



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

Un aperçu de la prochaine génération de la Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt

Service canadien des forêts
Centre de foresterie des Grands Lac

Rapport d'information
GLC-X-26F

Canada

Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault Ste. Marie (Ontario)

Le Centre de foresterie des Grands Lacs (CFGL) est l'un des cinq centres de recherche faisant partie du Service canadien des forêts (SCF), qui est la voix nationale et internationale du secteur forestier du Canada. Un des principaux mandats du SCF consiste à effectuer des recherches scientifiques sur les forêts du Canada. Ces recherches peuvent servir à orienter la planification de l'aménagement forestier et les décisions stratégiques, et à aider l'industrie forestière, le public et d'autres scientifiques. Les projets de recherche couvrent diverses problématiques liées à la foresterie, notamment les changements climatiques, les incendies de forêt, les ravageurs forestiers et la télédétection. Les résultats de ces travaux de recherche sont divulgués sous la forme de rapports scientifiques et techniques et d'autres publications.

Des renseignements supplémentaires sur les travaux de recherche et publications de Ressources naturelles Canada, du Service canadien des forêts, et du Centre de foresterie des Grands Lacs, sont disponibles à la page <https://www.rncan.gc.ca/science-et-donnees/centres-de-recherche-et-laboratoires/centre-recherche-forets/centre-foresterie-grands-lacs/13460>.

Pour télécharger cette publication, consultez notre bibliothèque en ligne : <https://scf.rncan.gc.ca/publications>.



Ressources naturelles
Canada

Natural Resources
Canada

**Un aperçu de la prochaine génération de la Méthode canadienne d'évaluation des dangers
d'incendie de forêt** : Un rapport du Groupe de travail sur les dangers d'incendie du Service
canadien des forêts

Bibliothèque et Archives Canada offre des renseignements sur le catalogage de cette publication.

Un aperçu de la prochaine génération de la Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt : Un rapport du Groupe de travail sur les dangers d'incendie du par le Service canadien des forêts (Rapport d'information, ISSN 2562-0746 GLC-X-26F)

Publié aussi en anglais sous le titre : « An overview of the next generation of the Canadian Forest Fire Danger Rating System: A report by the Canadian Forest Service Fire Danger Group » Canadian Forest Service Fire Danger Group 2020.

Monographie électronique en format PDF.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN : 978-0-660-37267-9

No de catal. : Fo123-2/26-2021F-PDF

Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
 - d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et le nom de l'organisation qui en est l'auteur;
- et
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par Ressources naturelles Canada (RNCAN) et que la reproduction n'a pas été faite en association avec RNCAN ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution à des fins commerciales sont interdites, sauf avec la permission écrite de RNCAN. Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec RNCAN à droitdauteur.copyright@rncan-nrcan.gc.ca.

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de Ressources naturelles Canada, 2021.

Table des matières

Préface	1
Sommaire exécutif	2
1.0 Évaluation des dangers d'incendie de forêt au Canada, passé, présent et futur	4
1.1 Élaboration de la MCEDIF	5
1.2 Nouveaux défis.....	8
1.3 Nouvelles exigences.....	10
2.0 Conception de la prochaine génération de la MCEDIF	11
2.1 Portée et principes de conception	11
2.2 Nouvelles fonctionnalités et structure	12
3.0 Intrants sur l'environnement de l'incendie	20
3.1 Les paramètres météo et autres intrants sur l'environnement physique	20
3.2 Phénologie la végétation	21
3.3 Attributs structurels des combustibles	22
4.0 La Méthode d'humidité du combustible	25
5.0 La Méthode de l'indice forêt-météo	27
5.1 Intrants météorologiques au pic des conditions de brûlage	27
5.2 Indicateurs supplémentaires des dangers d'incendie	28
6.0 La Méthode de prévision du comportement des incendies de forêt	31
6.1 Probabilité de d'allumage	34
6.2 Modélisation de la propagation du feu	34
6.3 Transition du feu de surface en feu de cime et fraction du couvert consommé.....	37
6.4 Comportement du feu de cime.....	38
6.5 Feux disséminés	39
6.6 Caractérisation de la zone de combustion.....	40
6.7 Autres éléments liés à la propagation du feu de la Méthode PCI	41
7.0 Prévision des occurrences des incendies	44
7.1 Élaboration de la POI	44
7.2 Progrès vers une Méthode POI nationale.....	45
8.0 Outils et applications pour la gestion des incendies	46
9.0 Prochaines étapes	51
10.0 Remerciements	54
11.0 Références	55
12.0 Annexes	62

Annexe A. Types de combustibles et attributs	62
Annexe B. Glossaire des nouveaux termes et concepts	66
Annexe C. Liste des abréviations	69

Préface

Citation : Groupe de travail sur les dangers d'incendie du Service canadien des forêts. 2020. Un aperçu de la prochaine génération de la Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt (Rapport d'information GLC-X-26F). Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Grands Lacs.

Les principaux membres actuels du Groupe de travail sur les dangers d'incendies du Service canadien des forêts sont Jonathan Boucher, Chelene Hanes, Natasha Jurko, Daniel Perrakis, Steve Taylor, Dan K. Thompson et Mike Wotton. Chaque membre de ce groupe a contribué à la rédaction du présent rapport qui énonce la vision pour la prochaine génération de la Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt (MCEDIF).

La MCEDIF est en évolution depuis quelque temps déjà. Bien d'autres personnes ont contribué depuis plus de dix ans à élaborer cette vision de la nouvelle MCEDIF. Parmi ces personnes, nous notons tout particulièrement les précédents membres du Groupe de travail sur les dangers d'incendies qui ont dirigé l'élaboration de la dernière amélioration majeure apportée à la MCEDIF en 1992 : Marty Alexander, Bruce Lawson, Tim Lynham, Rob McAlpine, Brian Stocks, et Charles Van Wagner. De plus, au cours des dix dernières années, Bill de Groot, Mike Flannigan, Brad Hawkes, et Brian Simpson ont participé régulièrement aux discussions sur les améliorations à apporter à la MCEDIF. Il convient de préciser que de nombreux membres de la communauté internationale et canadienne de gestion des incendies ont apporté leurs commentaires et leurs connaissances pour déterminer les améliorations et les assouplissements nécessaires pour répondre aux besoins opérationnels des responsables de la gestion des incendies de forêt.

Sommaire exécutif

Les gestionnaires de la lutte contre les incendies doivent prendre des décisions à l'échelle de l'intervention, régionale, provinciale et nationale dans un environnement hautement dynamique. La Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt (MCEDIF) est un ensemble de sous-méthodes et de modèles imbriqués, qui permet de caractériser uniformément au niveau national le danger d'incendie (un indicateur général du potentiel des incendies), le comportement des incendies et leur fréquence à différentes échelles spatio-temporelles afin de contribuer à la prise de décisions. Les deux sous-méthodes les plus développées et les plus largement utilisées sont la Méthode canadienne de l'indice forêt-météo (IFM) et la méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI). La MCEDIF offre une base scientifique pour évaluer le potentiel d'incendie de forêt au Canada; la méthode de l'IFM a également été adoptée dans de nombreux autres pays et est une composante essentielle d'un système global d'alerte précoce pour prévenir les incendies de forêt. La MCEDIF actuelle est la cinquième génération de modèles d'évaluation des dangers d'incendie au Canada et la première ayant une portée nationale. Toutefois, la MCEDIF n'a pas connu de mise à jour importante depuis 1992. Le présent document décrit un plan visant à moderniser la MCEDIF pour mieux répondre aux besoins en matière de gestion des incendies, en s'appuyant sur une tradition d'observations scientifiques et de modélisation.

La prochaine génération de la MCEDIF (MCEDIF-2025) intégrera de nouvelles sources de données et une approche plus modulaire, basée sur les processus. Les sous-méthodes porteront sur la teneur en humidité des combustibles, les dangers d'incendie, le comportement du feu et les prévisions sur la fréquence des incendies. Les nouvelles fonctionnalités comprendront :

1. Des prévisions sur les dates relatives au début et la fin de la période de feuillaison dans les forêts feuillues, au verdissement et au fanage de l'herbe dans les prairies, en tenant compte des dates variables de la fonte des neiges et des conditions météorologiques printanières.
2. Une nouvelle méthode de modélisation de l'humidité pour les couches de combustibles clés.
3. De nouveaux indices des dangers d'incendie propres aux prairies et aux tourbières; une modification des calculs d'évaluation des dangers d'incendie afin de mieux refléter les pics des conditions météorologiques favorables au feu.
4. Une reconfiguration des modèles de comportement d'incendie afin de représenter les processus d'allumage persistant, le comportement de feux de surface, la transition vers les feux de cimes, le comportement des feux de cimes et les brèches dans les coupe-feux.
5. La complétion d'un cadre national de modèles statistiques pour prédire le nombre et l'emplacement attendus de nouveaux foyers d'incendie et de grands incendies.

Cette prochaine génération de la MCEdIF permettra aux responsables de la gestion des incendies d'obtenir de meilleures prévisions provinciales et nationales des éléments suivants :

- Le début de la hausse des dangers d'incendie et du comportement d'incendie au printemps, dans les peuplements feuillus et mixtes;
- Les dangers d'incendie au-delà des forêts, y compris dans les prairies et les tourbières;
- Le potentiel d'occurrence des grands incendies.

Elle fournira également des moyens permettant de mieux évaluer le comportement potentiel du feu à l'échelle du peuplement et d'une intervention, à travers des améliorations apportées à la 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;
- Les de traitement de réduction des combustibles, comme l'éclaircie et l'élagage sur le comportement du feu;
- 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.

Les améliorations et mesures de modernisation prévues à la MCEdIF seront documentées plus en détail dans une prochaine série de rapports techniques. La vision décrite ici représente un certain nombre d'améliorations importantes à adopter dans le but d'une mise en œuvre par étapes de cette Méthode à compter de 2025. Les principaux outils et concepts, comme la Méthode de l'indice forêt-météo, et les types de combustibles demeureront compatibles avec les nouvelles fonctionnalités. Dans cette mouvance, le partage d'information avec les agences de gestion des incendies doit-être un processus intégré et continu.

1.0 Évaluation des dangers d'incendie de forêt au Canada, passé, présent et futur

Les premières méthodes de suppression des feux de forêt au Canada étaient simples : on tentait de tenir les feux de végétation loin des colonies, afin qu'ils restent en forêt, là où ils devaient être. Il n'y avait aucune planification : le feu était combattu partout où il ne pouvait être évité. Plus tard, lorsque la suppression des feux de forêt s'est organisée, la nécessité d'élaborer des plans précis est devenue évidente. Pour établir les bases de ces plans, il était nécessaire d'obtenir une mesure fiable de l'inflammabilité des forêts au quotidien... (Williams 1963). (traduction libre de l'anglais au français).

Il incombe aux responsables de la gestion des incendies la difficile mission de prendre des décisions sur les activités à mener pour prévenir les feux de végétation, pour s'y préparer et y répondre, ou pour réaliser des brûlages dirigés. Ces activités sont influencées par des facteurs comme le nombre d'ignitions et la propagation de l'incendie qui s'en suit dans l'immédiat, ou à des échelles temporelles horaire, quotidienne, hebdomadaire, saisonnière, annuelle et multi-décennale; et ce pour des considérations de charge de travail relative aux incendies et de disponibilité des ressources, tant à l'échelle spatiale d'un feu individuel, qu'à l'échelle du pays (Taylor 2020).

Par le passé, l'évaluation des dangers d'incendie a été définie comme l'évaluation des facteurs fixes et variables de l'environnement de l'incendie (combustibles, conditions météorologiques, et topographie), qui permettent de déterminer la facilité d'allumage, la vitesse de propagation, la difficulté de suppression et les répercussions des incendies de forêt. Les méthodes d'évaluation des dangers d'incendie visaient, à l'origine, à apporter aux responsables de la gestion des incendies des données quotidiennes permettant de juger du niveau de préparation nécessaire afin de réduire au minimum les effets défavorables et les pertes liées aux feux de forêt et, en particulier, de repérer les journées où l'activité potentielle des incendies était très élevée. Toutefois, l'échelle spatio-temporelle de l'information sur l'environnement des incendies de forêt à la disposition des responsables de la gestion des incendies a augmenté depuis un siècle. La section suivante résume les étapes de l'élaboration de la MCEDIF actuelle, certains des nouveaux défis liés à l'évaluation des dangers d'incendie et les nouvelles fonctionnalités nécessaires.

1.1 Élaboration de la MCEDIF

La MCEDIF actuelle comprend plusieurs sous-méthodes pour lesquelles il existe des équivalents à travers le monde au sein d'autres méthodes nationales. La composante la plus reconnue de la MCEDIF est la méthode de l'Indice forêt-météo (IFM) (Van Wagner 1974, Van Wagner 1987), qui fournit des indicateurs de la teneur en humidité pour les principaux combustibles de surface, ainsi que des indicateurs relatifs de la vitesse de propagation. Elle est généralement utilisée pour les tâches comme la planification quotidienne afin de répondre à l'activité des incendies. En soi, la méthode de l'IFM est une méthode complète pour évaluer les dangers d'incendie en se fondant sur des observations météorologiques. Elle est utilisée au Canada dans sa version actuelle depuis près de 50 ans. La Méthode de prévision du comportement des incendies (PCI) fournit des estimations spécifiques à un site et à un type de combustibles sur la vitesse de propagation, la consommation de combustibles, l'intensité du feu, ainsi que d'autres valeurs en lien avec les principaux types de combustibles de référence au Canada et elle est utilisée dans divers aspects des activités de gestion des incendies. Deux sous-méthodes supplémentaires, la Méthode annexe d'humidité du combustible (MHC) et la Méthode de prévision des occurrences des incendies de forêt (POI), qui ont été définies dans les années 1980 comme des éléments essentiels de la MCEDIF, mais sont actuellement incomplètes. Plus de renseignements sur la structure, l'élaboration et l'application de la MCEDIF se retrouvent dans d'autres rapports et publications (Lawson et al. 1985, Stocks et al. 1989, Taylor and Alexander 2006, Wotton 2009a).

L'information obtenue à partir de la MCEDIF est utilisée au quotidien dans la plupart des aspects du processus de planification de la gestion des feux de forêt partout au Canada. Taylor et Alexander (2006) proposent une liste complète de ces applications, qui vont de la prévention et de la préparation à l'analyse des feux échappés et à la formation sur le comportement d'incendie. Une application importante de la MCEDIF a depuis toujours été d'appuyer la prise de décisions pour la lutte contre les incendies : identifier l'emplacement d'allumage potentiel, ainsi que la vitesse de propagation et de l'intensité potentiels des feux actifs, afin d'établir des tactiques d'intervention sécuritaire et efficace. La MCEDIF, et en particulier la méthode de l'IFM, a également été adoptée ou adaptée pour aider les responsables de la gestion des incendies dans de nombreux autres pays (par exemple, la Nouvelle-Zélande, le Mexique, l'Indonésie, la Malaisie, l'Argentine, le Costa Rica, la France, et plusieurs États américains en forêt boréale) (de Groot et al. 2005, de Groot et al. 2006, de Groot et al. 2007). Un jeu de données multidécennales mondiales de la méthode de l'IFM a d'ailleurs été créé et est tenu à jour pour fins de recherche (Field et al. 2015). L'application de la MCEDIF dans des régions ayant des climats et des végétations différents de ceux du Canada peut s'expliquer, au moins partiellement, par : la relative simplicité des données requises comme intrants à la Méthode, la simplicité des calculs et la facilité de son implémentation, l'importance des différentes couches de combustibles représentées par trois modèles d'humidité, les nombreux outils d'interprétation élaborés pour ses principales sous-méthodes, et l'approche de modélisation utilisant les données tirées d'un vaste programme d'expérimentation sur le terrain et d'observation d'incendies de forêt.

La MCEDIF a évoluée à travers un programme continu de recherche ayant été lancé en 1925 (Encadré 1), la version actuelle de la MCEDIF est la cinquième génération des méthodes d'évaluation des dangers d'incendie (Stocks et al. 1989). La portée de l'évaluation des dangers d'incendie s'est étendue au cours de cette période, passant de simples indicateurs régionaux des dangers d'incendie à un ensemble commun d'indicateurs nationaux, qui sont interprétés à l'échelle régionale; et d'indicateurs qualitatifs du potentiel des incendies à des estimations quantitatives du comportement du feu. La collaboration entre chercheurs et responsables de la gestion des incendies a été essentielle à l'élaboration de la Méthode, en particulier lors de la réalisation de feux expérimentaux. La MCEDIF doit continuer à évoluer avec les avancées de la recherche et de l'expérience opérationnelle, en fonction des défis liés à la gestion des incendies, aux progrès technologiques et à l'expansion des données sur l'environnement des incendies.

Encadré 1. Quelques étapes et époques marquantes dans l'évaluation des dangers d'incendie au Canada

1925	J.G. Wright décrit la nécessité de mener des travaux de recherche sur les dangers d'incendie dans une note de service destinée au Directeur de la foresterie, E.H. Finlayson.
1928	Début des études sur la teneur en humidité et l'inflammabilité des principaux combustibles menés à la Forêt expérimentale de Petawawa (FEP).
1933	J. G. Wright et H.W. Beall produisent le premier ensemble de tables sur les dangers d'incendie, fondé sur un « Tracer Index » mettant en relation la teneur en humidité de litières d'aiguilles au comportement attendu du feu.
1931 - 1961	Les études sur le terrain, de la teneur en humidité et de l'inflammabilité, sont étendues à une variété de combustibles dans 10 autres stations expérimentales réparties sur l'ensemble du Canada, allant de Terre-Neuve à la Colombie-Britannique jusqu'aux Territoires du Nord-Ouest. Plus de 20 000 tests d'allumage ont été menés.
1933 – années 1960	Quatre générations de méthodes d'évaluation des dangers d'incendie ont été élaborées avec une application de plus en plus universelle dans tout le Canada. Au milieu des années 1960, la quatrième méthode (adaptée en neuf différentes versions régionales), était très utilisée dans tout le Canada.
1965	Formation d'un groupe de chercheurs fédéraux, spécialisés dans les incendies et répartis à travers le pays, pour orienter l'élaboration d'une nouvelle méthode nationale d'évaluation des dangers d'incendie au Canada.
1967	S. J. Muraro propose une approche modulaire pour la nouvelle méthode nationale d'évaluation des dangers d'incendie afin de remplacer les différentes méthodes régionales.
1969 - 1970	Une version provisoire de la méthode de l'IFM a été publiée en 1969, suivie par la première édition de la méthode de l'IFM au cours de l'année suivante.
1965 - 1995	Des chercheurs du SCF spécialisés dans les incendies renouvellent le programme de feux expérimentaux sur le terrain, en augmentant la superficie des parcelles expérimentales pour plusieurs types de combustibles « de référence ». Des estimations quantitatives de la vitesse de propagation ont également été recueillies à partir de plusieurs incendies de forêt.
1982	La MCEIF est formalisée.
1984	Quatrième et actuelle version de la méthode de l'IFM.
1984	Version provisoire de la Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies (PCI).
1987	Proposition de la structure actuelle de la MCEIF, notamment l'IFM et des méthodes PCI, MHC (Méthode annexe d'humidité du combustible) et une Méthode de prévision (POI) de la fréquence des incendies de forêt.
1992	Première édition complète de la méthode PCI.
2009	Mises à jour et révisions mineures de l'édition de 1992 de la méthode PCI pour refléter des changements mathématiques apportés à la méthode au cours des 15 dernières années.

1.2 Nouveaux défis

Le projet de renouvellement de la MCEDIF n'est pas motivé en réponse à une question ou une préoccupation singulière. Il est plutôt dicté par plusieurs défis et décisions liés à la gestion moderne des incendies, qui nécessitent des connaissances sur les incendies allant au-delà de ce pour quoi les modèles et sous-méthodes actuels de la MCEDIF ont été conçus. De plus, pour répondre à certains de ces besoins, de nouvelles données sur l'environnement du feu et sur la pyrologie forestière peuvent être exploitées et intégrées à la MCEDIF.

L'évolution de l'environnement de la gestion des incendies

La complexité liée à la gestion des incendies au Canada s'est accrue ces dix dernières années, imposant des exigences grandissantes à l'égard des responsables de la gestion des incendies (Conseil canadien des ministres des forêts 2005, du Conseil canadien des ministres des forêts 2016). Les responsables contemporains de la gestion des incendies doivent planifier et prendre action sur des feux de forêt en tenant compte d'un éventail de complexes de combustibles plus large que celui qui était à l'origine pris en compte dans les modèles canadiens de prévision du comportement d'incendie. Tout en continuant à trouver le juste équilibre entre diverses valeurs et questions parfois conflictuelles, notamment la biodiversité, les émissions de fumée et de carbone, la croissance du milieu périurbain (WUI; résidentiel et industriel), les changements climatiques et la détérioration possible de l'état de santé de l'écosystème forestier, découlant des politiques de suppression des incendies (Conseil canadien des ministres des forêts 2005, Hirsch et Fuglem 2006, du Conseil canadien des ministres des forêts 2016). Par exemple, la récente épidémie de dendroctone du pin ponderosa à l'ouest de l'Amérique du Nord a laissé des millions d'hectares de pins tordus morts et mourants dans les provinces de la Colombie-Britannique et de l'Alberta, créant de grandes étendues de combustibles, en constante évolution, alors que les arbres meurent, que les chicots se décomposent et tombent, et que la communauté végétale résiduelle réagit. Alors que le dendroctone du pin ponderosa est une espèce indigène de nombreuses forêts du centre de la Colombie-Britannique, l'étendue et la durée de la récente épidémie a modifié le complexe de combustibles sur de vastes superficies. Il est important d'être en mesure de prédire le comportement du feu pour tous les complexes de combustibles naturels ou modifiés présents dans le paysage canadien, non seulement pour le déploiement des ressources d'attaques initiales ou pour l'analyse des feux échappés, mais aussi pour assurer la sécurité des équipes d'intervention, la sécurité et l'efficacité de l'intervention aérienne, et l'efficacité des plans d'évacuation et de la suppression des incendies.

Plusieurs stratégies et pratiques de gestion des incendies sont utilisées pour répondre à ces problèmes. Le partage des ressources de suppression des incendies entre les agences provinciales canadiennes pendant les périodes où la charge de travail relative aux incendies est la plus forte a permis de renforcer la portée de la planification et de la prise de décisions. Les pressions exercées sur les ressources et la reconnaissance étendue du rôle écologique des incendies ont également mené à l'adaptation d'anciennes politiques de gestion pour des stratégies « d'intervention appropriée ». Dans certaines provinces et certains territoires, cela a nécessité de passer d'une approche par zones à une évaluation au cas par cas de la nécessité

d'intervenir. Une telle intervention peut aller de mesures suppression totale des incendies à une simple surveillance. Des techniques de gestion des combustibles (p. ex., coupe d'éclaircie dans les peuplements) sont de plus en plus appliquées pour réduire le risque d'incendie en milieu périurbain.

Nouvelles données sur l'environnement des incendies

L'accélération du traitement numérique et de la vitesse de communication des données, les capacités informatiques et le développement de nouveaux capteurs ont considérablement modifié la quantité et le type de données environnementales disponibles pour les responsables de la gestion des incendies, ainsi que la rapidité avec laquelle ils peuvent les obtenir (p. ex, observations météorologiques en temps réel, prévisions météorologiques numériques, surveillance satellitaire des incendies et utilisation de la télédétection pour l'identification et la composition des combustibles). Bien que la méthode d'origine était robuste sur le plan conceptuel, cette résolution grandement augmentée des données (spatiales et temporelles) disponibles pour les agences de gestion des incendies permet, aujourd'hui, d'obtenir des intrants qui vont au-delà des capacités prévues de la MCEIF. Un des objectifs du programme de développement de la nouvelle

génération de la MCEIF est d'élaborer des modèles permettant d'utiliser ces nouvelles sources de données de façon uniforme et scientifiquement rigoureuse (Encadré 2).

