Ressources naturelles Canada
Natural Resources Canada

Approche de définition des classes de la Méthode canadienne de l'Indice Forêt-météo (IFM) fondées sur des données physiques pour l'Ontario

Service canadien des forêts
Centre de foresterie des Grands Lac

Rapport d'information
GLC-X-29F

Canada

Couvrir image photo : Isabelle Chenard, Ministère du Développement du Nord, des Mines, des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario. Services d'urgence, d'aviation et de lutte contre les feux de forêt.

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

Approche de définition des classes de la Méthode canadienne de l'Indice Forêt-météo (IFM) fondées sur des données physiques pour l'Ontario.

Hanes, C. C.[1,2]; Wotton, B.M.[1,2]; McFayden, C.[3] et Jurko, N.[1]

[1] Centre de foresterie des Grands Lacs, Service canadien des forêts, Ressources naturelles Canada, 1219 rue Queen Est., Sault Ste. Marie (Ontario) P6A 2E5

[2]Graduate Department of Forestry, John. H. Daniels Faculty of Architecture, Landscape and Design, University of Toronto, 33 Willcocks, St., Toronto (Ontario) M5S 3B3

[3] Ministère du Développement du Nord, des Mines, des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario, Services d'urgence, d'aviation et de lutte contre les feux de forêt, Centre de la gestion des feux de forêt, région Nord-ouest, 95 Ghost Lake Road, C.P. Box 850, Dryden (Ontario) P8N 2Z5

Canada

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

Aperçu de la nouvelle Canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt : Un rapport par le Service canadien des forêts du groupe de danger de feu (Rapport d'information, GLC-X-29F).

Publié aussi en anglais sous le titre : « An Approach for Defining Physically Based Fire Weather Index System Classes for Ontario »
Hanes, C. C.[1, 2], Wotton, B.M.[1, 2], McFayden, C.[3] and Jurko, N.[1]

Monographie électronique en format PDF.
Comprend des références bibliographiques.
ISBN : 978-0-660-40235-2 ISSN 2562-0746
No de catal. : Fo123-2/29-2021F-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

Liste des tableaux et figures ..... **vi**

Résumé **2**

1.0 Introduction **2**

1.1 Contexte – Définitions actuelles des classes de l'IFM 3

1.2 Interprétation et valeurs critiques pour la gestion des incendies en Ontario 6

2.0 Méthodes **8**

2.1. Définition des relations physiques 8

2.2 Base de données ontarienne sur les incendies, les paramètres météo et les indices de la Méthode IFM 11

3.0. Nouvelles définitions des classes de l'IFM **14**

3.1 Indice du combustible léger (ICL) 14

3.2 Indice de l'humus (IH) 18

3.3 Indice de sécheresse (IS) 22

3.4 Indice de propagation initiale (IPI) 25

3.5 Indice de combustible disponible (ICD) 29

3.6 L'Indice Forêt-Météo (IFM) 32

4.0 Discussion **35**

5.0 Application des nouvelles classes de l'IFM **37**

6.0 Remerciements **37**

7.0 Références citées **38**

Liste des tableaux et figures

Tableau 1. Étendue de l'IFM pour chaque classe, pourcentage de jours d'occurrence dans chaque classe, pourcentage des incendies survenus lors des jours concernés pour chaque classe et occurrence relative des incendies utilisés pour élaborer les classes pour l'Ontario (tel que résumé et présenté dans Stocks, 1971). L'occurrence relative des incendies est le ratio du pourcentage des incendies par rapport au pourcentage de jours dans une classe donnée de l'IFM.

Tableau 2. Étendue des classes actuelles pour chaque indice de la Méthode de l'IFM en usage en Ontario.

Tableau 3. Descriptions interprétatives et valeurs critiques utilisées actuellement (**caractères gras**) pour chaque indice de la Méthode de l'IFM présentement en usage en Ontario. Ces éléments proviennent de plusieurs outils de référence rapides sur le comportement des incendies du NDMNRF (non publiées). Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive, il y a plus d'interprétations dans les divers cours de formation comme le cours de chef d'équipe (S200 Crew Boss).

Tableau 4. Résumé des données sur les conditions météorologiques et les incendies de végétation pour la période d'étude (1990-2019). La superficie brûlée est calculée à partir des incendies dont le périmètre final chevauchait les zones tampons des stations dans chaque région.

Tableau 5. Résumé des nouvelles étendues des classes potentielles pour chaque indice de la Méthode de l'IFM en usage en Ontario.

Tableau 6. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies d'origine humaine (10 ^{e} et 90e percentiles) et de la superficie brûlée par des incendies de causes humaines* pour chaque classe de l'ICL **existante (A)** et **nouvelle (B)** dans les régions du Nord-est (NE), du Nord-ouest (NO) et du Nord (N) de la province, de 1990 à 2019.

Tableau 7. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies causés par la foudre (10e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée par des incendies causés par la foudre* pour chaque classe de l'IH **existante (A)** et **nouvelle (B)** dans les régions du Nord-est (NE), du Nord-ouest (NO) et du Nord (N) de la province, de 1990 à 2019.

Tableau 8. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies (10e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée* en fonction de la profondeur de brûlage pour chaque classe de l'IS **existante (A**) et **nouvelle (B)** dans les régions du Nord-est (NE), du Nord-ouest (NO) et du Nord (N) de la province, de 1990 à 2019.

Tableau 9. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies (10e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée* pour chaque classe de l'IPI **existante (A)** et **nouvelle (B)**, en fonction des vitesses de propagation dans les forêts de pins (C-3), dans les régions du Nord-est (NE) (n=35), du Nord-ouest (NO) (n=25) et du Nord (N) (n=16) de la province, de 1990 à 2019.

Tableau 10. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies (10e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée pour chaque classe de l'ICD **existante (A)** et **nouvelle (B)**, en fonction de la consumation du combustible de surface (CCS) dans les forêts de pins (C-3), dans les régions du Nord-est (NE), du Nord-ouest (NO) et du Nord (N) de la province, de 1990 à 2019.

Tableau 11. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies (10e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée pour chaque classe de l'IFM **existante (A)** et **nouvelle (B)**, en fonction de l'intensité de l'incendie dans les régions du Nord-est (NE), du Nord-ouest (NO) et du Nord (N) de la province, de 1990 à 2019.

Figure 1. Stations utilisées dans l'analyse et leurs zones tampons d'un rayon de 50 km. La couleur des points indique la région à l'étude à laquelle les stations sont rattachées.

Figure 2. ICL et potentiel d'allumage et de combustion soutenue accompagnée de flammes dans le couvert fermé; la ligne orange continue représente le pin. La vitesse de propagation, dans un peuplement de pins à couvert fermé, selon une vitesse du vent fixée à 5 km/h est représentée par la ligne verte en pointillé. L'échelle pour l'ICL n'est pas présentée à 0, car le potentiel d'allumage ne s'élève pas au-dessus de 1 % tant que l'ICL n'est pas à ~60. Les nouvelles classes de l'ICL sont représentées par les barres de couleur, où bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.

Figure 3. Occurrence des incendies de causes humaines en Ontario fondée sur les incendies de résidents et les incendies ferroviaires dont la source d'allumage est principalement dans des types de combustibles de peuplements forestiers sur pied. La figure présente des modèles pour une écorégion du NE près de Sudbury et une autre au NO près de Red Lake. Les classes de l'ICL sont raturées en fonction des étendues, ou bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.

Figure 4. Nouvelles classes pour l'Ontario, basées sur la relation entre l'IH et le nombre d'incendies par coups de foudre (cercles). La figure représente aussi les coups de foudre pour le NE (croix) et le NO (carrés) de l'Ontario, mais les étendues des classes sont fondées sur la relation dans l'ensemble de la province. Les classes qualitatives sont indiquées avec les couleurs suivantes : bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.

Figure 5. Profondeur de brûlage liée à l'indice de sécheresse (IS), par type de combustible de la Méthode PCI, tirée de Groot et al (2009). Les classes qualitatives sont indiquées avec les couleurs suivantes : bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.

Figure 6. A) Relation entre la limite inférieure de l'IPI et la vitesse de propagation pour le type de combustible C-3 utilisée pour définir les nouvelles classes de l'IPI, soit les classes de danger suivantes : bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême. **B)** Relation entre l'étendue complète de l'IPI et la vitesse de propagation pour le type de combustible C-3 représentée par la ligne lisse (selon le modèle de PCI). Les points de données utilisés pour obtenir le modèle sont présentés pour les incendies de cime et les incendies de surface.

Figure 7. A) Relation entre l'ICD et la CCS pour le type C-3 avec différenciation des points d'incendie de surface et d'incendie de cimes. La ligne continue représente le modèle de la PCI pour le type C-3. **B)** Relation entre la vitesse de propagation et l'IPI sans effet du combustible disponible (ligne en pointillé) et avec plusieurs valeurs de l'ICD, y compris l'effet du combustible disponible. **C)** Effet du combustible disponible sur la vitesse de propagation à différentes valeurs de l'IPI.

Figure 8. Relations entre l'IFM et l'intensité pour les types de combustible C-3 en Ontario. La figure **A)** présente les données à 4 500 kW/m maximum, alors que la figure **B)** présente l'ensemble des données. Une distinction est faite entre les données concernant les incendies de cime et celles concernant les incendies de surface. Dans la figure **A)**, les nouvelles classes de l'IFM sont indiquées avec les couleurs suivantes : bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.

Résumé

Les indices de la Méthode canadienne de l'Indice Forêt-météo (IFM) sont communément communiqués et interprétés à l'aide d'un système de classification (Faible, Modéré, Élevé, Extrême) par les agences de gestion des incendies. Les classes qualitatives ont été élaborées à l'échelle provinciale peu de temps après la mise en œuvre nationale de la Méthode de l'IFM, en 1969. Les différentes étendues des classes ont été déterminées à l'aide d'une analyse de la fréquence climatologique, fondée sur l'hypothèse que sur 2 % des jours pendant la saison des incendies, les valeurs de l'IFM devraient être dans la catégorie « Extrême », et que la catégorie « Très faible » représentait les jours dont les valeurs de l'IFM sont à 0. Depuis, ces classes ont été intégrées à la gestion des incendies, et sont, par exemple, couramment utilisées dans les activités de sensibilisation et de formation du public, la préparation opérationnelle de haut niveau, les briefings quotidiens, le programme de formation et plusieurs produits de cartographie. L'étendue des classes a peu ou pas changé depuis leur mise en place. Récemment, le ministère du Développement du Nord, des Mines, des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario (NDMNRF) a fait part de sa volonté de réviser les définitions de ses classes, ce qui arrive à point nommé avec les modifications proposées de la Méthode de l'IFM dans le cadre des initiatives liées à la prochaine génération de la Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt (Groupe de travail sur les dangers d'incendies du SCF, 2021). Ce rapport d'information présente une approche pour la mise à jour des classes qualitatives de la Méthode de l'IFM à l'aide d'une seule association définie par des données physiques (p. ex., taux de propagation ou profondeur de brûlage). Des seuils significatifs sur le plan physique ont alors été choisis à partir d'une nouvelle analyse des ensembles de données du Service canadien des forêts sur le comportement des incendies expérimentaux, des essais d'allumage à petite échelle et d'une sélection de rapports et d'articles pertinents. Les nouvelles classes proposées pour la Méthode de l'IFM ont ensuite été comparées aux classes existantes à l'aide d'une analyse actualisée de la fréquence des occurrences comprenant des données de stations météorologiques et des données recueillies sur les incendies en Ontario de 1990 à 2018. L'analyse en découlant a démontré que même si le NDMNRF conservait la classification existante, des modifications seraient nécessaires, car les valeurs ne reflètent plus les attentes initiales relatives à la fréquence des occurrences. La nouvelle méthodologie, qui s'applique à l'Ontario, n'est pas conçue pour servir de norme à un groupe précis d'utilisateurs. Elle vise à associer un seul procédé significatif sur le plan physique à chaque indice, de façon à ce que les classes aient une plus grande portée en matière d'interprétation et soient mieux liées aux procédés qu'elles servent à décrire. Nous espérons que cette méthodologie et que le présent rapport facilitera des discussions avec d'autres provinces sur la façon dont ces méthodes pourraient être revues et appliquées à l'échelle du pay.

1.0 Introduction

La Méthode canadienne de l'indice forêt-météo (IFM), lancée au Canada en 1969, a été élaborée pour donner des estimations du danger potentiel d'incendie au quotidien en fonction d'observations météorologiques relevées chaque jour à 12 h (heure normale locale) (Van Wagner 1987). Ces observations de la température, de l'humidité relative (relevées à 1,5 m de hauteur dans un endroit à l'abris), de la vitesse du vent (à 10 m de hauteur dans une clairière) et des précipitations accumulées sur 24 h sont utilisées pour calculer trois indices d'humidité qui représentent la teneur en humidité des couches de combustibles de la végétation de surface. Chaque indice est important par rapport à différents aspects de l'activité des incendies dans des types de combustibles typiques de la forêt boréale : la litière et les autres combustibles légers fanés (ICL – Indice du combustible léger), la matière organique superficielle grossièrement tassée de profondeur modérée (IH – Indice de l'humus) et les couches organiques compactes et profondes (IS – Indice de sécheresse). Ces indices sans unité représentent la teneur en humidité relative des couches définies pour une forêt de pins classique (C-3), et ont été mathématiquement transformés de façon à ce qu'une hausse de la valeur représente une baisse de l'humidité (Van Wagner 1987). Ces indices d'humidité sont utilisés pour calculer trois indicateurs relatifs du comportement des incendies, qui suivent le même format (des valeurs supérieures indiquent un plus fort potentiel d'incendie). L'ICL et les données sur le vent sont combinés pour calculer l'indice intermédiaire qui représente la vitesse potentielle de propagation de l'incendie (IPI – indice de propagation initiale). L'IH et une valeur mise à l'échelle de l'IS sont combinés en calculant leur moyenne harmonique afin de représenter un deuxième indice intermédiaire de la quantité totale de combustible disponible (ICD – Indice de combustible disponible). Enfin, l'IPI et l'ICD sont combinés, en suivant une approche semblable à celle de Byram (1959) pour fournir un indicateur sans unité de l'intensité de la ligne de feu. L'IFM, indice final du système, est mis à l'échelle pour augmenter proportionnellement à la longueur de flamme.

L'IFM est la donnée la plus couramment utilisée pour communiquer à la population les dangers d'incendie. À plusieurs fins opérationnelles, les résultats numériques de la Méthode de l'IFM sont communiqués et souvent interprétés à l'aide des classes qui sont désignées par des adjectifs simples, mais informatifs (Faible, Modéré, Élevé, Extrême) (Van Wagner 1987). Ces classements qualitatifs sont souvent appelés « classes de danger d'incendie ». Ces indices ont été élaborés pour être des indicateurs numériques de différents aspects du comportement potentiel d'un incendie, mais les étendues utilisées pour les « classes de danger » qualitatives ont été déterminées en fonction de l'analyse de la distribution de fréquence réalisée à partir de données météorologiques provinciales peu de temps après la mise en œuvre de la Méthode de l'IFM en 1969 (Stocks 1971, Turner 1970 and Kiil et al. 1977); peu de changements ont été apportés depuis.

Les premières discussions sur la possibilité de réévaluer l'approche pour déterminer les étendues associées à ces classes qualitatives pour chaque résultat de la Méthode de l'IFM ont commencé après que le personnel de gestion des incendies du ministère du Développement du Nord, des Mines, des Richesses naturelles et des Forêts de l'Ontario (NDMNRF) ait exprimé sa volonté de revoir les définitions de longue date des classes de danger d'incendie. De plus, dans le cadre de son travail d'élaboration continue de la nouvelle Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt (MCEDIF) (Groupe de travail sur les dangers d'incendies du SCF, 2021), le Service canadien des forêts (SCF) apporte des changements aux calculs utilisés dans la Méthode de l'IFM. Des modifications

de la Méthode de l'IFM sont prévues afin de reproduire l'étendue générale existante des résultats observés, mais il pourrait en résulter certaines différences quant à la fréquence des occurrences des différents indices ou des valeurs d'indices. Dans le cadre de ces modifications, le SCF s'intéresse ainsi à des méthodes visant à déterminer ces classes qualitatives, dans le but de mettre en place des fondements physiques clairs qui permettront d'orienter l'établissement de la nouvelle classification des sorties de la Méthode de l'IFM.

Nous disposons maintenant de plusieurs décennies de données historiques sur les conditions météorologiques et l'activité des incendies pour les analyses, ce qui n'étaient pas disponibles lorsque la classification qualitative est apparue en Ontario. Étant donné la volonté de l'Ontario de réexaminer ses classes actuelles à l'aide de ces données historiques, l'objectif du présent travail était de synthétiser les données historiques de ces dernières décennies à l'aide des définitions actuelles de classification qualitative du NDMNRF pour chaque résultat de la Méthode de l'IFM et d'aborder la définition des classes d'évaluation qualitative du système FWI en utilisant des critères plus physiques. Lors de l'élaboration de ces nouvelles définitions, chaque indice de la Méthode de l'IFM a été associé à un procédé défini physiquement (p. ex., persistance de l'allumage ou intensité de l'incendie) et des seuils significatifs sur le plan physique ont été choisis pour définir chaque étendue des classes. Comme pour l'analyse qui a mené aux définitions des classes qualitatives à l'origine, les résultats quotidiens de la Méthode de l'IFM ont été synthétisés par rapport à la fréquence des occurrences de ces nouvelles classes. Un objectif plus général était d'utiliser l'Ontario comme premier cas type pour étudier l'incidence de cette méthodologie révisée de définition des classes qualitatives et, ainsi, de constituer un point de départ pour l'élaboration de nouvelles orientations pour la classification qualitative du danger d'incendie qui pourrait être utilisée nationalement.

1.1 Contexte – Définitions actuelles des classes de l'IFM

Le danger d'incendie est souvent utilisé pour désigner la susceptibilité d'allumage, la propagation, la résistance à l'extinction et les impacts des incendies de forêt (p. ex., Stocks et al. 1989; Glossaire du CIFFC[1]). Il est impossible de présenter le tableau complet du danger d'incendie avec un seul chiffre ou un seul indicateur de la Méthode de l'IFM. Au lieu de cela, chaque sortie de la Méthode de l'IFM donne des données précises sur certains aspects du potentiel d'incendie (Stock et al. 1989). Pour simplifier l'utilisation et l'interprétation de cette méthode, il est habituel lors de la classification du danger d'incendie de présenter des classes descriptives ou qualitatives (Faible, Modéré, Élevé, Extrême) pour chaque indicateur. Ceci est particulièrement le cas lors des communications relatives à l'IFM destinées à la population. Toutefois, le terme couramment employé de « classe de danger d'incendie » peut-être, à proprement parler, quelque peu trompeur étant donné qu'il n'y a pas un seul résultat de la Méthode de l'IFM qui décrive tous les éléments constituant le danger d'incendie (allumage, propagation, suppression et impacts) sans autres données contextuelles (cause d'allumage, proximité des valeurs, etc.). Il est important de préciser que le NDMNRF n'utilise pas de façon homogène le terme « danger d'incendie » lorsqu'il communique les valeurs de l'IFM, et utilise plus souvent le terme « aléa ». Nous laissons donc tomber les termes « danger » ou « aléa » pour

[1] https://ciffc.ca/sites/default/files/2021-03/CWFM_glossary_v2021-03-18-FR.pdf

décrire les classes à l'aide des descriptions qualitatives et de l'étendue des classes permettant de les distinguer les unes des autres.

En Ontario, les désignations actuelles des classes qualitatives de la Méthode de l'IFM (Faible, Modéré, Élevé, Extrême) et les intervalles numériques définis pour chaque classe sont fondées sur les travaux de Stocks (1971 et 1974). Des travaux semblables ont été réalisés dans certains territoires et provinces du pays afin d'associer les désignations de classes similaires aux résultats de la Méthode de l'IFM. Toutefois, le nombre de classes varie selon les régions (p. ex., Turner 1970 pour la C.-B; Kiil et al. 1977 pour l'Alberta). Une approche d'analyse comparative a été utilisée afin de déterminer les cinq catégories d'origine pour les indices de la Méthode de l'IFM (Stocks 1971). L'étalonnage a commencé en Ontario par une analyse climatologique de la fréquence des occurrences de chaque classe de l'IFM réalisée à l'aide de registres des 85 stations météorologiques réparties sur toute la province et sur une période de six ans (1963-1968). Les classes d'origine allaient de « Très faible » à « Extrême » et étaient fondées sur le résultat de l'IFM (tableau 1). L'hypothèse était que 2 % des jours pendant la saison des feux devraient être dans la catégorie « Extrême », et que la catégorie « Très faible » représentait les jours dont les valeurs de l'IFM sont à 0. En gardant ces limites à l'esprit, la répartition des classes a commencé en se fondant seulement sur les données climatologiques. Stocks (1971) a alors validé les nouvelles classes par rapport aux registres des incendies pour la même période, qui comptaient 3159 incendies. Cette analyse des registres des incendies ne comprenait pas les incendies d'herbes.

Tableau 1. Étendue de l'IFM pour chaque classe, pourcentage de jours d'occurrence dans chaque classe, pourcentage des incendies survenus lors des jours concernés pour chaque classe et occurrence relative des incendies utilisés pour élaborer les classes pour l'Ontario (tel que résumé et présenté dans Stocks, 1971). L'occurrence relative des incendies est le ratio du pourcentage des incendies par rapport au pourcentage de jours dans une classe donnée de l'IFM.

Classe	**Étendue de l'IFM**	**Occurrence en pourcentage**	**Fréquence cumulative**	**Fréquence des incendies en pourcentage**	**Occurrence relative des incendies**
Extrême	23+	2	100	13	6.5
Élevé	11-22	14	98	31	2.2
Modéré	4-10	27	84	29	1.1
Faible	1-3	29	57	19	0.7
Très faible	0	28	28	8	0.3

Ce travail a été approfondi par Stocks (1974) afin d'inclure plus de données sur une période de chevauchement de sept ans dans différentes régions de la province à l'aide de la même répartition des classes de l'IFM que celle présentée dans l'ouvrage de Stocks (1971). L'analyse subséquente a permis de définir des étendues pour chacun des six sorties de la Méthode de l'IFM et comptait 7799 incendies, sans tenir compte des incendies de printemps et d'automne lorsque les stations météorologiques ne fonctionnaient pas. Bien que l'analyse ait révélé quelques différences entre les régions, une méthode provinciale unique de détermination des classes a été considérée comme une simplification raisonnable étant donné que, dans toutes les régions, nous avons observé une

tendance générale montrant que l'occurrence des incendies a augmenté avec une hausse dans les classes de l'IFM. L'étude était fondée sur la même synthèse de la fréquence des occurrences présentée au tableau 1 pour les cinq indices restants de la Méthode de l'IFM. Les étendues résultant pour les classes de la Méthode de l'IFM ont été adoptées par l'Ontario et servent de base aux classes actuelles de la Méthode de l'IFM (tableau 2). La seule différence est le regroupement des classes « Très faible » et « Faible » en une seule classe (« Faible »), entraînant la création des quatre classes qualitatives actuellement en usage. