56**: 2199–2221, <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05583-x> (2021)
80. Wotton B.M., Flannigan M.D., Marshall G.A. 2017. Potential climate change impacts on fire intensity and key wildfire suppression thresholds in Canada. *Environ. Res. Lett.* **12**:095003.
81. Wu, A., Yan, X., Kuligowski, E., Lovreglio, R., Nilsson, D., Cova, T.J., Xu, Y. and Zhao, X. 2022. Wildfire evacuation decision modeling using GPS data. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 83: 103373.
82. Yemshanov D., Dawe D. A., Bakalarczyk A., Liu N., Boulanger Y., Boucher J., Beauchemin A., Arseneault D., Leblond M., Parisien M.-A. 2023. Balancing wildlife protection and wildfire hazard mitigation with a network optimization approach. *Frontiers in Forests and Global Change* **6**:1186616.
83. Zhao, X., Xu, Y., Lovreglio, R., Kuligowski, E., Nilsson, D., Cova, T.J., Wu, A. and Yan, X. 2022. Estimating wildfire evacuation decision and departure timing using large-scale GPS data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 107: 103277.