Percées scientifiques et nouvelles applications

La dernière mise à jour majeure de la MCEIF a été l'achèvement, en 1992, de la méthode PCI. Des avancées dans le domaine de la science des feux de forêt ont continué à être réalisées au cours des dernières décennies, encouragées par l'augmentation des problématiques liées aux feux de forêt dans plusieurs compétences (p. ex. provinces, territoires, pays) et par le financement de programmes régionaux de recherche en pyrologie forestière (p. ex., le *US Joint*

Encadré 2. Quelques informations émergentes sur l'environnement du feu, sur les technologies et outils de surveillance émergents (depuis 1992)

Observations météorologiques horaires ou sous-horaires, disponibles en temps réel.

Détection satellitaire automatisée de la fin de la période de feuillaison.

Systèmes d'inventaire de la végétation haute résolution, donnant de l'information à jour sur la structure et la composition des forêts; associant souvent la télédétection et les relevés de données terrain.

Caractérisation LiDAR détaillée de la structure de la forêt et des attributs topographiques.

Capacité de mesurer directement et en temps réel la teneur en humidité.

Produits de prévisions spatialement explicites (sous forme de grille) de la haute atmosphère, pour des échelles temporelles de prévision à moyen et court terme.

Observations du rayonnement solaire (directes ou par télédétection).

Prévision à court terme de la foudre.

Surveillance et cartographie quotidiennes (ou plus fréquente) du périmètre des incendies.

Fire Sciences Program, le *Bushfire and Natural Hazards CRC* en Australie et de nombreux projets financés par l'Union européenne). De tels programmes ont permis de réaliser des avancées dans les méthodes de caractérisation journalière de l'environnement du feu de forêt. Au cours des dernières décennies, la recherche sur les feux de forêt au Canada n'a pas bénéficié de tels niveaux de financement. Il y a eu néanmoins d'importantes avancées dans ce domaine qui n'ont pas été intégrées à la MCEIF.

De nombreuses nouvelles applications de la gestion des incendies nécessitent des données sur le comportement du feu et d'autres intrants qui ne peuvent être obtenus à partir de la MCEIF. Dès la fin des années 1990, dans le cadre de travaux sur un modèle canadien de propagation d'incendie (Tymstra et al. 2010) la MCEIF a commencé à être utilisée dans des situations pour lesquelles elle n'avait pas été prévue. Par exemple, la prévision de la propagation des feux de forêt pendant la nuit. L'accent mis sur la prévision horaire (ou sous-horaire) de la propagation des feux a également mis en lumière les importantes incohérences entre les différentes méthodologies de la MCEIF, comme le calcul horaire de l'Indice du combustible léger (ICL) de Van Wagner (1977a) comparativement à l'ajustement diurne des valeurs journalières de Van Wagner (1972) ou de Lawson et al. (1996). Bien que des solutions de fortune pour remédier à ces problèmes aient été trouvées, la MCEIF continue d'être utilisée hors du spectre pour lequel elle a été développée, afin d'évaluer le risque d'incendie dans de nouvelles conditions et pour répondre à un plus grand nombre de besoins en matière de prises de décisions relatives à la gestion des incendies.

1.3 Nouvelles exigences

Les informations détaillées sur le potentiel d'incendie qui seront nécessaires pour soutenir des décisions plus complexes en matière de gestion des incendies, ainsi que les nouvelles données sur l'environnement des incendies et les nouveaux résultats de la science des incendies, ne peuvent pas facilement être fournis ou intégrés à partir des sous-systèmes et modèles actuels de la MCEIF. Voici certaines des principales exigences : 1) Une modification de plusieurs sous-méthodes pour fournir des modèles de comportement d'incendie plus flexibles tenant compte de peuplements de diverses densités et des conditions dans les peuplements aménagés et perturbés; 2) Des modèles de comportement et d'accroissement des incendies applicables à toute la gamme de combustibles présents au Canada, et ce pour l'entièreté du cycle diurne de brûlage; 3) Des améliorations aux indicateurs régionaux quotidiens des dangers d'incendie applicables aux prairies et aux forêts sont nécessaires pour fournir de meilleurs renseignements pour appuyer la planification quotidienne; et 4) Des modèles de prévision quotidienne d'occurrence d'incendies pour toutes les régions du Canada sont nécessaires afin d'améliorer l'alerte précoce et informer le partage des ressources.

Le SCF a lancé un important programme de recherche afin d'élaborer et documenter une nouvelle version de la MCEIF. Bien que les travaux de recherche du SCF sur le comportement du feu aient été menés de façon continue depuis au moins les dix dernières années, ce nouveau programme représente un investissement important axé sur l'achèvement de plusieurs modèles et la documentation de la structure de cette prochaine génération de la Méthode.

L'objectif du présent rapport est de donner à la communauté de chercheurs et de responsables de la gestion des incendies un aperçu du programme de recherche et de développement de cette prochaine génération de la MCEDIF (PG-MCEDIF), qui s'étendra sur la période 2020-2025. Ces nouvelles composantes seront regroupées pour former une prochaine génération de la Méthode actuellement identifiée comme la « MCEDIF-2025 ». Jusqu'à la fin du présent rapport, l'utilisation de l'acronyme MCEDIF désigne, dans l'ensemble, les diverses versions de la Méthode élaborées depuis les années 1970. La MCEDIF demeurera l'appellation générale pour désigner la méthode. Toutefois, pendant la transition vers la prochaine génération de la Méthode, plusieurs appellations propres à la date d'avancement seront utilisées. MCEDIF -1992 désigne la Méthode au moment de l'achèvement de la méthode PCI en 1992 (mais comprends les mises à jour mineures apportées à la méthode PCI décrites dans Wotton et al. 2009). MCEDIF-2025 désigne la version attendue en 2025 de la Méthode, alors que PG-MCEDIF désigne le programme de recherche et développement axé sur la création de la MCEDIF-2025.

2.0 Conception de la prochaine génération de la MCEDIF

Lorsque des modifications importantes sont apportées à une méthode bien établie et essentielle sur le plan opérationnel, comme la MCEDIF, les répercussions de ces modifications sur les utilisateurs doivent être prises en compte. La MCEDIF-2025 ne doit pas être considérée comme une réelle réinvention de la Méthode, mais simplement comme une étape de son évolution. Il s'agit d'une consolidation et d'une mise en œuvre majeures des travaux scientifiques en cours pour renforcer la flexibilité de la MCEDIF et permettre d'utiliser avec elle de nouvelles données et de caractériser l'environnement de l'incendie dans un plus grand nombre de situations. Les fondements de la Méthode qui caractérisent les principaux aspects de l'environnement des incendies de forêt au Canada demeurent valables et la Méthode elle-même reste efficace. Cette section aborde la portée de la prochaine génération de la MCEDIF et décrit la nouvelle structure et les nouvelles fonctionnalités qui seront détaillées dans le reste du document.

2.1 Portée et principes de conception

La MCEDIF-2025 ne comprendra pas tous les éléments que les utilisateurs pourraient considérer comme manquants dans la Méthode. En effet, l'accent sera mis sur ce qui peut être fait pour améliorer la base de la Méthode, pour ainsi renforcer sa flexibilité et répondre aux principaux besoins de renseignements pour la gestion moderne des incendies.

Les principes clés qui sous-tendent l'élaboration de la MCEDIF présentés dans l'encadré 3 seront encore utilisés pour orienter le programme PG-MCEDIF alors que de nouveaux modèles sont élaborés et intégrés.

Les estimations horaires et journalières de la facilité d'allumage, du comportement d'incendie et de leur occurrence, tant à l'échelle ponctuelle qu'à l'échelle du peuplement, ou encore celle plus vaste du paysage, demeureront l'objectif principal de la MCEDIF. La propagation du feu à l'échelle du paysage, dans des paysages hétérogènes, et la fréquence des incendies à long terme (plusieurs années), sont des éléments considérés comme ne faisant pas partie de la portée de la MCEDIF. Toutefois, des modèles de prévision des grands incendies à l'échelle du paysage continueront de reposer sur les modèles de propagation de la MCEDIF. Les caractéristiques secondaires et les effets des incendies comme les émissions de fumée et la mortalité des arbres, ainsi que les considérations relatives à la gestion des incendies, sont des domaines reconnus comme importants pour les applications (voir section 9), mais ne font pas partie de la portée de la MCEDIF. Les nouvelles fonctionnalités de la MCEDIF permettront d'améliorer ces applications.

Encadré 3. Principes clés de l'élaboration de la MCEDIF

Modularité — la méthode est faite de composantes qui peuvent être conservées ou remplacées au besoin, permettant d'apporter des améliorations continues et d'adopter de nouveaux résultats scientifiques.

Une facilité d'utilisation et d'interprétation, tout en offrant une certaine souplesse aux utilisateurs expérimentés et plus de données détaillées.

Des modèles physiquement réalistes/logiques obtenus à partir de données provenant d'observations terrain.

Des méthodes et sous-méthodes cohérentes entre-elles.

2.2 Nouvelles fonctionnalités et structure

Un grand nombre des nouvelles fonctionnalités requises pour améliorer la flexibilité et l'utilisation de la MCEDIF ont fait l'objet de discussions pendant plus de dix ans, et d'importants travaux de recherche et développement ont été menés avant 2020. Certains de ces nouveaux éléments liés à l'évaluation des dangers d'incendie, au comportement et à l'occurrence des incendies sont décrits dans l'encadré 4, ainsi que de nouveaux modèles de teneur en humidité et des données sur l'environnement de l'incendie qui sont nécessaires dans les nouveaux modèles.

Encadré 4. Fonctionnalités proposées pour la MCEDIF-2025 afin d'améliorer sa flexibilité et son utilisation

Environnement de l'incendie

Types de végétation de surface classés par catégories
Modèles dynamiques de la biomasse de la cime et de la densité du combustible de la cime disponible à la combustion
Phénologie de la feuillaison et du fanage de l'herbe
Période de la fin de la fonte des neiges déclenchant la saison des feux
Vitesse du vent sous couvert

Humidité des combustibles

Amélioration des ajustements propres aux peuplements et de la modélisation diurne de la teneur en humidité dans la litière et la matière organique au sol
Amélioration du suivi de la dynamique saisonnière de l'humidité foliaire

Conditions forêt-météo et dangers d'incendie

Intégration des conditions météorologiques au pic de la période de brûlage, afin d'informer sur le comportement du feu pendant cette période
Indices de propagation, des combustibles disponibles et de l'intensité du feu pour les tourbières et les prairies

Comportement du feu

Probabilité de combustion soutenue accompagnée de flammes

Cadre de modélisation mixte pour :

- La vitesse de propagation et consommation du feu de surface
- La probabilité d'un commencement de feu de cime, conditionnel à un feu de surface
- La vitesse de propagation et consommation du feu de cime

Les caractéristiques de la zone de combustion : dimensions et température des flammes, temps de résidence, feu couvant

Production et transport de tisons à moyenne distance

Occurrence des incendies

Nombre quotidien d'incendies de foudre ou d'origine humaine

Nombre de grands incendies (>100 ha)

Les nouveaux éléments de la MCEDIF-2025 continueront d'être intégrés comme une suite de modules, qui ne diffèrent que légèrement de ceux de la MCEDIF-1992 en termes de leur apparence et de leur organisation (Figure 1). Les sous-méthodes reconnues, la Méthode de l'IFM et la Méthode de la PCI, sont toujours présentes, mais leurs constitutions seront modifiées en partie avec la mise à jour de certains modèles. Les utilisateurs auront toujours accès au niveau de complexité adapté à leurs besoins. Les sous-méthodes d'humidité du combustible, de l'indice forêt-météo et de prévision du comportement des incendies sont applicables à l'échelle ponctuelle (p. ex. échelle du point d'allumage) ou du peuplement, mais peuvent être extrapolés à l'échelle du paysage dans le cadre des systèmes de gestion des incendies (p. ex., section 8). À l'inverse, la Système de prévision des occurrences des incendies

s'applique seulement à l'échelle du paysage, où la zone géographique couverte par le modèle est discrétisée en une grille.

Un résumé de certains des principaux changements apportés aux sous-méthodes est présenté ci-dessous. Ces changements seront décrits plus en détail dans les autres sections de ce rapport (sections 3 à 8). Les différences entre les diverses versions de chaque sous-méthode sont présentées dans le tableau 1.

Intrants sur l'environnement de l'incendie (section 3)

Les informations liées aux combustibles, aux conditions météorologiques, à la topographie et à l'emplacement demeureront des intrants de base dans les sous-méthodes et modèles de la MCEDI -2025. Toutefois, certaines nouvelles observations sur les conditions météorologiques et des renseignements supplémentaires sur les caractéristiques du combustible seront nécessaires pour les nouveaux, et plus flexibles, modèles sur l'humidité des combustibles et le comportement des incendies (sections 4 et 6).

Modèles d'humidité des combustibles (section 4)

Les modèles journaliers standards d'humidité permettant d'assurer le suivi des strates clés d'une forêt de pin existent toujours dans la Méthode IFM. Toutefois, un plus grand ensemble de modèles d'humidité de la couche organique et des combustibles de surface propres aux peuplements sera disponible dans la Méthode d'humidité du combustible (MHC) pour des applications plus spécifiques aux sites ou aux combustibles. De nouveaux modèles seront intégrés afin de suivre de l'humidité des combustibles surélevés et exposés, qui sèchent plus rapidement, ainsi que pour les strates organiques profondes, qui sèchent plus lentement, comme dans les tourbières.

Indice forêt météo (section 5)

Afin de permettre la compatibilité entre les calculs d'humidité horaires et journaliers et pour mieux représenter les dangers d'incendie au pic du cycle de brûlage de l'après-midi, les indices journaliers d'humidité du combustible et les indices du comportement seront calculés à partir des observations sur les conditions météorologiques durant le pic du cycle de brûlage plutôt qu'à partir des données recueillies à 13 h (midi solaire), heure avancée locale. De plus, de nouveaux indices optionnels seront intégrés pour les combustibles de prairies et de tourbières.

Prévision du comportement des incendies de forêt (partie 6)

D'autres changements considérables seront nécessaires pour augmenter les fonctionnalités de la méthode de prévision du comportement des incendies de forêt. Les nouveaux modèles sur la vitesse de propagation ne reposeront plus sur l'IPI (Indice de propagation initiale), mais dépendront, plus directement, des estimations sur la teneur réelle en humidité des combustibles légers et sur la vitesse réelle du vent comme pour d'autres modèles semi-empiriques de comportement d'incendie élaborés ces dernières années (Cheney et al. 1998, Fernandes 2001, Cheney et al. 2012, Anderson et al. 2015, Cruz et al. 2015). Toutefois, pour les nombreux usages génériques de la Méthode PCI, ces principaux intrants (p. ex., ICL et vent) demeureront inchangés et les modifications ne seront pas perceptibles.

Dans l'ensemble, les modèles de vitesse de la propagation de la Méthode PCI dépendront plus directement du modèle « à deux équations », « à double équilibre », ou encore « multi-phase » élaboré par Van Wagner (1993), mais intégreront explicitement des caractéristiques plus physiques du peuplement intégrées dans les types de combustibles standards (ou estimés et saisis par les utilisateurs) afin de couvrir un plus large éventail de flexibilité. Il s'agira d'un changement considérable, mais non perceptible pour les utilisateurs qui n'ont pas besoin ou ne souhaitent pas comprendre le complexe de combustibles en détail.

Tout comme dans la méthode actuelle, les éléments qui seront complexifiés ne nécessiteront pas de saisie de la part des utilisateurs, sauf si requis pour des applications spécialisées.

Prévision des occurrences des incendies de forêt (section 7)

Des méthodes visant à prédire, à court et à moyen terme (1 à 10 jours), le nombre et l'emplacement de nouveaux feux de causes humaines ou causés par la foudre, seront élaborées pour tous les agences de gestion des feux de forêts du Canada. Ces renseignements leur seront transmis et permettront d'éclairer les décisions à l'échelle nationale comme celles relatives au partage des ressources.

Les sections 3 à 7 décrivent les changements importants apportés à chaque sous-méthode, sans donner de description technique détaillée. Ces sections présentent différents niveaux de détails, et reflètent la complexité des sous-méthodes de la MCEIF et les changements proposés. Bien qu'il y ait liens importants et de l'interdépendance entre chacune de ces sections, certains lecteurs préféreront comprendre les changements proposés aux sous-méthodes reconnues de la MCEIF (p. ex., les méthodes de l'IFM et PCI) décrites dans les sections 5 et 6 avant de revenir aux exigences liées aux nouvelles données et aux nouveaux modèles d'intrants dans la section 3. La section 8 Outils et applications pour la gestion des incendies décrit comment les nouvelles fonctionnalités de la MCEIF-2025 vont modifier et permettre d'améliorer les applications pour la gestion des incendies grâce à de forts liens avec la MCEIF. La dernière section (section 9 Prochaines étapes) décrit certains des éléments qui seront nécessaires pour réaliser la MCEIF-2025.

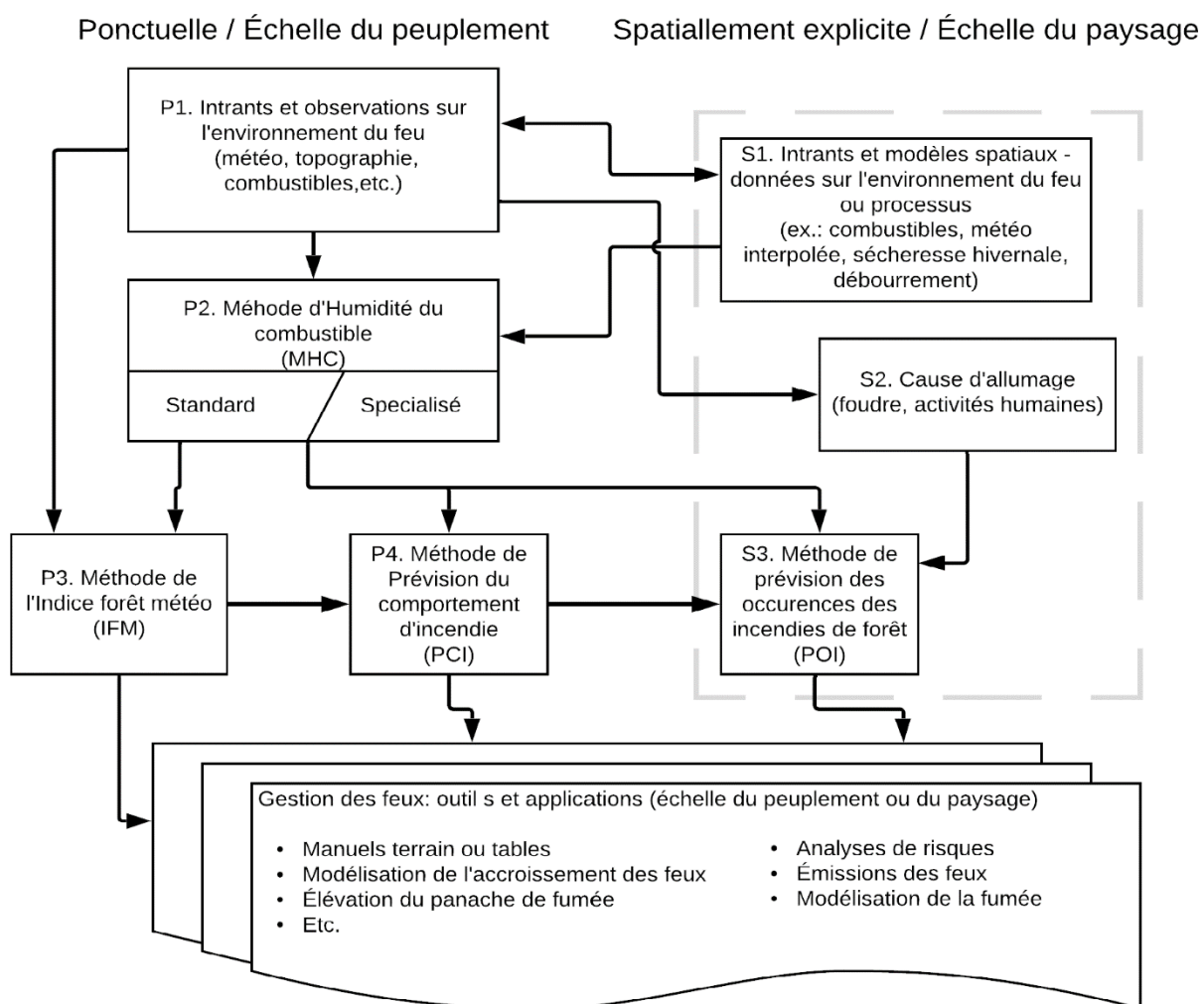


Figure 1. Structure conceptuelle proposée de la MCEDIF-2025. En débutant par les intrants et observations sur l'environnement de l'incendie à l'échelle du peuplement (P1), la Méthode d'humidité du combustible (MHC; P2) prédit la teneur en humidité des combustibles à l'aide des modèles standards ou spécialisés servant d'intrants à (P3) la méthode de l'Indice forêt-météo pour une évaluation des dangers d'incendie journaliers à grande échelle ou en tant qu'intrants dans (P4) la méthode de Prédiction du comportement des incendies (PCI). Les sorties des méthodes de l'IFM et de PCI peuvent être utilisées dans divers outils et applications liés à la gestion des incendies (p. ex., outils unidimensionnels comme le « Livre rouge » [Taylor et Alexander 2018] ou RedApp) ou utilisées dans des analyses subséquentes. Le volet de modélisation spatialement explicite (S1) découle d'intrants et de processus géographiquement définis (comme les couches représentant les événements d'ordre phénologique, la couverture végétale, etc.). Ces intrants et processus utilisent généralement les mêmes calculs de modélisation que la MHC, et les méthodes de l'IFM et de PCI, qu'utilise l'approche ponctuelle, mais peuvent comprendre des éléments supplémentaires spatialement définis comme les causes d'allumage (S2) (indices liés à la foudre ou à l'activité humaine). Ces éléments sont des intrants essentiels aux modèles (S3) de prévision des occurrences des incendies de forêt (POI). Les outils et les applications modernes utilisant les modèles de la MCEDIF sont de plus en plus

spatialement explicites (p. ex., propagation d'incendie, analyse de risques à l'échelle du paysage, transport de la fumée, etc.).

Tableau 1. Comparaison entre les fonctionnalités de la MCEDIF et celles proposées pour la prochaine génération de la MCEDIF

Composantes	États actuel et historique (MCEDIF-1992)	État de la prochaine génération (MCEDIF-2025)
Portée de la MCEDIF	Conçue essentiellement pour aider à la préparation et la planification tactique.	Comprend des sorties qui peuvent éclairer des décisions plus complexes sur la gestion des feux et la planification des priorités dans un contexte de gestion des risques, ou encore sur l'effet de traitement de réduction du combustible, sur les émissions de fumée, les effets des feux et d'autres modèles liés à la gestion des feux.
Intrants sur l'environnement de l'incendie	Utilise des observations quotidiennes recueillies à partir de stations sur les conditions météorologiques (souvent interpolées à l'échelle du paysage), le type de combustible et la topographie.	Comprend des méthodes d'utilisation des données spatiales sur les conditions environnementales dérivées de modèles ou d'observations satellitaires (p. ex., fin de la période de feuillaison, fanage, neige). Les caractéristiques des combustibles sont explicitement caractérisées. Des orientations sont fournies quant à l'utilisation des intrants interpolés et spatiaux sur les conditions météorologiques (prévision, réanalyse et données d'ensembles) dans le calcul des indices forêt-météo, de la teneur en humidité des combustibles et des dangers d'incendie.
Méthode d'humidité du combustible (MHC)	Un ensemble non organisé de modèles a été élaboré au fil du temps lors d'études individuelles relatives à des situations précises. Les modèles d'humidité des combustibles vivants utilisent des modèles statiques.	L'estimation de la teneur en humidité repose sur une structure qui est cohérente entre les diverses échelles temporelles (variabilité diurne possible pour tous les éléments) et comprend des modèles d'humidité de la végétation de surface variant selon la communauté végétale et le rayonnement solaire. La teneur en humidité des combustibles vivants (et l'état de la végétation) varie en fonction des saisons selon le type de végétation et les conditions météorologiques.

Tableau 1 (suite). Comparaison entre les fonctionnalités de la MCEDIF et celles proposées pour la prochaine génération de la MCEDIF

Composantes	États actuel et historique (MCEDIF-1992)	État de la prochaine génération (MCEDIF-2025)
Méthode de l'Indice forêt-météo (IFM)	Conçu autour des observations quotidiennes recueillies à partir de stations sur les conditions météorologiques de surface. Principalement axé sur une échelle régionale grossière et sur les prévisions au pic des conditions de brûlage (IPI, IFM).	Toujours axé sur les prévisions au pic des conditions de brûlage à l'échelle régionale, mais en établissant un lien avec la MHC et la méthode de PCI aux fins de cohérence. De nouvelles exigences relatives au moment de la collecte des observations météorologiques sont introduites. Améliorations liées à la sécheresse hivernale et au démarrage des stations météo. Des orientations sont fournies quant à la durée de la période de brûlage journalière et sur l'activité nocturne des incendies.
	Utilise un seul type de combustible de référence pour les indices d'humidité des combustibles et de comportement d'incendie : soit un couvert fermé de pins matures.	Maintien du couvert fermé de conifères comme type de combustible de référence, mais avec l'ajout de nouveaux indices optionnels pour des complexes de combustibles très différents (prairies, tourbières).
Méthode de Prévision du comportement des incendies (PCI)	Utilise des types de combustibles fixes (principalement boréaux). La structure de la plupart des types de combustibles ne peut pas être changée. La charge du combustible est fixe.	Plus de flexibilité en permettant de changer la structure du peuplement (p. ex., hauteur de la base de la cime, charge du combustible de la canopée, hauteur du peuplement, type de végétation de surface) et la charge du combustible. La structure du peuplement peut être modifiée selon la perturbation naturelle ou les traitements de réduction des combustibles. La charge du combustible est un intrant, la consommation dépend partiellement de la charge et de l'humidité des combustibles.

Tableau 1 (suite). Comparaison entre les fonctionnalités de la MCEDIF et celles proposées pour la prochaine génération de la MCEDIF

Composantes	États actuel et historique (MCEDIF-1992)	État de la prochaine génération (MCEDIF-2025)
Méthode de Prévision du comportement des incendies (PCI)	Les équations de vitesse de propagation sont liées aux sorties de la Méthode de l'IFM pour les différents types de combustibles. L'approche est déterministe.	Les modèles de vitesse de propagation sont liés à l'effet direct du vent et de l'humidité pour permettre de changer la structure du peuplement, ce qui permet d'influer sur le comportement d'incendie de manière cohérente et logique sur le plan physique.
	Une seule forme de modèle de vitesse de propagation (c'est-à-dire une courbe modélisée) pour toutes les catégories d'incendie (surface jusqu'aux cimes).	La vitesse de propagation est prédite à partir d'une combinaison de modèles de feu de surface, de probabilité de feu de cime et de la vitesse de propagation du feu de cimes. Les modèles de comportement d'incendie intègrent des attributs structurels du peuplement.
	La probabilité de combustion soutenue accompagnée de flammes n'y est pas développée.	La probabilité de combustion spécifique au type de végétation de surface est désormais intégrée. Elle est dépendante de la teneur en humidité de la végétation de surface et, comme pour les modèles de vitesse de propagation du feu de surface, est liée à la structure du peuplement.
	Les propriétés de la zone de combustion ne sont pas prises en compte.	Des orientations sont fournies sur la définition des caractéristiques de la zone de combustion (géométrie, temps de résidence, température, longueur de la flamme) variant selon la charge et le type de combustible.
	Les feux disséminés ne sont pas explicitement pris en compte. La dissémination des feux sur une courte distance est implicitement intégrée aux modèles de vitesse de propagation.	Comprend des orientations quant à la production et au transport de tisons à moyenne distance.
Méthode de prévision des occurrences des incendies de forêt (POI)	Modèles régionaux incomplets sur les occurrences des incendies développés selon divers cadres théoriques et méthodologiques.	À l'échelle nationale, il existe une suite complète de modèles spatiaux détaillés sur les occurrences quotidiennes des incendies de causes humaines et causés par la foudre. Des modèles de prévision quotidienne du nombre et de la probabilité de grands incendies (>100 ha) sont également intégrés.

Tableau 1 (suite). Comparaison entre les fonctionnalités de la MCEIF et celles proposées pour la prochaine génération de la MCEIF

Composantes	États actuel et historique (MCEIF-1992)	État de la prochaine génération (MCEIF-2025)
Outils et applications pour la gestion des incendies	De nombreuses applications ont été élaborées, en se fondant directement sur les sous-méthodes de la MCEIF (p. ex., Prometheus), mais parfois, les éléments de la MCEIF sont adaptés de manière ad hoc par nécessité.	Les applications de probabilité et de risque d'incendie supportent l'éventail complet d'options de planification de mesures d'atténuation, tant à l'échelle du peuplement et qu'au paysage. Les modèles de propagation du feu représentent mieux les conditions météorologiques subjournalières ainsi que la variabilité de la structure et de l'état des combustibles.

3.0 Intrants sur l'environnement de l'incendie

Il est prématuré et hors de la portée de ce document de donner une liste exhaustive des intrants nécessaires pour chaque sous-méthode de la MCEIF-2025. De manière générale, les intrants de base resteront les mêmes que ceux de la MCEIF-1992. Puisqu'assurer une continuité minimale entre les sous-méthodes actuelles et les nouvelles est un des objectifs du programme PG-MCEIF. Toutefois, pour améliorer l'uniformité et la flexibilité de la Méthode dans son ensemble, certains changements devront être apportés aux intrants et de nouveaux intrants seront requis. Cette section ne vise pas à passer en revue tous les intrants nécessaires pour la MCEIF, mais se concentre sur une description des changements les plus pertinents à apporter aux intrants de la Méthode; la plupart des nouveaux intrants décrits étant nécessaires pour accéder aux des fonctionnalités plus avancées de la MCEIF. Dans la mesure du possible, la justification derrière ces changements est expliquée ou développée dans les sections subséquentes décrivant les changements qui seront apportés aux principales sous-méthodes de la MCEIF (sections 4 à 7).

3.1 Les paramètres météo et autres intrants sur l'environnement physique

Les paramètres météo, qu'ils soient observés ou prédits, restent les éléments les plus importants de l'environnement de l'incendie pour éclairer les décisions relatives à la gestion des incendies. Les intrants météo demeureront des éléments fondamentaux de la MCEIF. Les changements apportés dans le cadre de la MCEIF-2025 permettront d'améliorer l'utilisation uniforme d'information à plus haute résolution sur les conditions météorologiques (conditions météo horaires ou sous-horaires) dans la Méthode. Les principaux paramètres météo journaliers (et diurnes) influant sur l'environnement de l'incendie (p. ex., température, humidité relative, vent, précipitations) ne changeront pas, bien que des éléments supplémentaires optionnels (comme le rayonnement solaire) seront introduits. Toutefois, il est important de préciser que la période à laquelle ces paramètres météo fondamentaux sont collectés peut changer. Par exemple, un changement majeur apporté pour la Méthode de l'IFM quotidien est le passage d'une utilisation des observations météo à 13h (midi solaire), à

l'utilisation de valeurs maximales et minimales observées (ou prédites) pour la journée. Ce changement, décrit plus en détail dans la section 6, réconciliera les différences artificielles, entre les calculs horaires et journaliers de la teneur en humidité des combustibles, qui existent actuellement dans la Méthode actuelle et qui peuvent avoir une incidence sur les prévisions du comportement d'incendie.

Le moment et la magnitude de la recharge en eau dans la végétation de surface due à la fonte des neiges sont importants pour la reprise du calcul de la teneur en humidité des combustibles de surface au printemps après le dégel du sol, en plus d'être des indicateurs du début de la période d'activité potentielle des feux au printemps. La MCEIF-2025 contiendra des orientations quant à l'estimation des dates de début des observations forêt- météo (ce qui permet d'améliorer les prévisions sur le moment de la fonte totale de la neige dans la végétation de surface), ainsi qu'une meilleure estimation, utilisant une approche fondée sur la météorologie, de la fonte complète de la neige et de la teneur en humidité de la végétation de surface au printemps. Ces approches intégreront des attributs structurels des combustibles ainsi que des intrants provenant de la télédétection.

Les nouveaux modèles d'allumage et de propagation dans la Méthode PCI seront fonction du vent sous couvert et du rayonnement solaire et a son influence sur la teneur en humidité de la litière. À l'intérieur d'un peuplement, ces deux éléments (vent sous couvert et rayonnement solaire) seront influencés par la structure de la canopée, ce qui permet d'évaluer les répercussions d'une éclaircie ou de la mortalité dans les peuplements. Il s'agit d'un aspect essentiel pour améliorer la flexibilité de la Méthode PCI. Des modèles provenant de la météorologie forestière seront adaptés afin d'estimer la résistance à la pénétration du vent dans le couvert forestier. De plus, le couvert forestier sera utilisé pour estimer la quantité de rayons solaires pénétrant canopée et se rendant à la surface du sol. Bien qu'il sera possible d'utiliser des mesures directes du rayonnement solaire, des modèles simples permettant d'estimer le rayonnement solaire pour n'importe quel emplacement, jour et heure de l'année seront fournis aux utilisateurs qui n'ont pas accès aux observations sur le rayonnement solaire.

3.2 Phénologie la végétation

Les données sur la phénologie de la végétation (c.-à-d., fanage de l'herbe, feuillaison des feuillus et débourrement des conifères) sont des facteurs intégrés dans la MCEIF, ils modifient le comportement des incendies et la transition entre les saisons de feux de printemps et d'été, ils doivent être définis par le personnel des organismes de gestion des incendies. Au cours de la dernière décennie, la surveillance, faite de manière opérationnelle, de la phénologie de l'herbe et des espèces décidues est devenue plus facile et plus généralisée, puisqu'il y a de fortes corrélations avec l'activité des incendies (Pickell et al., 2017). La MCEIF-2025 offrira un cadre pour les prévisions simples et opérationnelles à court et moyen terme (4 à 14 jours) sur la fin de la période de fanage et de feuillaison printanière des prairies et sur la phénologie des espèces feuillues, en utilisant uniquement des données de prévisions météorologiques ou mélange d'observations de télédétection et de prévisions météorologiques. Le débourrement des conifères (creux printanier ou « spring dip ») n'est pas facile à observer par satellite, mais les

corrélations statistiques établies à l'aide de variables plus facilement observées comme les conditions météorologiques et la fin de la période de feuillaison des feuillus seront étudiées, afin de fournir un modèle de débourrement des conifères plus robuste, tenant compte des variations annuelles de la température et des conditions d'humidité.

3. 3 Attributs structurels des combustibles

Une force et une limitation importantes de la Méthode PCI actuelle est l'utilisation d'un ensemble de types de combustibles qui sont principalement définis par les attributs fixes de leur composition et de leur structure (voir le Tableau A-1 de l'annexe A pour les détails). La sélection du type de combustible le plus adapté détermine la suite d'équations et des paramètres pertinents pour tous les modèles subséquents (p. ex., vitesse de propagation, consommation du combustible, combustion des cimes, effets de pente). Cette approche étant suffisante et facile à mettre en œuvre pour de nombreuses applications de prévisions du comportement d'incendie, les types de combustibles classiques demeureront disponibles pour les utilisateurs dans la MCEIF-2025.

Pour des applications plus avancées sur le comportement d'incendie, il sera désormais possible de modifier le complexe de combustibles de façon systématique ou logique sur le plan physique, afin d'obtenir des prévisions liées à des peuplements ou à des situations plus spécifiques. L'objectif de cette flexibilité accrue n'est pas d'entraîner une prolifération des types de combustibles, mais simplement de permettre une modification interne systématique et logique sur le plan physique des principaux attributs des complexes de combustibles lorsque cela est critique (p. ex., traitements de gestion des combustibles forestiers, modélisation du risque près des communautés, etc.). Ces nouveaux attributs des complexes de combustibles peuvent être classés en trois strates verticales : combustibles du sol et de surface, combustibles étagés et combustibles de cimes (Figure 2). À l'annexe A (Tableau A-2), vous trouverez la liste complète de ces attributs structurels anticipés, accompagnée d'une brève description et des unités correspondantes. Les variables de la structure des combustibles pour les combustibles de cime peuvent être décrites à l'échelle de l'arbre individuel (p. ex., diamètre ou hauteur) ou en tant que moyennes à l'échelle du peuplement ou de la parcelle, comme représenté à la Figure 3.

Dans la strate de surface, les attributs seront décrits pour un ensemble de types de végétation de surface. La liste est la suivante :

- Conifère sec (aiguilles de conifères seulement)
- Conifère humide (aiguilles de conifères sur mousses hypnacées ou sphaignes)
- Litière de feuilles provenant de feuillus
- Forêt mixte (mélange de feuilles et d'aiguilles de conifères)
- Lichen (lichen des caribous (aussi appelé « mousse à caribou ») et autres types similaires de lichen recouvrant le sol)
- Herbe

Ces types de végétation de surface reflètent un large éventail que l'on retrouve dans tout l'environnement forestier canadien et, surtout, qui représentent des types de végétation de

surface pour lesquels il existe des observations de comportement d'incendie et pour lesquels des modèles peuvent être développés. Cette liste de types de végétation de surface peut être améliorée à mesure que de nouvelles observations sur le comportement du feu sont mises à disposition et que de nouveaux modèles sont élaborés.

Des suggestions de méthodes et techniques pour estimer les attributs structurels sur le terrain, ou à l'aide de la télédétection seront décrites dans de futurs documents techniques. Dans certaines situations, les utilisateurs pourraient faire l'estimation des attributs structurels directement sur le terrain ou les définir pour différents types de mises en situation. Toutefois, les produits de cartographie fondés sur la Méthode PCI ou sur les sorties des modèles de propagation des incendies requièrent des données spatiales sur les combustibles. L'un des objectifs du programme PG-MCEDIF est d'obtenir des données détaillées sur le plan spatial (p. ex., des cartes) pour chaque attribut structurel nécessaire pour les sous-méthodes de la MCEDIF-2025 (voir le Tableau A-2 de l'annexe A). De nombreux attributs structurels d'intérêt se retrouvent dans les données classiques d'inventaires forestiers (p. ex., essences d'arbres, diamètre, hauteur) ou peuvent être obtenus à partir de la télédétection (p. ex., proportion de conifères par rapport à la proportion de feuillus). Ces données peuvent être facilement obtenues à une résolution spatiale adaptée. Toutefois, d'autres attributs structurels ne sont pas classiques (p. ex., charge de la litière et de l'humus, charge des débris ligneux grossiers, hauteur effective de la base de la canopée) et nécessitent un investissement dans l'échantillonnage sur le terrain ou d'être estimés à l'aide d'autres modèles (p. ex., McAlpine et Hobbs 1994, Cruz et al. 2003). Par conséquent, un effort de recherche considérable sur le terrain au cours des prochaines années comprendra l'évaluation, le raffinement et la documentation des méthodes de mesure et de cartographie de ces attributs pour un éventail de types de combustibles forestiers. Des lignes directrices relatives aux méthodes d'échantillonnage terrain et de cartographie des attributs structurels des combustibles seront fournies pour les activités de cartographie des combustibles à l'échelle locale menées par les gestionnaires des agences de gestion des incendies de forêt.

Forêts endommagées ou perturbées

Dans de nombreuses régions du Canada, il est important de savoir prédire le comportement du feu dans les peuplements forestiers endommagés ou perturbés par des perturbations biotiques (p. ex., infestation d'insectes) ou abiotiques (p. ex., chablis), puisque dans ces forêts le comportement d'incendie peut être extrême dans certains cas (p. ex., M-3 100 %). Dans la MCEDIF-2025, la nouvelle description des combustibles basée sur leur structure permettra de prendre en compte certains aspects de l'évolution dynamique de ces peuplements. Par exemple, des changements liés à la mortalité dans l'étage dominant ont une incidence sur la disponibilité des débris ligneux grossiers et morts sur le sol forestier, sur la fermeture du couvert, sur la densité du combustible de canopée et sur la hauteur effective de la base de la canopée. Ces changements constitueront des intrants optionnels des caractéristiques des combustibles dans la MCEDIF-2025, ils seront utilisés dans de nouveaux modèles de prévision du vent sous couvert et de la transition du feu de surface en feu de cime (section 6.3). Il sera essentiel de comprendre les patrons de succession des combustibles après perturbation, ce qui

nécessitera une compréhension détaillée de la nature des diverses perturbations forestières (p. ex., biologie et écologie des insectes), ainsi que des techniques de mesures efficaces sur le terrain dans les forêts perturbées.

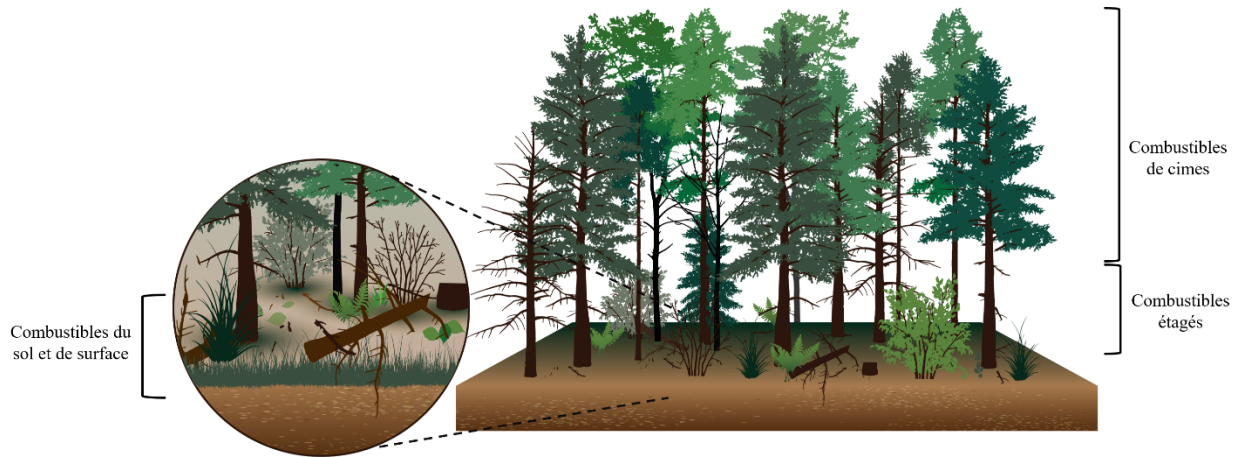


Figure 2. Strates verticales de base utilisées pour décrire le complexe de combustibles dans la MCEDIF-2025.

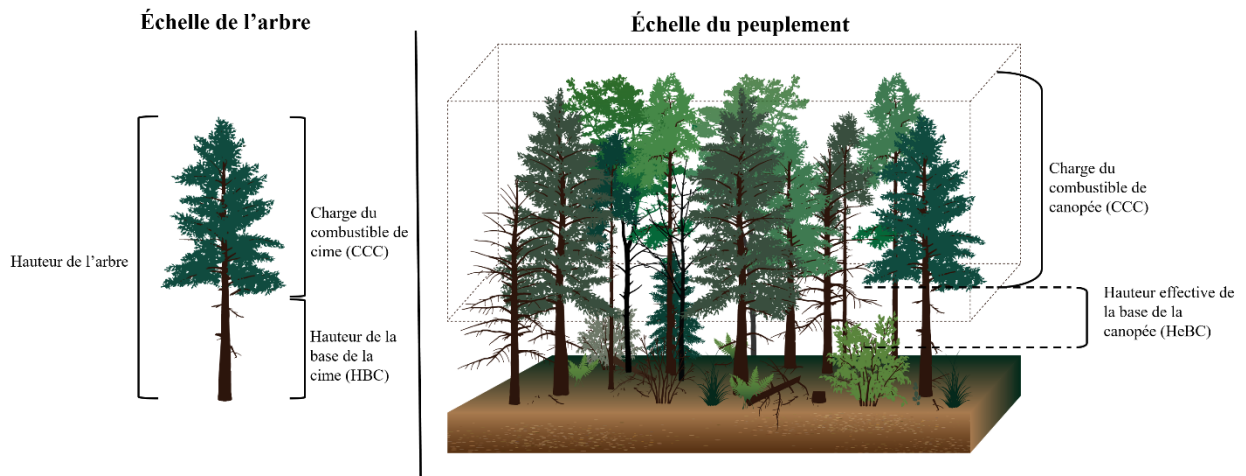


Figure 3. Attributs structurels des combustibles nécessaires dans la MCEDIF-2025 à l'échelle de l'arbre et du peuplement.

4.0 La Méthode d'humidité du combustible

La teneur en humidité des particules combustibles a une incidence considérable sur le début de la réaction de combustion et sur le taux de transfert de chaleur d'un combustible (ou d'une strate de combustibles). L'ICL, l'indice d'humidité de l'humus (IH) et l'indice de sécheresse (IS) de la Méthode de l'IFM ont été les principaux indicateurs de la teneur en humidité de la litière de surface, de la couche supérieure de la végétation de surface (0 à 7 cm d'épaisseur) et des couches organiques profondes, respectivement, pendant des décennies. Ces indices d'humidité « standards » des couches individuelles de combustible seront conservés dans la MCEIF-2025, et en particulier, dans la Méthode de l'IFM (section 5). Toutefois, une nouvelle Méthode d'humidité du combustible (MHC) donnera la possibilité d'estimer directement la teneur en humidité des couches importantes de combustibles pour un éventail de types de peuplements à différents moments de la journée (Figure 4). Certaines des méthodes existantes (c.-à-d., ICL horaire (Van Wagner 1977a) ou l'ajustement diurne de l'ICL (Lawson et al. 1996)) sont considérés comme des composantes de la Méthode annexe d'humidité du combustible (MHC) dans la MCEIF actuelle (Stocks et al. 1989). Toutefois, les éléments de la MHC n'ont jamais été regroupés et documentés. Les modèles élaborés dans le cadre du programme PG-MCEIF permettront de développer et mettre à jour ces méthodes, et d'établir des liens évidents avec les estimations standard journalières de l'humidité utilisées dans la méthode de l'IFM. La nouvelle MHC comportera un ensemble de modèles d'humidité des combustibles et d'indicateurs utilisés dans la MCEIF-2025 (Figure 4).

Teneur en humidité spécifique au site

Bien que l'ICL généralise les conditions des « forêts de pins » (Van Wagner 1974), il a été un indice d'humidité très robuste, par contre, dans certaines situations il est souhaitable de quantifier la teneur réelle en humidité de la litière de façon plus précise. Des études sur un large éventail de types de forêts de conifères ont montré que les conditions du peuplement peuvent avoir une incidence sur la teneur en humidité de la végétation de surface. Les méthodes de calcul de la teneur en humidité pour un éventail de types de végétation de surface, de types de peuplement et de niveaux d'ouverture du couvert seront intégrées pour les applications qui nécessitent des estimations précises en lien avec les conditions de peuplements forestiers spécifiques. Telles que la probabilité de combustion accompagnée de flammes et la propagation de feux de surface, afin d'offrir une flexibilité et une précision accrues. Des méthodes d'estimation de la teneur en humidité des prairies, qui sèchent rapidement, et d'autres combustibles légers surélevés seront intégrées. Il y aura aussi des méthodes d'estimation de la teneur en humidité dans les couches organiques plus profondes des tourbières, influencées par la nappe phréatique. De nouveaux modèles intégreront (au besoin) de manière plus explicite le rayonnement solaire, et par conséquent, permettront de tenir compte des différences dans le réchauffement de la surface du sol en raison de la pente et de l'exposition ou de l'ombrage dû à la topographie, les effets de l'ouverture du couvert, ainsi que les effets de la latitude et de la période de l'année.

Échelle horaire

La disponibilité accrue des observations météorologiques fréquentes (horaires) permet de réaliser des estimations de l'humidité de différents combustibles à différents moments de la journée. Des méthodes pour utiliser les données météorologiques horaires afin de réaliser des estimations horaires de l'ICL ont été mises à la disposition des utilisateurs depuis un certain temps (Van Wagner 1977a). De nouvelles méthodes seront élaborées pour fournir des estimations diurnes de l'humidité des combustibles pour plusieurs types de combustibles de surface. De plus, les nouvelles méthodes permettront de créer une uniformité entre les estimations d'humidité des combustibles diurnes et les indices standard journaliers de l'humidité utilisés dans la Méthode de l'IFM (voir la section 5.1). Des liens entre les couches verticales des combustibles sur et dans la végétation de surface seront intégrés pour réduire les incohérences.

Humidité foliaire

Des modèles améliorés sur les changements dans la teneur en humidité des aiguilles de conifères seront élaborés, et fonction de la phénologie. Ces méthodes prendront en compte les différences saisonnières dans conditions météorologiques.

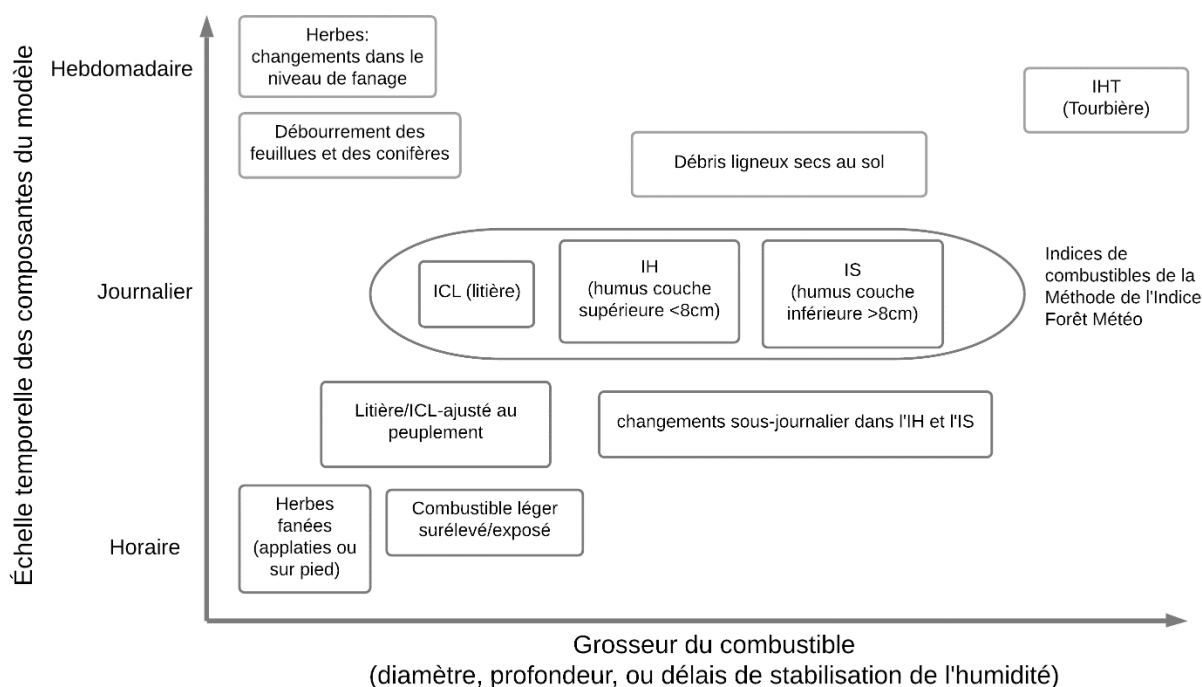


Figure 4. Les éléments généraux de la Méthode d'humidité du combustible organisés (approximativement) par le délai de stabilisation de l'humidité des combustibles (le long de l'abscisse) et l'échelle temporelle indiquant à quelle fréquence les composantes (ou sorties) du modèle peuvent être nécessaires sur le plan opérationnel (le long de l'ordonnée). Les encadrés au centre sont les principaux indices d'humidité des combustibles qui font partie intégrante de la Méthode de l'IFM.

5.0 La Méthode de l'indice forêt-météo

La Méthode de l'IFM actuelle vise à être aussi simple que possible tout en tenant compte des éléments essentiels influant sur les dangers d'incendie de forêt. Pour de nombreuses tâches de planification quotidienne, il est toujours utile d'avoir un système national uniforme d'indicateurs sans unités, qui représente le potentiel d'incendie de forêt à travers un seul type de combustible forestier commun. Au cours des 50 dernières années, l'interprétation régionale de ces données afin de fournir des renseignements sur l'environnement local de l'incendie a été un élément très utile de la planification de la gestion opérationnelle des incendies. Par conséquent, dans la MCEIF-2025, la structure et l'interprétation fondamentales de la Méthode de l'IFM demeureront inchangées (Figure 5). Toutefois, les indices journaliers de l'humidité des combustibles et les indices du comportement seront calculés à partir des observations des conditions météorologiques quotidiennes au pic des conditions de brûlage plutôt qu'à partir des données observées à 13 h (midi solaire), heure avancée locale (HAL). De plus, de nouveaux indices optionnels seront intégrés pour les prairies et les tourbières. Un ensemble de sorties optionnelles permettra également aux planificateurs régionaux d'obtenir des indicateurs sur la durée de la période de brûlage et sur les conditions atmosphériques (Figure 5).

5.1 Intrants météorologiques au pic des conditions de brûlage

Dans la Méthode de l'IFM, la tradition d'utiliser les observations sur les conditions météorologiques à midi (heure normale) comme indicateur hâtif (soit une prévision) des conditions météorologiques pour le pic de la période de brûlage plus tard dans la journée, est une pratique ayant été introduite dans les années 1930 (Beall 1939). En l'absence d'autres observations ou de prévisions, il s'agissait d'un moyen d'éclairer la planification de la suppression des incendies en après-midi, en appliquant le principe de persistance. Toutefois, cette pratique peut pousser à sous-estimer ou surestimer considérablement les dangers d'incendie pour le pic de la période de brûlage dans des conditions météorologiques instables (p. ex., passage d'un front froid dans l'après-midi, entraînant de forts vents ou des précipitations). Cette pratique est aussi moins pertinente de nos jours, car les prévisions météorologiques sur plusieurs jours (notamment les sorties des modèles de prévisions numériques) sont omniprésentes dans la gestion des feux de végétation. La planification quotidienne du niveau de préparation à l'échelle d'un district ou de la région a généralement lieu le matin même ou dans l'après-midi la veille à partir des prévisions météorologiques. Par conséquent, les méthodes de calcul de la teneur en humidité des combustibles de la nouvelle Méthode de l'IFM seront modifiées pour se fonder sur la température maximale journalière prédite ou observée, l'humidité minimale, la vitesse du vent au moment de la température maximale afin de mieux représenter les conditions pic de la période de brûlage. Les précipitations accumulées demeureront un intrant, et l'utilisation optionnelle du moment de ces précipitations permettra d'améliorer la précision des nouvelles méthodes de consignation de la teneur en humidité de la méthode de l'IFM. Le passage d'une utilisation des observations sur les conditions météorologiques à midi (heure normale) à l'utilisation des valeurs maximales et minimales journalières permettra également d'établir un lien plus évident entre les valeurs

des prévisions météorologiques classiques et les calculs de la nouvelle méthode de l'IFM. Ce changement apporté aux calculs permettra également d'utiliser des données horaires, lorsque disponibles, de manière systématique dans les calculs de la Méthode de l'IFM. Ce changement concernant le moment d'utilisation des intrants météorologiques journaliers offrira également un moyen, plus que nécessaire, de remédier aux écarts entre les méthodes de calcul de l'ICL journalier (Van Wagner 1987) et de l'ICL horaire (Van Wagner 1977a) ainsi que la procédure d'ajustement de l'ICL diurne (Lawson et al. 1996). Les écarts dans les prévisions obtenues grâce à ces trois différentes méthodes ont longtemps posé problème aux utilisateurs de la MCEDIF.

Alors que la dernière consignation des estimations de la teneur en humidité passera à la fin de la période de séchage (tard dans une journée normale ou tôt le matin suivant), cela n'aura pas d'incidence sur le moment des activités de planification opérationnelle, qui sont généralement faites à partir des prévisions météo, et sera invisible pour les agences de gestion des incendies qui utilisent des méthodes de calcul automatisées. Toutefois, la température maximale (et les autres paramètres) devra être prédite ou mesurée (ou les deux) au lieu de se baser uniquement sur les observations traditionnelles à midi (heure normale) comme prévision des conditions au pic de la période de brûlage de fin d'après-midi. Des méthodes seront fournies afin d'ajuster les observations à midi par rapport aux valeurs maximales et minimales nécessaires pour les nouvelles méthodes de calcul pour les utilisateurs n'ayant pas accès aux valeurs maximales des prévisions et pour ajuster les données journalières historiques.

La latitude et la longitude de l'emplacement des observations météorologiques et la date au calendrier remplaceront l'intrant sur le mois de l'année dans la Méthode de l'IFM. Cela permettra de réaliser un calcul explicite de la durée du jour (et donc de la radiation solaire potentielle) qui peut influencer sur l'assèchement attendu dans une journée, et un meilleur ajustement des indices d'humidité en fonction de la latitude.

5.2 Indicateurs supplémentaires des dangers d'incendie

Les indices de la Méthode de l'IFM sont conçus pour être des indicateurs de l'humidité des couches de combustibles de la végétation de surface et du comportement d'incendie possible dans un peuplement de pins gris typique. Le potentiel d'allumage et le potentiel de propagation dans des prairies fanées peuvent être très différents de ceux des peuplements forestiers ayant un couvert fermé. L'herbe peut sécher très rapidement et soutenir un feu avec une intensité élevée seulement quelques heures après la pluie. Un ensemble de trois indicateurs optionnels d'humidité et de comportement relatif sera ajouté à la Méthode de l'IFM afin de mieux représenter les dangers d'incendie dans les prairies. Un nouvel Indice d'humidité de l'herbe (IHH) se fondera sur une estimation de la radiation solaire attendue (ou même de la nébulosité (couverture nuageuse)) si une telle observation (ou prévision) est disponible. En l'absence d'observations, les estimations de la radiation solaire potentielle fondées sur la latitude et la longitude peuvent être utilisées. Deux indicateurs supplémentaires sans unité du comportement d'incendie, soit l'indice de propagation dans l'herbe (IPH) et l'Indice du danger d'incendie pour l'herbe (IDIH) seront fournis, faisant un parallèle avec l'IPI et l'IFM de la Méthode de l'IFM (Figure 5). Ces nouveaux indices relatifs aux prairies reposeront également

sur une estimation du degré de fanage de l'herbe (comme pour les combustibles d'herbes aplaties ou sur pied dans la Méthode PCI actuelle), qui peut être : une observation, une valeur par défaut (p. ex., 90 % de fanage), une estimation obtenue par télédétection, ou basée sur des observations météorologiques faisant partie des intrants (section 4.2) ou de la MHC (section 5). Des versions précédentes de ces indices dans les prairies d'herbes fanées (Wotton 2009a) ont apporté des améliorations considérables dans les prévisions de l'humidité et du comportement d'incendie dans les prairies d'herbes complètement fanées au printemps (Kidnie and Wotton 2015).

Un indice de l'humidité en tourbière (IHT) sera mis au point pour représenter les écosystèmes où le potentiel d'incendie et l'assèchement des combustibles sont influencés par des processus plus lents que ceux captés par la méthode de l'IFM actuelle. L'IHT est conçu comme un indicateur de la profondeur de la nappe phréatique par rapport à la surface dans les tourbières arborées. Avec des conditions suffisamment sèches, l'IHT indiquera l'absence d'eau de surface dans ces écosystèmes, un état qui peut faire varier l'humidité des combustibles de surface d'une manière similaire à celles des modèles de la MHC pour la végétation de surface.

Plusieurs autres indicateurs des dangers d'incendie (p. ex., récupération nocturne de l'humidité, stabilité atmosphérique) qui ont été utilisés pour éclairer la planification opérationnelle seront également évalués lors des phases de développement et de mise à l'essai des changements faits à la méthode de l'IFM. Ces éléments sont indiqués comme sorties optionnelles dans la Figure 5, mais ils sont encore à l'étude.

Méthode de l'Indice Forêt-Météo (IFM) journalier

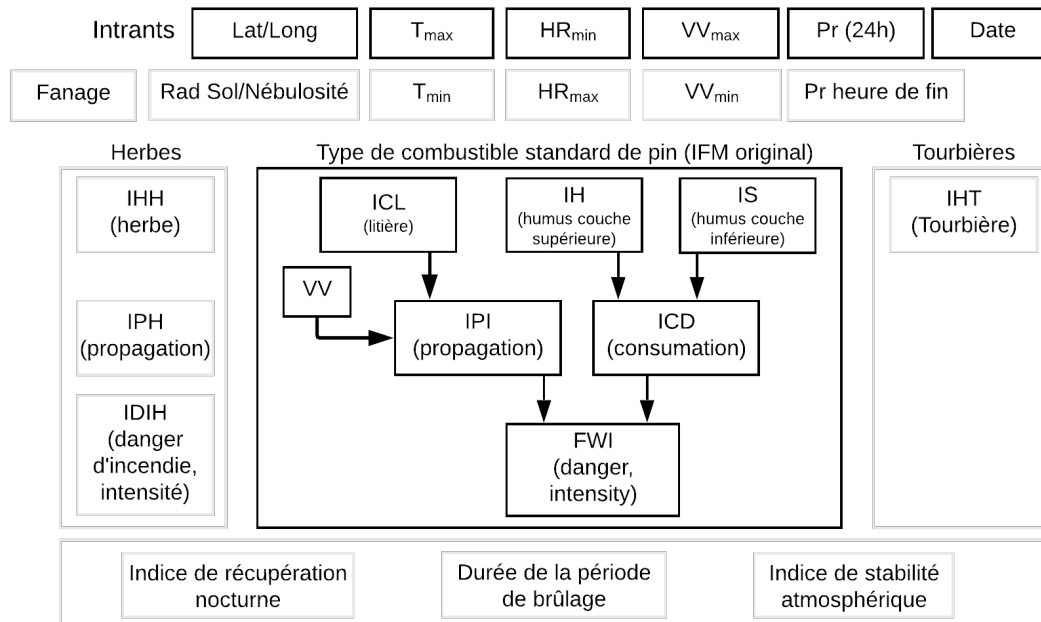


Figure 5. La méthode de l'IFM, incluant les composantes fondamentales et les composantes optionnelles proposées. Les éléments essentiels de la méthode de l'IFM sont indiqués dans l'encadré central avec un trait noir épais et leur structure demeure inchangée par rapport à la structure de la méthode de l'IFM actuelle. Les éléments optionnels (dans les encadrés gris) comprennent les intrants, des indices spécifiques qui dépendent du type de combustible ainsi que des facteurs additionnels qui caractérisent la période de brûlage et les conditions atmosphériques. T_{max} et T_{min} désignent la température journalière maximale et minimale de l'air en surface. HR_{max} et HR_{min} désignent l'humidité relative journalière maximale et minimale. VV_{max} désigne la vitesse de pointe (ou maximale) moyenne du vent et VV_{min} désigne la vitesse moyenne minimale. Pr (24h) désigne les précipitations accumulées sur 24 heures et Pr (heure de fin) est l'heure qui indique la fin des précipitations mesurées. Sol Rad désigne le rayonnement solaire total sur 24 heures ou une valeur fractionnaire de la couverture nuageuse. Le Fanage désigne l'état des herbes en prairie tel que défini dans la méthode PCI.

6.0 La Méthode de prévision du comportement des incendies de forêt

La modélisation de la propagation du feu dans la MCEDIF a reposé sur une approche où les modèles décrivant les processus physiques de base entraînant la propagation du front de flamme sont calibrés à partir d'observations sur la propagation du feu recueillies sur le terrain (feux expérimentaux sur de grandes parcelles, brûlages dirigés, et observations provenant d'incendies de forêt). Il ne s'agit toutefois pas d'une méthode de modélisation statistique purement empirique. Plutôt que d'utiliser des données pour établir la meilleure relation afin de couvrir l'éventail des possibilités fonctionnelles possibles, une forme particulière de modèle a été choisie, puisqu'elle concordait avec le phénomène physique, englobait les processus les plus importants et cadrait avec l'expérience des spécialistes du comportement d'incendie. Les données observées sont utilisées pour calibrer les courbes de ces modèles préétablis. Dans les faits, il est assez rare d'obtenir de bonnes observations sur la vitesse de propagation recueillies sur le terrain. En l'absence d'observation, des avis d'experts scientifiques ont été utilisés pour combler les lacunes (p. ex., changement de la vitesse de propagation dans les forêts boréales mixtes, qui est fonction des modifications dans le pourcentage de composition en conifères dans le type de combustible actuel M-1/M-2). L'utilisation d'observations empiriques du comportement du feu a été essentielle pour avoir une plus grande confiance dans les données issues de la Méthode PCI en matière de prévisions opérationnelles du comportement du feu.

Bien qu'elle reste la pierre angulaire du succès de la planification opérationnelle, la Méthode PCI doit être plus flexible afin de permettre aux utilisateurs de prédire le comportement d'incendie dans un plus large éventail de situations qui sont de plus en plus communes. Certains utilisateurs souhaitent également qu'une plus large gamme de données représentant quantitativement les phénomènes physiques soit ajoutée (p. ex., consommation qui est fonction de la charge de combustible, probabilité d'un feu disséminé, probabilité de brèche dans les lignes d'arrêt, probabilité de persistance d'un feu couvant et d'un allumage accompagné de flammes). Pour parvenir à cela, de nombreux modèles de la Méthode PCI seront redéfinis. Toutefois, conformément aux principes de conception fondamentaux historiques de la MCEDIF, ce remodelage sera fait en utilisant une approche de calibration des modèles basée sur les observations terrain de comportement d'incendie et de manière à représenter les processus physiques.

Bien que la méthode sera plus flexible, pour les utilisations les plus courantes des opérations quotidiennes, la nouvelle Méthode PCI ne sera pas plus complexe que la Méthode actuelle. La préservation de cette facilité d'utilisation est un principe fondamental de la conception de la MCEDIF (voir l'Encadré 3). Une plus grande flexibilité permettant des modifications pour des complexes de combustibles spécifiques sera offerte aux utilisateurs qui souhaitent utiliser cette fonctionnalité avancée.

Vitesse de propagation du feu conditionnelle

Il est important de comprendre que les modèles de la Méthode PCI sont élaborés à partir d'observations recueillies sur des incendies qui se sont propagés de manière significative. Les données du programme expérimental dans les cas où les parcelles allumées ne se sont pas

propagées de manière soutenue n'ont pas été incluses dans les modèles. Par conséquent, dans la Méthode PCI actuelle comme dans sa prochaine génération, les modèles de base de la vitesse de propagation devraient être considérés comme des modèles « conditionnels »; si un feu se propage avec une bordure de feu cohérente, alors le modèle de vitesse de propagation devrait offrir une estimation raisonnable de la vitesse moyenne de propagation pour ces conditions. Bien que la nature conditionnelle des modèles de vitesse de propagation de la Méthode PCI ne soit pas une nouveauté, l'intégration de modèles de probabilité de combustion soutenue accompagnée de flammes directement dans la structure de la Méthode devrait aider les utilisateurs à comprendre cette subtilité. Ces modèles de probabilité de combustion soutenue accompagnée de flammes seront fondés sur les mêmes variables explicatives de base que les nouveaux modèles de vitesse de propagation des feux de surface dans la prochaine version de la Méthode PCI. Ces modèles aideront d'ailleurs à établir un lien entre la persistance d'un allumage et les modèles de vitesse de propagation à l'équilibre.

La Figure 6 présente un schéma simple de la nouvelle Méthode PCI et de ses principales composantes. Cette figure ne vise pas à démontrer le flux de calculs de la Méthode de manière précise, mais fait simplement ressortir certains des principaux éléments de la Méthode. Il y a des dépendances importantes entre la nouvelle Méthode PCI et d'autres sous-méthodes de la MCEDIF. La nouvelle Méthode PCI sera composée de cinq modules qui représentent des processus interreliés : (1) la persistance d'un allumage accompagné de flammes; (2) propagation du feu de surface et consommation du combustible; (3) transition du feu de surface en feu de cime; (4) propagation du feu de cime et consommation du combustible; et (5) tisons et feux disséminés. Ces éléments seront abordés dans les sous-sections suivantes, ainsi que la caractérisation de la zone de combustion, l'accélération et le modèle de croissance elliptique du feu.

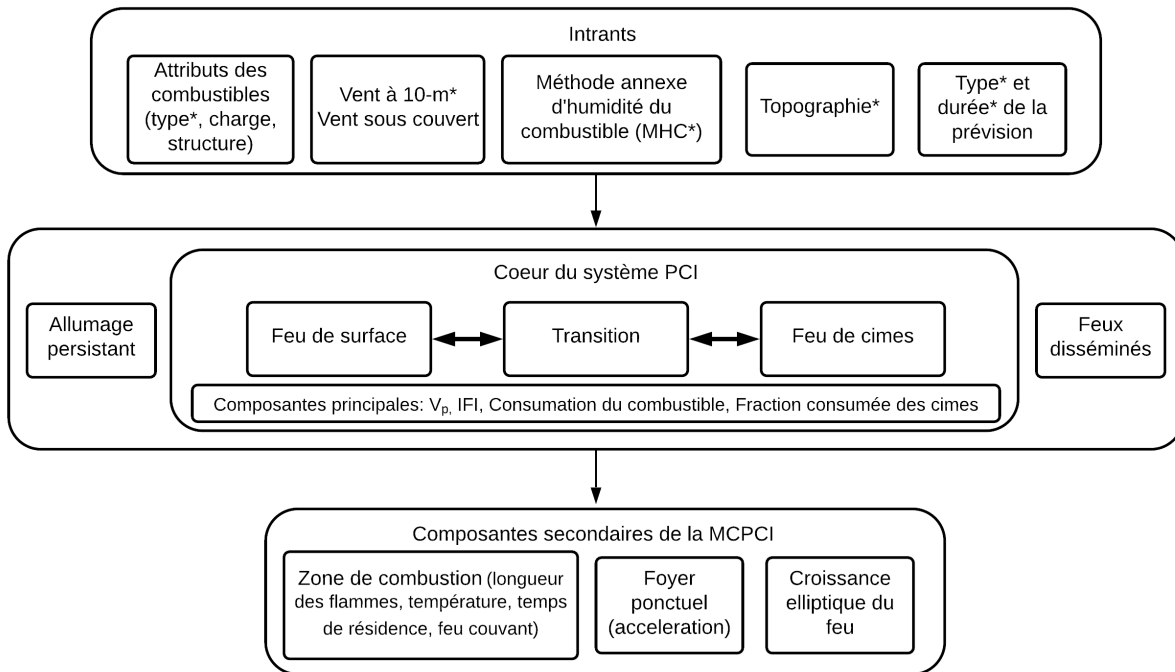


Figure 6. Structure globale de la nouvelle Méthode PCI.

*Indique les intrants de base avec les intrants optionnels pour les utilisateurs avancés.

6.1 Probabilité de d'allumage

Avoir une méthode d'évaluation de la probabilité de combustion soutenue accompagnée de flammes est la première étape pour déterminer le comportement d'incendie. Des études menées sur le terrain dans une douzaine de types de forêts du Canada au cours des années 1930 à 1960 ont fourni un ensemble de données constitué de plus de 20 000 tests d'allumage. Ces données sont à la base des premières méthodes d'évaluation régionales des risques d'incendie au Canada. Certaines de ces données ont ensuite été utilisées afin d'élaborer des modèles statistiques de l'allumage accompagné de flammes pour différents types de forêts au Canada (p. ex., Lawson et al. 1994; Lawson et Armitage 1997). Une première réanalyse de l'ensemble de données pancanadienne menée dans le cadre du programme PG-MCEDIF a permis d'élaborer des modèles de la probabilité de combustion soutenue accompagnée de flammes pour six types de végétation de surface : conifère sec (aiguilles de conifères seulement), conifère humide (aiguilles de conifères sur mousses hypnacées ou sphaignes), litière de feuilles provenant de feuillus, forêt mixte (mélange de feuilles et d'aiguilles de conifères), lichen (lichen des caribous (aussi appelé « mousse à caribou ») et autres types similaires de lichen recouvrant le sol comme les *Cladonia* spp.), et herbe. Ces modèles permettent d'estimer la probabilité de combustion soutenue accompagnée de flammes en fonction de l'humidité des combustibles de surface et du vent sous couvert près de la surface. Les intrants sur l'humidité des combustibles de surface seront estimés à partir de la méthode la mieux adaptée. En effet, ils peuvent être issus directement de l'ICL, du nouvel IHH, des données d'ICL ajustées selon les conditions spécifiques au peuplement (faisant partie de la nouvelle MHC), ou même d'une mesure directe de l'humidité prise sur le terrain. Le vent sous couvert sera estimé à partir d'une observation standard du vent à 10 m (soit le vent à découvert) et des caractéristiques de la structure du peuplement du complexe de combustibles (voir la section 3.1 pour de plus amples renseignements). L'utilisation des observations directes du vent dans le peuplement sera possible pour les applications spécialisées ou pour spécifiques à un site.

Cette analyse en cours se fait en parallèle à l'élaboration de nouveaux modèles de vitesse de propagation du feu de surface propre à chaque type de végétation de surface; des modèles de formes similaires sont utilisés, puisque la logique physique qui sous-tend ce qui influe principalement sur ces deux processus est la même. Cela permet d'établir des liens étroits entre la probabilité d'un allumage persistant et la vitesse de propagation d'un feu de surface se propageant.

6.2 Modélisation de la propagation du feu

Dans la Méthode PCI d'origine, pour la plupart des types de combustibles, une seule équation de vitesse de propagation avec une forme sigmoïdale (forme en S) est utilisée dans tout l'éventail de comportements du feu attendus dans les peuplements de conifères et mixtes. L'exception notable est le type C-6 « plantation de conifères », où des modèles séparés de vitesse de propagation de feu de surface et de feu de cime ont été combinés ou « mixés » par le biais de la formulation de la fraction des cimes consommées. Cette approche de combinaison de modèles a souvent été appelée le modèle « à deux équations », « à double équilibre », ou

encore « multiphase » (en anglais : *dual equilibrium model*). Après la publication de la Méthode PCI (Forêts Canada Groupe de danger de feu 1992), Van Wagner (1993) a également démontré comment de tels modèles à deux équations de vitesse de propagation pouvaient être développés à partir d'observations recueillies d'expérimentations dans des types de combustibles de peuplements de pins gris jeunes ou matures. Le nouveau cadre de modélisation de la vitesse de propagation de la PCI sera fondé sur ce concept de modèle à double équilibre ou multiphase, qui, lorsqu'il est associé à une quantification plus explicite des attributs des complexes de combustibles et d'autres éléments comme le vent sous couvert, permettra d'améliorer la flexibilité de la modélisation de l'impact de modifications dans la structure des complexes de combustibles sur le comportement du feu.

Comportement du feu de surface

Forêts

La vitesse de propagation des feux de surface sera modélisée pour un ensemble de types de végétation de surface, qui diffèrent des types de combustibles de la version actuelle de la Méthode PCI. Ces types de végétation de surface seront les mêmes que ceux utilisés pour estimer la probabilité d'une combustion soutenue accompagnée de flammes (section 6.1) : conifère sec (aiguilles de conifères seulement), conifère humide (aiguilles de conifères sur mousses hypnacées ou sphaignes), litière de feuilles provenant de feuillus, forêt mixte (mélange de feuilles et d'aiguilles de conifères), lichen (lichen des caribous (aussi appelé « mousse à caribou ») et autres types similaires de lichen recouvrant le sol), et herbe. Les modèles reposeront sur les estimations explicites du vent sous couvert et de l'humidité en surface et sont par conséquent similaires aux formes de modèles utilisées dans de nombreux modèles existants de vitesse de propagation du feu de surface (p. ex., Cheney et al. 1998, Anderson et al. 2015) et également très similaires à l'IPI d'origine.

Les méthodes d'estimation de l'humidité de la litière pour des types précis de peuplements et de complexes de combustibles sont en cours d'élaboration dans le cadre de la nouvelle MHC. De nombreux travaux de recherche et de modélisation ont été axés sur l'impact de la biomasse du peuplement sur la réduction des vents sous le couvert de la canopée. Les résultats de ces recherches supporteront les méthodes de réduction du vent intégrées à la nouvelle (MCEDIF-2025) Méthode PCI. Ces modèles permettront aux utilisateurs d'intégrer les répercussions des changements dans la densité du peuplement sur le comportement d'incendie (p. ex., en raison d'activités de gestion des combustibles comme l'éclaircie), mais permettront également d'obtenir des prévisions sur la vitesse de propagation dans des milieux modifiés localement comme les bordures des forêts récemment déboisées ou le long de composantes linéaires du paysage comme les lignes électriques ou les emprises d'infrastructures énergétiques.

Les données tirées de la base de données sur les incendies de la Méthode PCI ont été élargies en consultant de nouveau la documentation sur les incendies et en y ajoutant des observations sur la teneur en humidité des combustibles de surface, le vent sous couvert, la densité des peuplements, etc. lorsque de telles données existaient. Dans le cas contraire, des estimations ont été réalisées. Ce travail de réanalyse se fait en continu et de nouvelles données d'observation sur le comportement d'incendie seront intégrées lorsque disponibles.

Herbe

Les modèles de vitesse de propagation dans les prairies de la Méthode PCI d'origine provenaient d'observations recueillies lors de brûlages expérimentaux menées en Australie. De nouveaux modèles de vitesse de propagation dans les prairies seront adaptés à partir de nouveaux résultats d'expériences menées en Australie depuis 1992. Le modèle le plus récent de l'effet du fanage de l'herbe sur la vitesse de propagation, développé à partir de brûlages expérimentaux en Australie (Cruz et al. 2015), sera également adapté dans la nouvelle version de la Méthode PCI. Ce modèle est très similaire au modèle établi lors des révisions mineures à la Méthode PCI faites en 2009.

Rémanents

Les observations de la vitesse de propagation faites lors d'expérimentations dans les types de combustibles de rémanents seront réanalysées. Les nouveaux modèles seront développés à partir des modèles de la nouvelle MHC, pour les combustibles légers surélevés et exposés ayant un séchage plus rapide (section 4). Les modèles de combustibles de rémanents existants dans la Méthode PCI utilisent des valeurs de charge du combustible fixes (Tableau A-1, Annexe A). Au contraire, les utilisateurs de la MCEIF-2025 pourront modifier la distribution des classes de grosseurs des débris ligneux afin de mieux représenter différentes pratiques de récolte forestière, ainsi que des charges de combustibles plus élevées provenant de chablis. Les modèles de rémanents comprendront également des prévisions sur le comportement d'incendie pour de nouveaux types de combustibles de copeaux ou paillis (issue de broyage) composés principalement de bois de tiges coupés en fins copeaux, ce qui permet de réduire considérablement la vitesse de propagation et l'intensité des feux comparés aux types de combustibles de rémanents existants.

Arbustes

Bien que les forêts arbustives soient une composante relativement mineure de la forêt boréale canadienne en comparaison avec d'autres régions, il n'existe pas de directives sur le comportement du feu dans ce type de combustible dans la Méthode PCI actuelle. Les connaissances acquises du modèle d'arbustes d'Anderson et al. (2015) et d'autres études similaires seront fusionnées avec les quelques données sur les feux expérimentaux disponibles au Canada (p. ex., Pepin et Wotton, 2020). Comme pour d'autres modèles de forêts arbustives, la capacité d'ajuster la teneur en humidité foliaire des espèces décidues et la charge du combustible sera intégrée afin de pouvoir ajuster ces valeurs en fonction des tendances saisonnières.

Charge du combustible et consommation

Les types de combustibles fixes de la Méthode PCI actuelle, excepté pour l'herbe (O-1), utilisent des équations empiriques de la consommation du combustible avec des valeurs constantes de charge du combustible (voir le Tableau A-1, annexe A). La consommation des combustibles de surface est essentiellement prédite par l'ICD et d'autres valeurs fixes associées à chaque type de combustible. Les nouveaux modèles de consommation du combustible de la végétation de surface et des débris ligneux grossiers en cours d'élaboration permettront aux utilisateurs de modifier la charge du combustible et de prédire la consommation en fonction de la charge initiale

et des conditions d'humidité du combustible. De façon similaire, la charge du combustible de canopée sera également variable et la consommation de la canopée sera calculée à l'aide de modèles spécifiques à la charge du combustible. Les fonctions liées à la consommation tiendront davantage compte des classes de taille du combustible et feront la distinction entre la combustion accompagnée de flammes et la combustion d'un feu couvant. Cela permettra de réduire le risque de surestimer l'intensité du feu en raison d'une forte charge et d'une forte consommation des débris ligneux grossiers. Cette caractérisation plus explicite permettra de faire la distinction entre la consommation dans les proportions associées au passage du principal front de flamme (et donc contribuant directement à l'intensité de la ligne de feu) et celle associée à la combustion résiduelle après la disparition du principal front de flamme. Par exemple, les modèles de consommation des combustibles de rémanents seront modifiés afin d'y inclure une phase de combustion de feu couvant ou de combustion résiduelle accompagnée de flammes pour les catégories de plus gros diamètre, qui contribuent aux émissions de fumée et à la difficulté de suppression, mais pas à l'intensité du front de flamme. Pour les utilisateurs qui ne veulent pas, ou n'ont pas besoin d'ajuster les charges de combustibles, les valeurs standards seront associées à chaque type de combustible défini.

6.3 Transition du feu de surface en feu de cime et fraction du couvert consommé

La transition du feu de surface en feu de cime représente une évolution très critique dans le comportement d'un feu et peut entraîner une hausse rapide de l'intensité et de la vitesse de propagation. Van Wagner (1977b, 1989, 1993) a établi le mécanisme d'origine du passage d'un feu de surface en feu de cime utilisé dans la version actuelle de la Méthode PCI. Le début de l'embrassement des cimes était lié à l'intensité du feu de surface (et par conséquent, au profil vertical de température au-dessus du feu), la hauteur de la base de la cime vivante (HBCV; voir encadré 5) et à la teneur en humidité foliaire dans la cime de l'arbre. Dans le modèle conceptuel de Van Wagner (Van Wagner 1977b), la mesure dans laquelle l'intensité du feu de surface dépassait le seuil minimal pour le début de l'embrassement des cimes influait sur l'ampleur de la consommation des cimes dans tout le peuplement.

Cette approche conceptuelle de la transition du feu de surface en feu de cime sera conservée dans la nouvelle Méthode PCI; toutefois, en raison de l'importance de cette transition, il s'agit d'un domaine de recherche actif et continu, duquel de nouveaux modèles de début de l'embrassement des cimes seront élaborés et mis à l'essai. Idéalement, les observations recueillies lors de brûlages expérimentaux permettront également de compléter les connaissances actuelles sur ce processus. Les nouveaux modèles intégreront à la fois la variabilité temporelle naturelle de la vitesse du vent sous couvert et la variabilité spatiale de la distance entre le combustible de surface et la hauteur de la base de la cime (hauteur effective de la base de la canopée : HeBC, voir la section 3.3 et la Figure 3).

Les modèles de la consommation des combustibles de canopée seront basés sur les estimations de la fraction des cimes consommées, de la charge du combustible de cime (comme dans la version actuelle de la Méthode PCI) et de l'intensité du feu. Toutefois, la charge du combustible

de cime sera dynamique (remplaçant les charges fixes du combustible de canopée de la version actuelle de la Méthode PCI), tel qu'indiqué précédemment (section 3.3).

6.4 Comportement du feu de cime

Peuplements de conifères

La réanalyse de la base de données sur les feux expérimentaux du SCF pour les feux de cime menée par Cruz et al. (2005) a démontré qu'un bon modèle général de la vitesse de propagation des feux de cimes continus pourrait être élaboré pour un éventail de forêts de conifères au Canada. Le vent est le principal facteur influant sur la variation de la vitesse de propagation des feux de cimes continus dans les peuplements de conifères canadiens. Cette capacité de modéliser le comportement du feu pour un éventail de forêts de conifères à l'aide d'un seul modèle de propagation permet d'assurer une bonne uniformité entre les

Encadré 5. Attributs fixes des types de combustibles : Hauteur de la base de la cime vivante (HBCV)

L'un des exemples les plus évidents des limites causées par les attributs fixes des types de combustibles est l'utilisation de la hauteur de la base de la cime vivante (HBCV) dans la version actuelle de la Méthode PCI. Nous estimons que dans les peuplements de conifères, la HBCV exerce une forte influence sur la facilité de début d'embrasement des cimes. Le modèle de Van Wagner (1977) caractérise le potentiel de feu de cime, sous la forme de l'intensité critique du feu de surface, en fonction de la HBCV et de la teneur en humidité foliaire sur la base d'évidences physiques et provenant d'observations. Le modèle de Van Wagner est utilisé dans la version actuelle de la Méthode PCI afin prédire les débuts de feu de cime et l'implication des cimes, et par conséquent le type de feu (feu de surface, feu de cime intermittent, feu de cime continu). Toutefois, chacun des types de combustible de conifères de la version actuelle de la Méthode PCI (à l'exception du C-6) a une valeur de la HBCV fixe qui lui est attribuée (tableau A-2, annexe A). Puisque les modèles de vitesse de propagation de la Méthode PCI ont été conçus séparément à l'aide d'une formulation empirique unique des modèles, une valeur de HBCV fixe a été choisie pour chaque type de combustible afin de produire des sorties qui correspondaient approximativement aux seuils observés auxquels les feux commencent à se propager partiellement jusqu'aux cimes. Les valeurs de la HBCV attribuées étaient par conséquent « le résultat de quelques essais » (FCFDG 1992, p. 35) et ne représentent pas nécessairement la valeur de la HBCV mesurée dans les peuplements expérimentaux. Les valeurs de la HBCV de la Méthode PCI actuelle ne sont, par conséquent, pas modifiables par rapport à un type précis de combustible, en raison de la nature purement empirique des fonctions liées à la vitesse de propagation, et ne sont pas vérifiables sur le terrain. Cela a conduit à des défis fréquents liés au typage des combustibles et à la représentation adéquate de la gamme complète des conditions de végétation forestière dans un paysage donné.

La prochaine génération de la Méthode PCI (CFFDRS-2025) permettra de définir plus clairement la valeur de HBCV, des orientations seront fournies quant à la vérification sur le terrain et permettra aux utilisateurs de modifier la HBCV, au besoin. La Méthode tiendra compte des répercussions de ces changements sur les conditions météorologiques à l'intérieur du peuplement, sur la vitesse de propagation et sur l'intensité du feu.

La nouvelle FBP System (CFFDRS-2025) permettra de définir plus clairement la valeur de la LCBH, offrira des directives pour la vérification sur le terrain et permettra aux utilisateurs de modifier la LCBH, au besoin. La Méthode tiendra compte des répercussions de ces changements sur les conditions météorologiques à l'intérieur du peuplement, la vitesse de propagation et l'intensité du feu.

différents types de forêts de l'ensemble du Canada. La densité du combustible de canopée sera utilisée pour estimer la vitesse de propagation seuil pour les feux de cimes continus (Van Wagner 1977b). En permettant la modification de la densité du combustible de canopée pour les types de combustibles de la Méthode PCI, les utilisateurs pourront évaluer le comportement potentiel du feu en fonction de plusieurs prescriptions d'éclaircie en lien avec la gestion des combustibles.

Peuplements mixtes

Le comportement du feu dans les peuplements mixtes est actuellement représenté comme un simple mélange linéaire entre le combustible de peupliers faux-trembles (avec ou sans feuilles) et celui de pessière boréale (C-2). Ce mélange linéaire de deux types de combustibles a été créé en raison du manque de grandes bases de données sur les observations du comportement d'incendie pour ce type de combustibles. De manière conceptuelle, une approche de modélisation mixte sera encore utilisée pour ce type de combustibles. Toutefois, le mélange ou mixage de modèles de formes non linéaires sera étudié. Ils reposeront sur les principes physiques de base du processus et concorderont avec toutes observations disponibles pour ce type de forêt. Il s'agit d'un type de combustible pour lequel il existe peu d'observations tirées de brûlages expérimentaux. Idéalement, au fil du temps, de nouvelles observations seront documentées pour ce type de forêt. Ces observations seront combinées avec les résultats d'autres études de modélisation pour améliorer la capacité de prévision de la vitesse de propagation pour le combustible de peuplements mixtes.

6.5 Feux disséminés

La et le transport de tisons (ou de cendres ardentes) à moyenne distance (des dizaines ou des centaines de mètres) dans le sens du vent constituent un processus important des feux de cimes dans les forêts de conifères. La version actuelle de la Méthode PCI tient implicitement compte de l'influence de la dissémination à courte distance dans ses estimations du modèle de propagation du feu dérivées partiellement des données d'observation des feux de végétation. Les tisons étant de plus en plus reconnus comme un vecteur clé d'allumage dans les pertes de structures (p. ex., Syphard et Keeley 2019) et comme source de dissémination du feu à travers les lignes d'arrêt du feu et d'autres éléments non combustibles, la production et le transport de tisons à courte distance seront pris en compte dans la nouvelle Méthode PCI. Les recherches sur les feux disséminés ont considérablement avancé ces dix dernières années, avec de nombreuses approches empiriques (Storey et al. 2020) et celles fondées sur la physique (Koo et al. 2012) disponibles pour prédire le déplacement des tisons. Toutefois, la première partie, et la plus difficile, du problème lié aux feux disséminés repose sur le taux de production des tisons, qui dépend de la quantité et de la disposition des combustibles (p. ex., Figures 2 et 3). La projection en hauteur et la distance de transport des tisons sont liées à l'intensité du feu, à la vitesse du vent, à la masse et la forme des tisons (Koo et al. 2012). C'est cet aspect du processus de dissémination des feux qui a le plus fait l'objet d'études par le passé. D'autres recherches peuvent et devraient être menées sur tous les éléments du processus de dissémination. La compréhension de ce processus serait grandement améliorée par la documentation d'observations terrain sur les feux disséminés par le personnel de gestion des

incendies. La nouvelle Méthode PCI comprendra des méthodes pour estimer la fréquence attendue des feux disséminés et les distances de transport des tisons. Ces méthodes tiendront compte des changements dans la structure du peuplement (p. ex. éclaircies ou mortalité) ainsi que des conditions météorologiques propices aux incendies forestiers et à l'intensité du feu. Elles seront développées à partir d'ensembles de données observées existantes et guidées par des travaux antérieurs de modélisation physique et mathématique.

Le déclenchement de feux disséminés provenant de tisons sera fonction de la teneur en humidité des combustibles de surface (MHC, Figure 4) ainsi que de la combustion soutenue accompagnée de flammes (nouvelle PCI, Figure 6). Les brèches aux lignes d'arrêt (p. ex., routes, lignes d'arrêt mécanisées, cours d'eau) causées par les feux disséminés tiendront également compte des teneurs en humidité plus faibles de la végétation de surface en bordure des forêts grâce aux données d'intrants détaillées sur le vent et le rayonnement solaire. Le fait que les modèles d'allumage persistant et de vitesse de propagation des feux de surface reposent sur des estimations directes de l'humidité des combustibles de surface et du vent sous couvert (ou à la surface) permettra de faire une estimation cohérente des répercussions des effets de bordure sur le comportement du feu dans le cadre de la nouvelle Méthode PCI.

6.6 Caractérisation de la zone de combustion

De nombreuses applications directes de la Méthode PCI, y compris la modélisation de la fumée et de l'élévation du panache, les modèles d'émissions provenant des feux, les modèles de mortalité des arbres et de chauffage du sol, nécessitent de plus amples renseignements sur la propagation d'un feu que celles fournies par le passé par la Méthode PCI. À mesure que ces applications connexes ont été développées, des méthodes et modèles ponctuels ont été utilisés pour fournir ces valeurs. Toutefois, ceci a entraîné une utilisation incohérente des sorties de la Méthode PCI dans le cadre de plusieurs applications. Bien qu'une normalisation puisse être synonyme d'un manque de souplesse, la nouvelle Méthode PCI fournira des normes pour ces paramètres en se basant sur des observations faites sur le terrain pendant des feux expérimentaux et des brûlages dirigés. Le but n'est pas de fournir des valeurs définitives devant être utilisées par les développeurs d'applications de gestion des incendies de forêt, mais d'offrir une orientation générale aux utilisateurs de la Méthode. Ces résultats resteront des résultats secondaires qui n'affecteront pas ou ne seront même pas pris en compte par la plupart des utilisateurs opérationnels occasionnels du système.

Longueur et hauteur de flamme

La longueur de flamme est une variable facilement observable sur les feux de forêt et est fortement liée à la libération d'énergie globale de la zone de combustion (pendant la combustion accompagnée de flammes). De nombreuses relations entre l'intensité du feu et la longueur de flamme (ou hauteur) existent dans la littérature (p. ex., Alexander et Cruz 2012). Puisque cette relation peut être fortement influencée par le complexe de combustibles qui brûle, il n'existe donc pas de relation unique pour prédire parfaitement la longueur de flamme. Dans la nouvelle Méthode PCI, afin d'offrir aux utilisateurs une référence, les liens avec la longueur de flamme seront explicitement indiqués pour les complexes de combustibles clés qui

produisent des longueurs de flammes très différentes dans des conditions d'intensité similaires (feu d'herbe, feu de surface en forêt ou feu de rémanents).

La hauteur de flamme est une mesure essentielle pour la modélisation des effets du feu sur la mortalité des branches basses où la végétation est tuée par la chaleur, mais ne s'est pas enflammée. Les modèles sur le début de l'embrasement des cimes dépendent également des estimations de la hauteur de flamme pour prédire l'allumage des branches de conifères à la hauteur effective de la base de la canopée. La hauteur et la longueur de flamme sont des variables fortement liées à l'angle auquel les flammes brûlant librement s'inclinent dans le sens du vent (ou sous l'influence d'une pente). Des modèles simples sur l'angle moyen prévu de la flamme (angle par rapport à la verticale) seront fournis et permettront d'équilibrer la force horizontale du vent et la poussée verticale due à la libération d'énergie par le combustible en combustion (c'est-à-dire l'intensité de la ligne de feu). Ces modèles viseront uniquement à fournir une indication de la moyenne attendue à long terme de l'inclinaison de la flamme (de l'ordre de plusieurs minutes de propagation) d'un incendie qui brûle dans un complexe de combustibles, procurant ainsi un lien entre les estimations de longueur de flamme et de hauteur de flamme.

Temps de passage des flammes et température

Le temps de passage des flammes, tant à la surface que dans la cime, a été mesuré dans le cadre de feux expérimentaux. Des valeurs standards pour le temps de passage du front de flamme seront indiquées (en fonction des mesures prises sur le terrain) pour un éventail de complexes de combustibles. La température de la flamme a également fait l'objet d'observations pour de nombreuses intensités de la ligne de feu. La transition vers une flamme résiduelle ou faible et un feu couvant suit après le passage du front de flammes (et son temps de passage associé) pour tous les combustibles, excepté pour l'herbe. La fraction de combustibles de surface consommés après le passage du front de flammes sera fournie.

Persistance du feu couvant

La probabilité de persistance d'un feu couvant est importante pour la modélisation des feux de foudre dont le déclenchement est retardé, ainsi que pour la propagation et l'extinction des feux brûlant librement sur des périodes allant de quelques jours à quelques semaines. La combustion d'un feu couvant dépend de la densité, de la teneur en humidité, et de la teneur en cendres de la matière organique du sol forestier (Frandsen, 1987, 1997). Par conséquent, les prévisions sur persistance et la combustion d'un feu couvant seront améliorées grâce à la caractérisation explicite de la densité de la végétation de surface dans les nouveaux modèles de combustibles (section 3) et dans le modèle d'humidité spécifique au site disponible dans la MHC (section 4).

6.7 Autres éléments liés à la propagation du feu de la Méthode PCI

La version actuelle de la Méthode PCI fait la distinction entre les composantes principales et secondaires. Les composantes principales sont celles qui indiquent les principaux éléments du comportement d'un incendie au front bien établi se propageant en état d'équilibre avec son environnement : vitesse de propagation, consommation des combustibles, intensité du feu et

type de feu. Les composantes secondaires indiquent les éléments comme la propagation d'un feu à partir d'une source d'allumage ponctuelle (soit son « accélération ») et la propagation spatiale et la forme d'un feu brûlant librement dans des conditions de combustibles et météorologiques homogènes. Ces éléments seront conservés dans la nouvelle version de la Méthode PCI et seront améliorés lorsque la science ou les données empiriques le permettront.

Pente

Il est essentiel de pouvoir prédire l'influence de la topographie sur le comportement local du feu. Les éléments de la nouvelle MHC permettront d'ajuster la teneur en humidité des combustibles en fonction de la pente afin de prendre en compte l'exposition. L'amplification de la vitesse de propagation avec une pente ascendante sera maintenue dans la Méthode PCI. La forme fonctionnelle et la force relative du modèle de pente seront réexaminées en même temps que les observations existantes de la recherche sur la propagation d'incendie en pente à partir de feux de végétation et de modèles bien établis sur la physique des incendies.

L'équilibre entre les effets de pente et du vent sera reformulé compte tenu du nouveau cadre de modélisation pour les modèles de vitesse de propagation. Des interactions plus complexes entre l'orientation de la pente et les vents et leur influence sur la propagation des incendies ne sont pas explicitement prises en compte dans le cadre de la nouvelle Méthode PCI. Ces éléments sont considérés comme faisant partie du domaine des systèmes de modélisation du vent et du terrain spatialement explicites associés aux modèles de propagation spatiale du feu.

Accélération

Le temps nécessaire pour qu'un feu passe d'une source d'allumage ponctuelle à une ligne de feu se propageant à un certain état d'équilibre à long terme avec son environnement est un élément d'information important dans la gestion des incendies de forêt. Cet élément est particulièrement important dans l'éventualité où l'équilibre attendu est un feu de grande intensité se propageant au-delà d'un certain seuil d'efficacité des ressources de suppression. La fonction d'accélération élaborée à l'origine dans le cadre de la Méthode PCI sera améliorée à l'aide d'observations plus récentes sur l'accélération et la croissance du périmètre du feu et sera associée aux nouveaux modèles de probabilité de la combustion soutenue accompagnée de flammes, à la variabilité du vent sous couvert, ainsi qu'à la vitesse de propagation du feu de surface. Cela permettra de mieux comprendre l'incertitude inhérente au temps nécessaire pour à l'accélération pour atteindre l'état de propagation à l'équilibre d'un feu.

Modèle de croissance elliptique du feu, propagation à l'arrière et sur les flancs

La version actuelle de la Méthode PCI comprenait un modèle elliptique de base de la propagation du feu pour une source d'allumage ponctuelle se propageant librement dans des conditions météorologiques constantes, à partir de combustibles homogènes et sur un terrain plat. Ce modèle elliptique de base de la propagation sera conservé dans la nouvelle version de la Méthode PCI. Lors de la réanalyse des modèles de propagation de base, le modèle de propagation à l'arrière du feu sera également redéveloppé pour assurer l'uniformité avec les nouvelles formes des modèles de feux de surface. Peu d'expériences terrain ou de documentations sur la propagation à l'arrière et sur les flancs des feux ont été réalisées depuis la conception de la Méthode PCI, par conséquent les modèles seront probablement encore fondés sur une logique physique plutôt que sur des équations développées de manière empirique. Les modèles développés empiriquement de la forme du feu (c'est-à-dire, le ratio longueur-largeur) pour la forêt et les prairies ouvertes seront maintenus, et raffinés à l'aide de nouvelles observations ou de toute information cohérente provenant de la modélisation des propriétés physiques des incendies. La vitesse de propagation du feu sur les flancs (latéraux)

sera toujours établie à partir de l'association des vitesses de propagation de la tête du feu et de l'arrière du feu ainsi que de la forme du feu, comme dans la version actuelle de la Méthode PCI.

7.0 Prédiction des occurrences des incendies

La probabilité d'allumage à la section 6.1 est la probabilité conditionnelle d'un allumage à un point exposé à une source de chaleur qui a été modélisée à partir de données sur des milliers de petits feux expérimentaux. En revanche, l'occurrence des incendies est une mesure spatiale et est définie comme la probabilité inconditionnelle de l'occurrence d'un incendie dans une cellule (provenant d'une couche matricielle) pour un jour donné ou de manière agrégée, comme le nombre d'incendies attendus dans une région géographique donnée. Les modèles des occurrences des incendies sont élaborés à partir de relations purement statistiques entre les occurrences historiques provenant des rapports d'incendies et les facteurs environnementaux. Les intrants peuvent être d'ordre spatial ou associé à une couche matricielle, comme pour les données météorologiques provenant de points d'observations.

7.1 Élaboration de la POI

Depuis une centaine d'années, des recherches sont menées pour établir des corrélations statistiques entre le nombre de débuts d'incendie dans une région pour une journée donnée en fonction des variables environnementales comme l'humidité relative. Dans les premiers modèles des occurrences des incendies, les districts forestiers constituaient l'unité géographique de base. La fréquence des incendies à l'échelle des districts était liée aux mesures des conditions météorologiques et des dangers d'incendie obtenus à partir d'une station météo représentative. Au Canada, Beall (1934) a estimé le nombre attendu d'incendies, dans le district d'Algonquin en Ontario, par catégories de dangers d'incendie à l'aide d'une fréquence empirique. Il s'est appuyé sur 14 ans de données historiques sur les incendies sur les observations des conditions météorologiques et du danger d'incendie recueillies à Petawawa. Par la suite, des cadres de modélisation stochastique ont été introduits dans les années 1970 (Cunningham and Martell 1973).

Les cadres modernes de la POI sont calculées à l'échelle des cellules de couches matricielles. La région d'intérêt est divisée en une grille de cellules (couche matricielle) où une observation journalière par cellule, ou voxel, est l'unité primaire d'échantillonnage. La fréquence historique des incendies (oui, non ou 0, 1) et les données explicatives sont compilées par cellules. La probabilité d'un incendie d'origine humaine ou causé par la foudre est modélisée à partir d'un ensemble de variables explicatives, comme les indices forêt-météo, les combustibles, la topographie, la foudre et la présence humaine qui représentent l'environnement de l'incendie. Le processus de modélisation nécessite la sélection d'un ensemble de variables explicatives, la compilation de données ainsi l'ajustement des modèles. Cette approche permet une représentation des données explicatives d'une manière plus granulaire et spatialement explicite, et d'obtenir une meilleure résolution spatiale dans la prédiction des emplacements des occurrences des incendies.

Une Prévision nationale des occurrences des incendies a été conçue dans le cadre de la MCEDIF dans les années 1980 (Stocks et al. 1989), et les difficultés liées à l'élaboration d'une Méthode POI ont été soulignées lors d'un atelier national (Lynham 1991). Par la suite, des modèles provinciaux ont été élaborés pour l'Ontario (Wotton and Martell 2005) et la Colombie-Britannique (Todd and Kourtz 1991, Kourtz et Todd 1991; Magnussen et Taylor 2012, Nadeem et al. 2020). Toutefois, aucune méthode nationale n'a été mise sur pied.

La prévision des occurrences des incendies est basée sur des données. Le défi avec une telle approche est que même à une résolution grossière de 20 km, la fréquence des incendies à une échelle journalière est rare; des méthodes statistiques pour détecter les événements rares sont donc nécessaires. De plus, à l'échelle du Canada, la base de données « cellule x jour » est énorme. Toutefois, plusieurs éléments ont changé et ont permis de mettre en place un cadre pour la méthode nationale de POI. La disponibilité des données numériques s'est accrue, y compris des données sur les conditions météorologiques et les indices forêt-météo, la détection de la foudre, les combustibles, la topographie et la démographie à l'échelle nationale. Les capacités informatiques se sont considérablement améliorées et les méthodes statistiques se sont également développées (voir Taylor et al. (2013) et Xi et al. (2019)). Les données nécessaires pour les prévisions quotidiennes (p. ex., foudre, conditions météorologiques) sont également de plus en plus disponibles en temps réel, ce qui permet de mettre en œuvre des modèles sur l'occurrence des incendies dans des systèmes de gestion spatiale des incendies.

7.2 Progrès vers une Méthode POI nationale

Des travaux sont en cours afin de mettre en œuvre une série de modèles d'incendies de foudre et de cause humaine ainsi que sur les grands incendies à une échelle matricielle de 20 x 20 km, pour six régions du Canada : la Colombie-Britannique, les Territoires, les Prairies, l'Ontario, le Québec et l'Atlantique. Les données d'environ 70 variables explicatives ont été compilées pour chaque journée de 30 saisons de feux pour chacune des 10 000 cellules. Les variables explicatives comprennent les conditions météorologiques et les variables de la Méthode de l'IFM dérivées de toutes les données historiques sur les conditions météorologiques propices aux incendies transmises par les agences de gestion des incendies du Canada, ainsi que par le Service météorologique du Canada (SMC) et par des stations météo adjacentes des États-Unis. Au total, 24 modèles statistiques (4 types de modèle x 6 régions) sont adaptés en suivant les méthodes indiquées dans Nadeem et al. (2020); les modèles sont adaptés pour chaque région géographique et ne sont donc pas transférables. En plus d'un modèle de POI pour les feux causés par la foudre qui comprend les coups de foudre observés parmi les variables explicatives, un modèle distinct de POI pour les feux causés par la foudre est adapté et comprend les indices de stabilité atmosphérique comme indicateur de la foudre pour les applications de prédictions à moyen terme. Des modèles conditionnels de fréquence des grands incendies (>100 ha) sont également élaborés (p. ex., si un incendie de cause humaine ou causé par la foudre survient, quelle est la probabilité qu'il devienne un grand incendie?). Le résultat du processus de modélisation est un ensemble d'exposants pour chaque variable explicative pour chaque type de modèle par région dans un cadre de modèle logistique. La série de 24 modèles a une forme fonctionnelle commune, mais les variables explicatives ont une

pondération différente selon les régions. Ce cadre peut être facilement mis en œuvre dans les systèmes de gestion spatiale des incendies. Il convient de préciser que ces séries de modèles de POI ou d'autres séries nationales ne remplaceront pas nécessairement les modèles provinciaux existants, mais apporteront une orientation supplémentaire, ainsi que des renseignements à l'échelle nationale.

Si la compréhension physique éclaire la sélection des variables dans les modèles de POI, comme dans d'autres composantes de la MCEIDIF, les modèles sont purement basés sur des données et devraient être mis à jour et réadaptés à mesure que de nouvelles données environnementales sont disponibles : chaque saison de feux a le potentiel d'apporter des informations supplémentaires sur le lien entre l'occurrence des incendies et leur environnement. Par conséquent, une méthode POI nationale ne peut pas être définitive, il s'agit d'un cadre pour mener un processus de modélisation continu. La Méthode POI, plus que toute autre composante de la MCEIDIF-2025, dépend de données de grande qualité sur les incendies, des conditions météorologiques et d'autres données environnementales, dont la plupart sont transmises par les agences de gestion des incendies. Les efforts de ces agences en matière de standardisation et d'intégration des données sont extrêmement utiles. La densité relativement faible des stations météo dans la plupart des régions du Canada représente une limite quant à la précision des modèles.

Une fois les modèles de POI nationaux mis en œuvre dans les systèmes d'information de gestion spatiale des incendies, l'accent des activités de modélisation sera mis sur les méthodes de prévisions des hausses abruptes de l'occurrence des incendies causés par la foudre (p. ex., > 50 incendies causés par la foudre par jour) qui constituent encore un défi.

8.0 Outils et applications pour la gestion des incendies

Dans la section 2, la vision globale de la conception de la prochaine génération de la MCEIDIF a été présentée (Figure 1). Des observations de base sur l'environnement de l'incendie à l'échelle du peuplement ou du paysage, les données passent par une ou plusieurs sous-composantes : la MHC, la Méthode de l'IFM, la Méthode de PCI et la Méthode POI. Les composantes spécialisées peuvent aussi comprendre plusieurs couches de données ou processus de modélisation spatialement définis. Les intrants et les sorties (ou résultats), ainsi que la finalité du diagramme, varieront en fonction des objectifs et des résultats escomptés par l'utilisateur.

Bien que les détails techniques des diverses composantes de la MCEIDIF-2025 consistent en de nombreuses équations empiriques et physiques, la plupart des utilisateurs n'auront pas à interagir avec les aspects mathématiques de la Méthode. Au contraire, ils utiliseront les outils et les applications adaptés à des activités précises de gestion des incendies. Les outils actuels utilisant la MCEIDIF originale comprennent les guides terrain, les tableurs, les logiciels de modélisation de la propagation du feu, les cadres de gestion du risque et les systèmes de gestion organisationnelle des incendies. Pour les utilisateurs satisfaits par le niveau de complexité de la MCEIDIF actuelle, la complexité accrue de la modélisation proposée pour la MCEIDIF-2025 leur sera principalement invisible, l'apparence et l'utilisation des guides terrain,

des logiciels et des tableurs demeureront similaires. L'utilisation de versions plus complexes des sous-modèles de la MCEDIF devrait générer des sorties ayant une meilleure correspondance avec les valeurs observées sur le terrain, bien que certains tests et validations soient encore nécessaires.

L'environnement décisionnel de gestion des incendies est désormais plus lié que jamais aux systèmes d'information synthétisant de grandes quantités de renseignements d'ordre spatial et temporel sur l'environnement de l'incendie et les dangers d'incendie, afin d'établir des projections pour le futur. Les méthodes comme les prévisions spatiales à moyen terme des conditions météorologiques propices aux incendies, de la croissance des incendies et les méthodes de modélisation de la fumée seront des outils importants pour la prise de décisions relatives à la gestion des incendies de forêt du 21^e siècle au Canada. La MCEDIF a des liens importants avec de telles méthodes (tableau 2) et les méthodes ayant liens plus forts méritent d'être abordées ici, même si elles sont considérées comme hors de la portée de la MCEDIF.

Tableau 2. Exemples de liens entre les applications pour la gestion des incendies et les sorties de la MCEDIF (les sorties de la nouvelle MCEDIF-2025 sont indiquées en italique)

Applications pour la gestion des incendies	Sorties de la MCEDIF utilisées
Systèmes d'information géographiques de gestion des incendies	L'IFM, intensité à la tête du feu, <i>l'IFM et l'Indice du Danger d'Incendie pour l'Herbe (IDIH), probabilité des occurrences des incendies.</i>
Niveau de préparation et modèles de planification des besoins en ressources	L'IFM, intensité à la tête du feu, taille de l'incendie à 30 min. <i>L'IFM et l'IDIH, nombre attendu de feux de cause humaine et de foudre, nombre attendu de grands incendies.</i>
Modèles de croissance des feux	Vitesse de propagation (V_p) à la tête, à l'arrière et sur les flancs, intensité du feu selon <i>différentes structures de peuplement au cours du cycle diurne. Transport des tisons, probabilité de persistance d'un feu couvant.</i>
Modélisation de la fumée	Consumation du combustible de surface et de cime, intensité du feu <i>pour un plus large éventail de complexes de combustibles. Probabilité de persistance d'un feu couvant, consommation par les flammes ou par un feu couvant.</i>
Modélisation du carbone	Consumation totale du combustible <i>selon différentes structures de peuplement avec diverses charges de combustible de surface. Partitionnement de la combustion accompagnée de flammes par rapport à la combustion du feu couvant.</i>
Prescriptions de gestion des combustibles	Comportement potentiel de l'incendie <i>dans un plus large éventail de structures de peuplement.</i>
Modèles de prévision pour les brûlages dirigés et les effets écologiques	Consumation du combustible de surface, fraction des cimes consommées, <i>intensité du feu et hauteur de flamme pour différentes structures de peuplement.</i>
Évaluation du risque aux incendies de forêt	V_p à la tête, à l'arrière et sur les flancs, et intensité du feu <i>pour différentes structures de peuplement au cours du cycle diurne. Transport des tisons, probabilité de persistance d'un feu couvant, probabilité de feux de cause humaine et de foudre, probabilité de grands incendies.</i>

Systèmes d'information spatiale pour la gestion des incendies de forêt

Les Méthodes PCI et IFM ont été conçues pour utiliser un nombre relativement petit d'intrants facilement disponibles sur les conditions météorologiques de surface, les combustibles et la topographie. Lorsque ces méthodes ont été appliquées pour les premières fois pendant les opérations sur le terrain, les intrants provenaient principalement d'observations et de stations météorologiques. Avec l'arrivée des systèmes d'information géographique commerciaux dans les années 1980, des systèmes de gestion des incendies comme le « Spatial Fire Management System » (Englefield et al. 2000, Lee et al. 2002) ont été mis au point pour gérer l'interpolation des données sur les conditions météorologiques propices aux incendies forestiers à partir d'un grand nombre de stations ainsi que le calcul et l'affichage des sorties des Méthodes de l'IFM et de la PCI sur de grandes zones géographiques. Ces données spatialement explicites de la MCEDIF ont constitué un moyen important d'éclairer les activités de planification et les prises de décisions aux échelles régionale, provinciale et nationale (p. ex., le Système canadien d'information sur les feux de végétation) ainsi qu'à l'échelle mondiale. Les systèmes d'information spatiale pour la gestion des feux seront importants pour intégrer les nouvelles sources de données spatiales (décrites à la section 3) dans la MCEDIF-2025. Cette forte interdépendance nécessitera une collaboration étroite entre les chercheurs spécialisés dans les dangers d'incendie et les développeurs.

Propagation du feu

Bien qu'il s'agissait principalement d'une application de recherche lorsque la version actuelle de la Méthode PCI a été conçue, la modélisation de la propagation du feu est devenue très fréquemment utilisée pour dans la gestion des feux pour la planification à court terme (quelques heures à plusieurs jours) et à long terme (au-delà de 10 jours). De nombreux outils de modélisation de la propagation du feu à l'échelle du paysage ont été développés (p. ex., automates cellulaires, modèle de propagation en trame, mises en application de la période de déplacement minimale, modèle de propagation d'une ondelette de Huygens). Plusieurs de ces outils de modélisation de la propagation du feu ont été mis en œuvre dans le cadre de différentes applications opérationnelles au Canada (p. ex., Prometheus, le modèle du SCF d'analyse probabiliste (PFAS), ou le modèle de l'Ontario FireSTARR). Les mises à jour apportées avec MCEDIF-2025 nécessiteront que ces outils de modélisation de la propagation du feu se fondent sur de nouvelles couches de combustibles multiattributs et que les modèles fondamentaux du comportement du feu à l'intérieur de ces modèles de propagation changent. L'équipe d'élaboration de la prochaine génération de la MCEDIF aidera les développeurs de ces applications liées à la propagation du feu, qui sont utiles du point de vue opérationnel, à mettre en place les adaptations nécessaires.

Les coupe-feux, naturels et artificiels, constituent un moyen majeur d'enrayer la propagation des incendies (p. ex., O'Connor et al., 2017). Dans les modèles de propagation, ces éléments linéaires (routes, cours d'eau, et endroits où la végétation est retirée mécaniquement) sont généralement à des échelles plus petites que la résolution de la grille du modèle de propagation du feu. Des observations systématiques sur le terrain, de la modélisation fondée sur les données physiques et des approches fondées sur les connaissances des spécialistes seront considérées comme des sources de données pour guider la modélisation des brèches

dans les coupe-feux, dans le cadre de la MCEdIF-2025. Ultiment, les relations entre l'intensité du feu, le transfert thermique (par les flammes et par le transport de tisons) ainsi que la structure forestière seront intégrées aux directives générales qui décrivent la probabilité de brèche dans un coupe-feu selon un ensemble de conditions de comportement du feu.

Émissions de fumée et élévation du panache

Les sorties de la MCEdIF sont essentielles pour les modèles de déplacement de la fumée des feux de forêt comme Bluesky (Larkin et al. 2010) et FireWork (Chen et al. 2019) qui utilisent des données de détection des incendies actifs par satellite avec des données calculées sur l'intensité et la consommation du combustible. La représentation spatiale améliorée des variations dans la consommation du combustible (et donc de l'intensité) permettra d'améliorer les modèles continentaux sur la dispersion de la fumée. L'élévation des panaches de fumée est fonction de l'intensité du feu (proportion de l'intensité du feu attribuée à la convection) et des gradients de température dans l'atmosphère. La prochaine génération de la MCEdIF fournira des directives améliorées sur la contribution de l'intensité du feu par rapport à l'élévation convective du panache de fumée. Pour les feux de grande intensité, les modèles sur la fumée qui intègrent les récentes percées scientifiques (p. ex., Josephson et al. 2019) sur les niveaux d'émission de particules dépendant de l'intensité (PM_{2,5}) profiteront d'une meilleure représentation de l'intensité à la tête avec une charge de combustible variable. Cette interaction entre l'intensité, les émissions et l'élévation du panache de fumée est également essentielle pour la prévision de la combustion résiduelle accompagnée de flammes et les feux couvants de faible intensité, qui persistent durant la nuit et qui n'arrive pas à percer les inversions nocturnes. Ce qui crée des poches localisées d'airs avec des concentrations élevées de PM_{2.5} de surface durant la nuit. Bien que la MCEdIF à elle seule ne permette pas de résoudre la dispersion de la fumée, le moment de la transition d'un feu accompagné de flammes vers un feu couvant résiduel est essentiel afin de modéliser ce qui oriente les avertissements de santé publique relatifs à la fumée des feux de végétation.

En tant qu'extension des propriétés de la zone de combustion accompagnée de flammes qui sera caractérisée dans la MCEdIF-2025, la combustion du feu couvant sera définie séparément de la combustion accompagnée de flammes. La combustion du combustible de surface sera divisée en deux phases : celle de la combustion accompagnée de flammes et celle du feu couvant, chaque phase ayant un temps de résidence, un taux de combustion et des facteurs d'émission associés. Ce simple paramétrage de la transition d'un feu de cime à une combustion résiduelle accompagnée de flammes puis à un feu couvant est important pour bien représenter les panaches de fumée de faible énergie produits par le feu couvant pendant les périodes de faible ventilation atmosphérique, lorsque les niveaux de particules au sol atteignent leur maximum (Landis et al. 2018).

Prescriptions de brûlage dirigé et effets du feu

Les mesures de l'intensité du feu liées à l'apport thermique et aux seuils critiques de mortalité causée par la température aux tissus végétaux comme la hauteur de brûlures létales aux cimes sont souvent utilisées pour prédire les effets écologiques des feux de sévérité mixte (Hood et Lutes, 2017). Alors que la fraction des cimes consommées est une valeur importante pour

interpréter l'ampleur de l'impact à la canopée lors des feux de grande intensité. La prédiction des retombées écologiques des feux de faible et de forte intensité est une composante essentielle de la planification des brûlages dirigés, car la mortalité des arbres peut être un résultat souhaité ou non en fonction des objectifs de gestion. Les modèles spécifiques de transfert thermique aux tissus des végétaux et les modèles de réponse ou de mortalité des arbres en décollant (p. ex., Ryan et Reinhardt, 1988) n'entrent pas dans le cadre de la MCEDIF-2025. La représentation améliorée des feux de surface, de la température de la combustion accompagnée de flammes et du temps de résidence ainsi que du feu couvant et de la fraction des cimes consommées dans des structures de peuplement variables apportera des intrants enrichis pour les modèles physiques de prévision des effets du feu.

Bien que les applications mentionnées dépassent largement le cadre de la MCEDIF, elles en dépendent fortement, tout comme les programmes informatiques sont liés au système d'exploitation d'un ordinateur. Bien que la MCEDIF ne constitue pas un système à part entière, mais une composante d'un plus grand écosystème de modélisation des incendies, le programme de recherche de la prochaine génération de la MCEDIF nécessitera une collaboration avec les agences canadiennes de gestion des incendies dans l'élaboration de telles méthodes. Cela permettra de fournir des directives uniformes sur l'utilisation des éléments de la MCEDIF dans la gestion des incendies, ainsi qu'à répondre à la nécessité de développer des éléments supplémentaires du CFFDRS qui pourraient être requis pour des applications particulières.

9.0 Prochaines étapes

Une méthode nationale efficace d'évaluation des dangers d'incendies comprend quatre éléments clés (Taylor et Alexander 2006) : 1) une méthode modulaire de modèles de prévision des dangers d'incendie adaptée à l'environnement de l'incendie, 2) une infrastructure technique permettant de rassembler et afficher les données de sortie, 3) de la formation et des conseils sur l'interprétation des données et 4) une collaboration continue entre les chercheurs et les responsables de la gestion des incendies (Encadré 6). Ce document décrit les composantes nécessaires à la MCEDIF-2025, l'élément fondamental de l'évaluation des dangers d'incendie de forêt au Canada. Le but du programme de recherche de la prochaine génération de la MCEDIF est de terminer l'élaboration et l'intégration des nouvelles composantes de chaque sous-méthode d'ici 2024 et de compléter la documentation sur l'état de la Méthode dans son ensemble d'ici 2025. Plusieurs étapes seront nécessaires pour achever et mettre en œuvre la MCEDIF-2025, en tenant compte des dimensions scientifiques, techniques et humaines.

Réanalyse et adaptation

Certains nouveaux modèles potentiels nécessaires pour améliorer la fonctionnalité de la MCEDIF ont été élaborés et sont actuellement mis à l'essai (p. ex., Cruz et al. 2005, Wotton

2009a, de Groot et al. 2009), alors que d'autres sont en cours de développement et presque achevés, en partie sur la base d'une réanalyse des données existantes. Les données scientifiques sur les feux en provenance d'autres compétences (provinces, territoires, pays) seront évaluées et intégrées dans les cas où elles sont compatibles avec la Méthode et permettent de combler ses principales lacunes (p. ex., Cheney et al. 1998, Anderson et al. 2015).

Expériences terrain et acquisition de données

La réanalyse des données existantes est insuffisante pour les nouveaux modèles en développement. Certaines composantes essentielles nécessiteront la mise en œuvre de vastes campagnes terrain et de programmes de recherche analytique. Certains exemples, de besoins en matière de collecte continue de données, inclus : mettre à l'essai l'effet de différentes structures de peuplement sur l'environnement et le comportement de l'incendie, observer les taux de production des tisons dans divers écosystèmes forestiers, caractériser les attributs structurels des types de peuplements non traditionnels, élaborer et valider de nouvelles méthodes d'estimation l'humidité des combustibles pour les types de combustibles non traditionnels. Un engagement continu envers la collecte de données sur les feux de végétation et les expérimentations, ainsi qu'envers les innovations en matière de techniques de mesure sont essentiels pour recueillir les renseignements sur l'ensemble de l'environnement des incendies au Canada.

Validation des modèles

La MCEDIF est un ensemble vaste et complexe de modèles élaborés à différentes périodes par de nombreux chercheurs. Un effort considérable sera déployé afin de mettre à l'essai la Méthode dans son ensemble. En particulier, pour évaluer comment les données produites par les modèles interagissent avec d'autres éléments de la Méthode. Les premiers utilisateurs

Encadré 6. Les quatre éléments majeurs d'une Évaluation des dangers d'incendie nationale

Une méthode modulaire d'indicateurs de dangers d'incendie ou de modèle d'occurrence et de comportement d'incendie dans l'environnement d'incendie importants élaborée par le biais d'un programme soutenu de recherche scientifique et fondée sur les relations entre les conditions forêt-météo, les combustibles, la topographie et les sources d'allumage.

Une infrastructure technique fiable pour rassembler, traiter, diffuser et archiver les données sur les conditions forêt-météo et les prévisions (instruments/stations météorologiques, normes, communication) et les prévisions des dangers d'incendie (textes et cartes) au sein des agences de gestion des incendies.

Des lignes directrices, des outils d'aide à la décision et de la formation aux responsables de la gestion des incendies sur l'application des indicateurs des dangers d'incendie, adaptées aux besoins et capacités des agences, et qui seront basées sur les résultats de recherche et l'expérience opérationnelle.

Une coopération entre les agences de gestion des incendies et les organismes de recherche permettant d'encourager la communication, de partager les ressources et d'établir des normes communes relatives à l'information, aux ressources et aux formations (politiques, ententes de partage des coûts, formations nationales, groupes de travail).

participeront à la phase de mise à l'essai pour vérifier que la Méthode forme dans son ensemble un cadre intégré et logique sur le plan physique. Ce travail de mise à l'essai (et d'amélioration) des modèles n'est jamais tout à fait terminé et nous compterons encore grandement sur les utilisateurs de la Méthode pour faire part de leurs commentaires sur les améliorations ou les clarifications à apporter. Une documentation de qualité sur le comportement du feu en situation réelle faite par du personnel expérimenté peut permettre d'obtenir des observations sur des comportements inhabituels ou extrêmes du feu, de valider les données ou d'améliorer notre compréhension afin de produire des résultats plus réalistes et plus fiables.

Échange de connaissances

La mise en œuvre et l'utilisation opérationnelles de la MCEIF ne supposent pas seulement d'intégrer des données scientifiques dans des systèmes d'information. Les utilisateurs doivent comprendre la Méthode et ses limites. Nous reconnaissons également la nécessité de mettre en place des processus efficaces d'échange de connaissances et de transfert de technologie pour mettre à jour le matériel de formation sur la gestion des incendies. Les importants changements apportés à la MCEIF ont des répercussions profondes sur les organismes. Ainsi, l'échange de connaissances et l'adoption par les utilisateurs sont des éléments essentiels à la réussite de la mise en œuvre de la MCEIF-2025.

Collaboration

Une collaboration continue et soutenue avec les agences de gestion des incendies est vitale pour l'élaboration et la mise en œuvre de la prochaine génération de la MCEIF dans plusieurs domaines. (1) Conception : bien que ce document décrive une vision des éléments et de la structure, qui sont nécessaires à la mise en œuvre de la prochaine génération de la MCEIF, l'échange de connaissances va dans les deux sens et les agences seront mobilisées pour faire part de leurs commentaires et contribuer à raffiner la Méthode. (2) Collecte de données sur le terrain: les expériences sur le terrain, comme les projets de feux expérimentaux, peuvent seulement être menées avec l'aide et la collaboration étroite des agences de gestion. (3) Validation : observations sur les feux de forêt et validation des modèles. 4) Mise en œuvre : les agences de gestion des incendies au Canada ont un rôle essentiel à jouer dans la mise en place de l'infrastructure nécessaire pour recueillir les données sur les conditions météorologiques et sur les combustibles ainsi que dans la mise en œuvre de la MCEIF. La réussite de la MCEIF par le passé reposait sur une étroite collaboration entre la science et la gestion des feux; pour que la MCEIF-2025 soit également une réussite, cette collaboration devra perdurer.

Le développement de méthodes pour évaluer les éléments définissant grossièrement le danger d'incendie est en cours au Canada depuis 90 ans. Le programme de développement de la prochaine génération de la MCEIF décrit dans le présent document représente la prochaine évolution de cette méthode, mais n'en est pas la finalité. De plus, ce document présente ce que nous espérons accomplir, documenter et préparer avec les agences de gestion des incendies d'ici 2025. Il s'agit d'un vaste programme de modifications avec des risques de non-achèvement liés aux activités sur le terrain. Nous prévoyons devoir établir des priorités parmi ce qui devra être achevé au cours de cette période et ce qui constitue finalement cette nouvelle MCEIF.

Les travaux de recherche, en particulier la collecte d'observations du comportement d'incendie sur le terrain (qu'il s'agisse de feux expérimentaux ou de feux de végétation), se poursuivront et seront intégrés aux nouveaux modèles et programmes de transfert de technologie et, au bout du compte, aux prochaines versions de la MCEIF. Au fur et à mesure que les incendies, les ressources et les besoins en termes de gestion des urgences changent, la Méthode et ses fonctionnalités devront continuer d'être améliorées.

10.0 Remerciements

Les discussions sur les changements à apporter à la MCEIF sont en cours au Canada depuis plus de dix ans. La MCEIF étant, de par sa conception, une méthode modulaire, l'élaboration de certains éléments de la prochaine génération de la MCEIF se poursuit également depuis dix ans ou plus. Une bonne partie de la structure et du contenu décrits dans le présent document est attribuable aux travaux et aux longues discussions menées ces dernières décennies avec des scientifiques spécialisés dans les incendies (actifs ou retraités) et avec des responsables de la gestion des incendies.

Kelvin Hirsch, Brian Stocks, Dan Johnston, Tim Lynham et Mike Flannigan ont fait part de leurs commentaires et suggestions sur les versions provisoires de ce document, ce qui a permis de considérablement améliorer la qualité de l'information présentée ici.

La version française a quant à elle été révisée par Jacques Larouche et Jonathan Boucher.

11.0 Références

- Alexander, M.E.; Cruz, M.G. 2012. Interdependencies between flame length and fireline intensity in predicting crown fire initiation and crown scorch height. *International Journal of Wildland Fire*, 21(2), 95–113. <https://doi.org/10.1071/WF11001>
- Alexander, M.E.; Stefner, C.N.; Mason, J.A.; Stocks, B.J.; Hartley, G. R.; Maffey, M.E.; Wotton, B.M.; Taylor, S.W.; Lavoie, N.; Dalrymple, G.N. 2004. Characterizing the jack pine – black spruce fuel complex of the International Crown Fire Modelling Experiment (ICFME). *Nat. Resour. Can., Can. For. Serv., North. For. Cent., Edmonton, Alberta. Inf. Rep. NOR-X-393*. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=24913>
- Anderson, W.R.; Cruz, M.G.; Fernandes, P.M.; McCaw, L.; Vega, J.A.; Bradstock, R.A.; Fogarty, L.; Gould, J.; McCarthy, G.; Marsden-Smedley, J.B.; Matthews, S.; Mattingley, G.; Pearce, H.G.; Wilgen, B.W. van. 2015. A generic, empirical-based model for predicting rate of fire spread in shrublands. *International Journal of Wildland Fire*, 24(4), 443–460. <https://doi.org/10.1071/WF14130>
- Beall H. W. 1934. A practical test of the accuracy of forest-fire hazard charts. *Forestry Chronicle*, 10(1), 56–65. <https://doi.org/10.5558/tfc10056-1>
- Beall H. W. 1939. Tables for estimating the Tracer Index from early afternoon readings and table for diurnal hazard variation. *Can Dep. Mines and Resources, Dominion Forest Serv. Suppl. to Forest Fire Research Note 5*.
- Chen, J.; Anderson, K.; Pavlovic, R.; Moran, M.D.; Englefield, P.; Thompson, D.K.; Munoz-Alpizar, R.; Landry, H. 2019. The FireWork v2.0 air quality forecast system with biomass burning emissions from the Canadian Forest Fire Emissions Prediction System v2.03. *Geoscientific Model Development*, 12(7), 3283–3310. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3283-2019>
- Cheney, N.P.; Gould, J.S.; Catchpole, W.R. 1998. Prediction of Fire Spread in Grasslands. *International Journal of Wildland Fire*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1071/wf9980001>
- Cheney, N.P.; Gould, J.S.; McCaw, W.L.; Anderson, W.R. 2012. Predicting fire behaviour in dry eucalypt forest in southern Australia. *Forest Ecology and Management*, 280, 120–131. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.012>
- Conseil canadien des ministres des forêts. 2005. Stratégie Canadienne en matière de feux de forêt : vision pour une approche innovatrice et intégrée pour la gestion des risques. Conseil canadien des ministres des forêts. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=26218>
- Conseil canadien des ministres des forêts. 2016. Stratégie canadienne en matière de feux de forêt. Évaluation décennale et renouvellement de l'appel à l'action. 2016. Conseil canadien des ministres des forêts. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=37109>
- Cruz, M.G.; Alexander, M.E.; Wakimoto, R.H. 2003. Assessing canopy fuel stratum characteristics in crown fire prone fuel types of western North America. *International Journal of Wildland Fire*, 12(1), 39–50. <https://doi.org/10.1071/WF02024>

- Cruz, M.G.; Alexander, M.E.; Wakimoto, R.H. 2005. Development and testing of models for predicting crown fire rate of spread in conifer forest stands. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(7), 1626–1639. <https://doi.org/10.1139/x05-085>
- Cruz, M.G.; Alexander, M.E.; Fernandes, P.A.M. 2008. Development of a model system to predict wildfire behaviour in pine plantations. *Australian Forestry*, 71(2), 113–121. <https://doi.org/10.1080/00049158.2008.10676278>
- Cruz, M.G.; Gould, J.S.; Kidnie, S.; Bessell, R.; Nichols, D.; Slijepcevic, A. 2015. Effects of curing on grassfires: II. Effect of grass senescence on the rate of fire spread. *International Journal of Wildland Fire*, 24(6), 838–848. <https://doi.org/10.1071/WF14146>
- Cunningham, A.A.; Martell, D.L. 1973. A stochastic model for the occurrence of man-caused forest fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 3(2), 282–287. <https://doi.org/10.1139/x73-038>
- de Groot, W.; Wardati, J., ; Wang, Y. 2005. Calibrating the Fine Fuel Moisture Code for grass ignition potential in Sumatra, Indonesia. *International Journal of Wildland Fire*, 14(2), 161–168. <https://doi.org/10.1071/WF04054>
- de Groot, W.J.; Goldammer, J.G.; Keenan, T.; Brady, M.; Lynham, T.J.; Justice, C.O.; Csiszar, I.A.; O’Loughlin, K. 2006. Developing a global early warning system for wildland fire. *Proceedings of the 5th International Conference on Forest Fire Research*. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=26656>
- de Groot, W.J.; Field, R.D.; Brady, M.; Roswintiarti, O.; Mohamad, M. 2007. Development of the Indonesian and Malaysian Fire Danger Rating Systems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 12(1): 165-180. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=26658>
- de Groot, W.J.; Pritchard, J.M. ; Lynham, T. J. 2009. Forest floor fuel consumption and carbon emissions in Canadian boreal forest fires. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(2), 367–382. <https://doi.org/10.1139/X08-192>
- Englefield, P.; Lee, B.; Suddaby, R. 2000. Spatial fire management system. *In Proceedings of the 20th ESRI International User Conference*. Environmental Systems Research Institute, San Diego, California, USA. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=20030>
- Fernandes, P.A.M. 2001. Fire spread prediction in shrub fuels in Portugal. *Forest Ecology and Management*, 144(1–3), 67–74. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00363-7](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00363-7)
- Field, R.D.; Spessa, A.C.; Aziz, N.A.; Camia, A.; Cantin, A.; Carr, R., de Groot, W.J.; Dowdy, A.J.; Flannigan, M.D.; Manomaiphiboon, K.; Pappenberger, F.; Tanpipat, V.; Wang, X. 2015. Development of a Global Fire Weather Database. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15(6), 1407–1423. <https://doi.org/10.5194/nhess-15-1407-2015>
- Frandsen, W.H. 1987. The influence of moisture and mineral soil on the combustion limits of smoldering forest duff. *Canadian Journal of Forest Research*, 17(12), 1540–1544. <https://doi.org/10.1139/x87-236>
- Frandsen, W.H. 1997. Ignition probability of organic soils. *Canadian Journal of Forest Research*, 27(9), 1471–1477. <https://doi.org/10.1139/x97-106>

Groupe de travail sur les dangers d'incendie. 1992. Élaboration et structure de la Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt. Rapport d'information ST-X-3F. Forêts Canada, Direction générale des sciences et du développement durable.

<https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=10069>

Hirsch, K.G.; Fuglem, P. 2006. Stratégie canadienne en matière de feux de forêt : synthèses de fond, analyses et perspectives. Conseil canadien des ministres des forêts.

<https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=26747>

Hood, S.; Lutes, D. 2017. Predicting post-fire tree mortality for 12 western US conifers using the First Order Fire Effects Model (FOFEM). *Fire Ecology*, 13(2), 66–84.

<https://doi.org/10.4996/fireecology.130290243>

Hvenegaard, S.; Schroeder, D.; Thompson, D.K. 2016. Fire behaviour in black spruce forest fuels following mulch fuel treatments: a case study at Red Earth Creek, Alberta. Technical Report no. 42. FPInnovations Wildfire Operations Research Group.

<https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=38087>

Jennings, S.B.; Brown, N.D.; Sheil, D. 1999. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 72(1), 59–74. <https://doi.org/10.1093/forestry/72.1.59>

Josephson, A.J.; Castaño, D.; Holmes, M.J.; Linn, R.R. 2019. Simulation comparisons of particulate emissions from fires under marginal and critical conditions. *Atmosphere*, 10(11), 704. <https://doi.org/10.3390/atmos10110704>

Kidnie, S.; Wotton, B.M. 2015. Characterisation of the fuel and fire environment in southern Ontario's tallgrass prairie. *International Journal of Wildland Fire*, 24(8), 1118–1128.

<https://doi.org/10.1071/WF14214>

Koo, E.; Linn, R. R.; Pagni, P.J. ; Edminster, C.B. 2012. Modelling firebrand transport in wildfires using HIGRAD/FIRETEC. *International Journal of Wildland Fire*, 21(4), 396–417.

<https://doi.org/10.1071/WF09146>

Kourtz, P.H.; Todd, J.B. 1991. Predicting the daily occurrence of lightning-caused forest fires. Information Report PI-X-112. Forestry Canada, Petawawa National Forestry Institute.

<https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=10706>

Landis, M.S.; Edgerton, E.S.; White, E.M.; Wentworth, G.R.; Sullivan, A. P.; Dillner, A.M. 2018. The impact of the 2016 Fort McMurray Horse River Wildfire on ambient air pollution levels in the Athabasca Oil Sands Region, Alberta, Canada. *Science of The Total Environment*, 618, 1665–1676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.008>

Larkin, N.K.; O'Neill, S.M.; Solomon, R.; Raffuse, S.; Strand, T.; Sullivan, D.C.; Krull, C.; Rorig, M.; Peterson, J.; Ferguson, S.A. 2010. The BlueSky smoke modeling framework. *International Journal of Wildland Fire*, 18(8), 906–920. <https://doi.org/10.1071/WF07086>

Lawson, B. D.; Armitage, O. B.; Dalrymple, G. N. 1994. Ignition probabilities for simulated people caused fires in British Columbia's lodgepole pine and white spruce-subalpine fir forests. Proceedings of the 12th Conference on Fire and Forest Meteorology. Society of American Foresters. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=3360>

Lawson, B.D.; Armitage, O.B.; Hoskins, W.D. 1996. Diurnal variation in the Fine Fuel Moisture Code: Tables and computer source code. Can.-B.C. Partnership Agreement on Forest Resource Development Report #245. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre.

<https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=4244>

Lawson B.D.; Armitage, O.B. 1997. Ignition probability equations for some Canadian fuel types. Report to the Canadian Committee on Forest Fire Management. Ember Research Services Ltd.

Lawson, B.D.; Stocks, B.J.; Alexander, M.E.; Van Wagner, C.E. 1985. A system for predicting fire behaviour in Canadian forests. Pages 6-16 (Vol. 85-04) *in* Proceedings of the 8th Conference on Fire and Forest Meteorology, April 29-May 2, 1985, Detroit, Michigan, USA. Society of American Foresters. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=11538>

Lee, B.S.; Alexander, M.E.; Hawkes, B.C.; Lynham, T.J.; Stocks, B.J.; Englefield, P. 2002. Information systems in support of wildland fire management decision making in Canada. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37(1), 185–198. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00120-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00120-5)

Lynham, T.J. 1991. National Workshop on Forest Fire Occurrence Prediction. May 3–4, 1991, Winnipeg, MB. Forestry Canada, Great Lakes Forestry Centre.

<https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=35635>

Magnussen S.; Taylor, S.W. 2012. Prediction of daily lightning-and human-caused fires in British Columbia. *International Journal of Wildland Fire*, 21(4), 342–356.

<https://doi.org/10.1071/WF11088>

McAlpine, R. S.; Hobbs, M.W. 1994. Predicting the height to live crown base in plantations of four boreal forest species. *International Journal of Wildland Fire*, 4(2), 103–106.

<https://doi.org/10.1071/WF9940103>

McRae, D.J.; Stocks, B.J.; Mason, J.A.; Lynham, T.J.; Blake, T.W.; Hanes, C.C. 2017. Influence des types d'allumage sur le comportement des feux sur le pin gris semi-mature. Rapport d'information GLC-X-19F. Service canadien des forêts. Centre de foresterie des Grands Lacs.

<http://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=38239>

Muraro. S.J. 1968. A modular approach to a revised national fire danger rating system. *In* Contributions to the development of a national fire danger rating system. Information Report BC-X-37. Canadian Forest Service, Pacific Forestry Centre.

<https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=27977>

Nadeem, K.; Taylor, S.W.; Woolford, D.G.; Dean, C.B. 2020. Mesoscale spatiotemporal predictive models of daily human- and lightning-caused wildland fire occurrence in British Columbia. *International Journal of Wildland Fire*, 29(1), 11–27.

<https://doi.org/10.1071/WF19058>

- O'Connor, C.; Calkin, D.E.; Thompson, M.P. 2017. An empirical machine learning method for predicting potential fire control locations for pre-fire planning and operational fire management. *International Journal of Wildland Fire*, 26(7), 587–597. <https://doi.org/10.1071/WF16135>
- Pepin, A.-C.; Wotton, M. 2020. Fire behaviour observation in shrublands in Nova Scotia, Canada and assessment of aids to operational fire behaviour prediction. *Fire*, 3(3), 34. <https://doi.org/10.3390/fire3030034>
- Perrakis, D.D.B.; Lanoville, R.A.; Taylor, S.W.; Hicks, D. 2014. Modeling wildfire spread in mountain pine beetle-affected forest stands, British Columbia, Canada. *Fire Ecology*, 10(2), 10–35. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1002010>
- Pickell, P.D.; Coops, N.C.; Ferster, C.J.; Bater, C.W.; Blouin, K.D.; Flannigan, M.D.; Zhang, J. 2017. An early warning system to forecast the close of the spring burning window from satellite-observed greenness. *Scientific Reports*, 7(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14730-0>
- Ryan, K.C.; Reinhardt, E.D. 1988. Predicting postfire mortality of seven western conifers. *Canadian Journal of Forest Research*, 18(10), 1291–1297. <https://doi.org/10.1139/x88-199>
- Stocks, B. J.; Lynham, T. J.; Lawson, B.D.; Alexander, M.E.; Van Wagner, C.E.; McAlpine, R.S.; Dubé, D.E. 1989. The Canadian Forest Fire Danger Rating System: An overview. *The Forestry Chronicle*, 65(6), 450–457. <https://doi.org/10.5558/tfc65450-6>
- Stocks, B.J.; Alexander, M.E.; Wotton, B.M.; Steffner, C.N.; Flannigan, M.D.; Taylor, S.W.; Lavoie, N.; Mason, J.A.; Hartley, G R.; Maffey, M.E.; Dalrymple, G.N.; Blake, T.W.; Cruz, M.G.; Lanoville, R.A. 2004. Crown fire behaviour in a northern jack pine-black spruce forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 34(8), 1548–1560. <https://doi.org/10.1139/x04-054>
- Storey, M.A.; Price, O.F.; Sharples, J.J.; Bradstock, R.A. 2020. Drivers of long-distance spotting during wildfires in south-eastern Australia. *International Journal of Wildland Fire*, 29(6), 459–472. <https://doi.org/10.1071/WF19124>
- Syphard, A.D.; Keeley, J.E. 2019. Factors associated with structure loss in the 2013–2018 California wildfires. *Fire*, 2(3), 49. <https://doi.org/10.3390/fire2030049>
- Taylor, S.W.; Alexander, M.E. 2006. Science, technology, and human factors in fire danger rating: The Canadian experience. *International Journal of Wildland Fire*, 15(1), 121–135. <https://doi.org/10.1071/WF05021>
- Taylor, S.W.; Alexander, M.E. 2018. Field guide to the Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System. 3rd edition. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=39516>
- Taylor, S. W.; Woolford, D. G.; Dean, C. B.; Martell, D. L. 2013. Wildfire Prediction to Inform Fire Management: Statistical Science Challenges. *Statistical Science*, 28(4), 586–615. <https://doi.org/10.1214/13-STS451>

- Taylor, S.W. 2020. Atmospheric cascades shape wildfire activity and fire management decision spaces across scales – a conceptual framework for fire prediction. *Frontiers in Environmental Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.527278>
- Todd, J.B.; Kourtz, P.H. 1991. Predicting the daily occurrence of people-caused forest fires. Information Report PI-X-103. Forestry Canada, Petawawa National Forestry Institute. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=10610>
- Tymstra, C.; Bryce, R.W.; Wotton, B.M.; Taylor, S.W.; Armitage, O.B. 2010. Development and structure of Prometheus: The Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model. Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=31775>
- Van Wagner, C.E. 1972. A table of diurnal variation in the Fine Fuel Moisture Code. Information Report PS-X-38. Canadian Forest Service, Petawawa Forest Experiment Station. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=23607>
- Van Wagner, C.E. 1974. Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index. Departmental Publication 1333. Environment Canada, Canadian Forestry Service, Petawawa Forest Experiment Station. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=24864>
- Van Wagner, C.E. 1977a. A method of computing fine fuel moisture content throughout the diurnal cycle. Information Report PS-X-69. Environment Canada, Canadian Forestry Service. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=25591>
- Van Wagner, C.E. 1977b. Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research*, 7(1), 23–34. <https://doi.org/10.1139/x77-004>
- Van Wagner C.E. 1987. The development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Information Report FTR-35. Canadian Forest Service, Petawawa National Forestry Institute. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=19927>
- Van Wagner, C.E. 1989. Prediction of crown fire behavior in conifer stands. *In Proceedings of the 10th Conference on Fire and Forest Meteorology*. Forestry Canada. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=10533>
- Van Wagner, C.E. 1993. Prediction of crown fire behavior in two stands of jack pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(3), 442–449. <https://doi.org/10.1139/x93-062>
- Williams, D.E. 1963. Forest fire danger manual. Department of Forestry Publication 1027. Department of Forestry, Petawawa, Canada. <https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=24641>
- Wotton, B.M.; Martell, D.L. 2005. A lightning fire occurrence model for Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*, 35(6), 1389–1401. <https://doi.org/10.1139/x05-071>
- Wotton, B.M. 2009a. A grass moisture model for the Canadian Forest Fire Danger Rating System. Paper 3-2 *in Proceedings 8th Fire and Forest Meteorology Symposium*. Kalispell, MT Oct 13-15, 2009. <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/155930.pdf>
- Wotton, B. M. 2009b. Interpreting and using outputs from the Canadian Forest Fire Danger Rating System in research applications. *Environmental and Ecological Statistics* 16(2), 107–131. <https://doi.org/10.1007/s10651-007-0084-2>

Wotton, B.M.; Alexander, M.E.; Taylor, S.W. 2009. Mises à jour et révisions de la Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt de 1992. Rapport l'information GLC-X-10F. Service canadien des forêts, Centre de recherches forestières des Grands Lacs. <https://https://cfs.nrcan.gc.ca/publications?id=31531>

Xi, D.D.Z., Taylor, S.W., Woolford, D.G.; Dean, C.B. 2019. Statistical Models of Key Components of Wildfire Risk. *Annual Review of Statistics and Its Application*, 6(1), 197–222. <https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-031017-100450>

12.0 Annexes

Annexe A. Types de combustibles et attributs

Tableau A-1. Résumé des types de combustibles existants de la Méthode PCI et de leurs attributs de modélisation. CCS : Consommation totale du combustible de surface; HBC : Hauteur de la base de la couronne; QCC : Quantité de combustible dans les cimes : % C : Pourcentage de conifères dans l'étage dominant de la forêt mixte; % $S_{b.m.}$: Pourcentage de sapins baumiers morts dans l'étage dominant de la forêt mixte (en supposant que le reste de l'étage dominant soit composé de feuillus); % Fan. : Pourcentage de fanage des herbes; QCH : quantité de combustible herbacée ($kg\ m^{-2}$). * indique les variables définies par l'utilisateur dans la méthode PCI actuelle et leur fourchette valide.

Type de combustible	Modificateurs des intrants	CCS max. ($kg\ m^{-2}$)	HBC (m)	QCC ($kg\ m^{-2}$)
C-1 - Pessière à lichens	—	1.5	2.0	0.75
C-2 - Pessière boréale	—	5.0	3.0	0.8
C-3 - Pins gris ou pins tordus à maturité	—	5.0	8.0	1.15
C-4 - Jeunes pins gris ou pins tordus	—	5.0	4.0	1.2
C-5 - Pins rouges et pins blancs	—	5.0	18.0	1.2
C-6 - Plantation de conifères	HBC	5.0	0.1-15.0*	1.8
C-7 - Pins ponderosa et douglas taxifoliés	—	3.5	10.0	0.5
D-1 - Peupliers faux-trembles sans feuilles	—	1.5	—	—
D-2 - Peupliers faux-trembles avec feuilles	—	1.5	—	—
M-1 - Forêt boréale mixte sans feuilles	% C	5.0	6.0	0.8
M-2 - Forêt boréale mixte avec feuilles	% C	5.0	6.0	0.8
M-3 - Forêt mixte à sapins baumiers morts, sans feuilles	% $S_{b.m.}$	5.0	6.0	0.8
M-4 - Forêt mixte à sapins baumiers morts, avec feuilles	% $S_{b.m.}$	5.0	6.0	0.8
S-1 - Rémanents de pins gris ou de pins tordus	—	8.0	—	—
S-2 - Rémanents d'épinettes blanches et de sapins baumiers	—	16.0	—	—
S-3 - Rémanents de thuyas, de pruches et de douglas côtiers	—	32.0	—	—
O-1a - Herbes aplaties	% Fan., QCH	0.1-2.0*	—	—
O-1b - Herbes debout	% Fan., QCH	0.1-2.0*	—	—

Tableau A-2. Un résumé des attributs des combustibles nécessaires pour la MCEDIF-2025 par strate verticale, incluant une description, les unités et l'utilisation générale dans la MCEDIF-2025 est indiqué (MHC : Méthode d'humidité du combustible; PCI : Méthode de prévision du comportement des incendies). Les termes en italique représentent les attributs supplémentaires nécessaires au-delà du minimum.

Strate	Attribut du combustible	Description	Unités	Utilisation dans la MCEDIF-2025
Combustibles de la canopée (ou de l'étage dominant)	Fermeture moyenne de la canopée du peuplement	Il s'agit de la proportion de l'hémisphère du ciel obscurcie par la végétation lorsqu'elle est vue d'un point unique à l'intérieur du peuplement. (Jennings et al. 1999).	%	MHC : ajustement à l'humidité du combustible par rapport au rayonnement solaire PCI : modélisation et cartographie de la végétation de surface (combustible)
	Diamètre moyen (et écart type) à hauteur de poitrine des arbres de l'étage dominant du peuplement	Il s'agit du diamètre moyen des arbres de l'étage dominant du peuplement (ceux ayant un diamètre ≥ 3 cm; Alexander et al. 2004)	cm	PCI : modélisation et cartographie de la densité du combustible de cime (DCC)
	Densité du peuplement	Il s'agit de la densité des arbres de l'étage dominant du peuplement (diamètre ≥ 3 cm), exprimée à l'hectare.	tiges ha ⁻¹	PCI : modélisation et cartographie de la densité combustible de cime (DCC)
	Hauteur moyenne (et écart type) des arbres de l'étage dominant du peuplement	Il s'agit de la hauteur moyenne des arbres dominants et codominants de l'étage dominant du peuplement.	m	PCI/MHC : modélisation du vent sous couvert PCI : modélisation et cartographie de la densité combustible de cime (DCC) PCI : modélisation de la consommation du combustible de cime

Strate	Attribut du combustible	Description	Unités	Utilisation dans la MCEDIF -2025
Combustibles de la canopée (ou de l'étage dominant)	Proportion des espèces feuillues dans le peuplement (PF)	Il s'agit de la proportion de surface terrière des espèces feuillues dans l'étage dominant du peuplement.	%	PCI/MHC : modélisation du vent sous couvert PCI : comportement du feu de cime dans une forêt mixte MHC : ajustement à l'humidité du combustible par rapport au rayonnement solaire
	Proportion des espèces de conifères dans le peuplement (PC) par genre	Il s'agit de la proportion de surface terrière des espèces de conifères par genre dans l'étage dominant du peuplement.	%	PCI : modélisation du vent sous couvert PCI : comportement du feu de cime dans une forêt mixte MHC : humidité de la litière
	État des conifères	Pourcentage des conifères du peuplement par état de santé (p. ex., vivant, mort portant encore des aiguilles, mort sans aiguilles)	%	PCI/MHC: modélisation du vent sous couvert PCI : comportement du feu de cime PCI : consommation du feu de cime MHC : humidité du combustible de surface
	Densité du combustible de la canopée (DCC)	Masse moyenne de la biomasse vivante de la canopée du peuplement (feuillage et branches < 1 cm)	kg m ⁻³	PCI : directement dans les modèles de consommation et propagation du feu de cime
	Charge du combustible de canopée (CCC)	Charge totale du combustible de canopée (feuillage et branches < 1 cm) des conifères	kg m ⁻²	PCI : intensité du feu de cime MHC/PCI : vent sous couvert, ajustement de l'humidité des combustibles de surface

Strate	Attribut du combustible	Description	Unités	Utilisation dans la MCEDIF -2025
Combustibles étagés	Hauteur effective de la base de la canopée du peuplement (HeBC)	Distance moyenne (<i>et écart type</i>) entre le haut de la végétation du sous-étage et la plus basse branche vivante des cimes de l'étage dominant du peuplement	m	PCI : directement dans les modèles de feux de cime et de début d'embrasement du feu de cimes
	Diamètre des arbres du sous-étage	Diamètres des arbres de diamètre < 3 cm et d'hauteur supérieure à 1,3 m	cm	PCI : vent sous couvert PCI : estimation de la HeBC
Combustibles du sol et de surface	Type de végétation de surface	Couverture moyenne de la végétation de surface du peuplement, au moins le type dominant ou <i>par type</i> (aiguilles, feuilles, mélange d'aiguilles/feuilles/annuelles, lichen, herbe, mousse, etc.)	%	MHC : ajustement de l'humidité de la litière PCI : modèle de combustion soutenue accompagnée de flammes PCI : modèles de propagation du feu de surface
	Charge du combustible de litière	Masse moyenne (<i>et écart type</i>) de la litière au sol	kg m ⁻²	PCI : modèles de la consommation du combustible
	Charge du combustible de débris ligneux au sol	Masse des débris ligneux au sol, par catégories de taille : <1 cm, 1-7 cm, et >7 cm	kg m ⁻²	PCI : modèles de la consommation du combustible
	Profondeur de la couche organique	Profondeur moyenne (<i>et écart type</i>) de la couche organique du peuplement <i>Séparément pour la couche F (combustible) et H (humus)</i> .	cm	PCI : modèles de prévision de la consommation du combustible de surface
	Charge du combustible de la couche organique	Masse moyenne (<i>et écart type</i>) de la couche organique du peuplement <i>Séparément pour la couche F (combustible) et H (humus)</i> .	kg m ⁻²	PCI : modèles de prévision de la consommation du combustible de surface

Annexe B. Glossaire des nouveaux termes et concepts

Charge du combustible de canopée—la quantité de combustibles présents dans canopée (au-dessus de la hauteur de la base de la cime vivante) par unité de volume. Il s'agit du résultat mathématique obtenu en divisant la charge du combustible de la canopée par la différence entre la hauteur du peuplement et la hauteur de la base de la cime vivante. L'unité de préférence et le kilogramme de combustibles secs par mètre cube.

Combustion soutenue accompagnée de flammes—la capacité d'un allumage accompagné de flammes établi dans des combustibles de surface à continuer de se propager à travers un complexe de combustibles par le biais d'une combustion accompagnée de flammes dans les conditions de l'environnement actuel de l'incendie.

Complexe de combustibles—une combinaison spécifique, ou un agencement, des attributs structurels des combustibles. Par exemple : un couvert fermé d'épinettes noires de 8 m de haut avec un combustible de surface composés de mousses hypnacées est un complexe de combustibles différent d'un couvert modérément fermé d'épinettes noires de 4 m de haut ayant un combustible de surface composé d'un mélange d'aiguilles et de feuilles.

Durée de la période de brûlage—le nombre d'heures d'un cycle diurne de feu (commençant et se terminant environ au moment du lever et du coucher du soleil) au cours duquel les conditions météorologiques (essentiellement l'humidité relative et la teneur en humidité des combustibles) peuvent contribuer à une activité soutenue des feux. Il est à noter que la durée de la période de brûlage peut, dans certains cas, comprendre les heures après minuit dans les premières heures du jour.

Hauteur de la base de la cime vivante (HBCV)—hauteur entre la surface du sol et les branches vivantes les plus basses des conifères de l'étage dominant. Cette valeur est toujours supérieure ou égale à la hauteur effective de la base de la canopée. Elle ne tient pas compte des arbustes et des arbres du sous-étage.

Hauteur effective de la base de la canopée (HeBC)—hauteur de l'écart entre la végétation de surface (y compris les arbustes et petits arbres du sous-étage) et les branches vivantes les plus basses des conifères de l'étage dominant. Cette valeur est toujours égale ou inférieure à la hauteur de la base de la cime vivante.

Indice du combustible léger surélevé—un indice représentant la teneur en humidité des combustibles légers surélevés au-dessus de la végétation de surface, comme les branches fines mortes dans la canopée, l'herbe sur pied, ou les lichens surélevés. Ces combustibles sèchent bien plus vite que les combustibles de l'ICL (p. ex., litière d'aiguilles sur la végétation de surface) avec une teneur en humidité qui est similairement dépendante de la température, de l'humidité et de la vitesse du vent sous couvert.

Indice du danger d'incendie pour l'herbe—un indice de prévision de l'intensité du front de flamme dans l'herbe, qui intègre le degré de fanage et une charge de combustible fixe.

Indice d'humidité de l'herbe—un indice de l'humidité pour l'herbe aplatie similaire sur le plan conceptuel à l'Indice du combustible léger, mais qui comprend également l'effet du rayonnement solaire. L'Indice d'Humidité de l'Herbe représente les vitesses de séchage les plus rapides observées pour l'herbe aplatie, comparativement à l'ICL. Pour l'herbe sur pied, l'indice du combustible léger surélevé est utilisé.

Indice de l'humidité en tourbière—une composante de la Méthode d'Humidité du Combustible actuellement en cours d'élaboration, et qui indiquera si les tourbières sont suffisamment sèches pour que le feu se propage à des vitesses similaires aux combustibles des forêts adjacentes bien drainées (hors tourbières).

Indice de propagation dans l'herbe—un indice de prévision de la vitesse de propagation du feu dans l'Herbe. Les valeurs de l'IPH sont proportionnelles à la vitesse de propagation, donc si l'IPH double, cela signifie que la vitesse de propagation double. L'état de fanage de l'herbe est un intrant obligatoire.

Indice de récupération nocturne—un indice du potentiel relatif de propagation du feu pendant la nuit, basé sur les conditions météorologiques horaires, par rapport au pic des conditions de brûlage de l'après-midi précédent.

Modèle de propagation à double équilibre (ou multi-phases)—une méthode de prévision de la vitesse de propagation qui utilise des modèles indépendants de la vitesse de propagation pour un feu de surface et un feu de cime dans le complexe de combustibles. Ces modèles de vitesse de propagation sont couplés par un ensemble distinct de modèles de début de l'embrassement des cimes.

Méthode d'humidité des combustibles—un ensemble officiel de modèles utilisés dans le cadre de la MCEIDIF pour prédire la teneur en humidité des combustibles (%) selon une échelle horaire, qui permet à l'utilisateur de faire des ajustements par rapport aux effets liés à la structure du peuplement (fermeture du couvert), au type de végétation de surface et au rayonnement solaire au niveau de la végétation de surface. Cela comprend aussi les modèles de prévision de la teneur en humidité des combustibles vivants (fin de la période de feuillaison des espèces décidues et fanage de l'herbe) en fonction des saisons.

Phénologie—les patrons saisonniers (journaliers à mensuelles) de la croissance de la végétation. Il peut s'agir d'un patron moyen pour un emplacement donné et pour sur une longue période, ou bien d'un modèle qui varie d'une année à l'autre. La phénologie s'applique aux modèles de fanage de l'herbe, mais également aux modèles d'émergence des bourgeons (débourement) et de feuillaison chez les espèces décidues.

Probabilité d'allumage—La probabilité qu'un seul tison se transforme en une combustion soutenue accompagnée de flammes en fonction d'une combinaison du type de combustibles de surface, de la teneur en humidité des combustibles de surface et du vent sous couvert.

Rayonnement solaire—la quantité de chaleur solaire et de séchage des combustibles de surface, sans compter le séchage des combustibles qui survient en raison d'une faible teneur en humidité. Ce séchage supplémentaire varie en fonction de l'ouverture du couvert, de la pente et de l'exposition.

Temps de résidence de la combustion accompagnée de flammes—la durée de la combustion soutenue accompagnée de flammes à un certain point pendant le passage d'un front de flammes. Le terme est utilisé indépendamment pour décrire la durée de la combustion accompagnée de flamme dans la canopée et dans le combustible de surface.

Vent sous couvert—la vitesse du vent horizontal près de la végétation de surface. Cela représente le vent disponible aux feux de surface. Cette valeur est nécessaire pour modéliser la vitesse de propagation d'un feu de surface dans la nouvelle PCI. Le vent sous couvert dépend de la charge du combustible de canopée et du pourcentage de conifères dans l'étage dominant.

Annexe C. Liste des abréviations

%C—Pourcentage de conifères dans l'étage dominant de la forêt mixte

%S_{b.m.}—Pourcentage de sapins baumiers morts dans l'étage dominant de la forêt mixte (en supposant que le reste de l'étage dominant soit composé de feuillus)

HBCV—Hauteur de la base de la cime vivante

HeBC—Hauteur effective de la base de la canopée

ICD—Indice du combustible disponible

ICL—Indice du combustible léger

IDIH—Indice du Danger d'Incendie pour l'Herbe

IFM—Méthode de l'indice forêt-météo

IH—Indice de l'humus

IHH—Indice d'Humidité de l'Herbe

IHT—Indice d'humidité en tourbière

IPH—Indice de Propagation dans l'Herbe

IPI—Indice de propagation initiale

IS—Indice de sécheresse

MAHC—Méthode annexe d'humidité des combustibles


MCEDIF—Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt

MHC—Méthode d'humidité des combustibles

PCI—Méthode de prévision du comportement des incendies de forêt

POI—Méthode de prévision des occurrences des incendies de forêt

SCF—Service canadien des forêts



Pour voir plus de publications liées à la foresterie, rendez-vous sur le site Web des publications du Service canadien des forêts à :

scf.rncan.gc.ca/publications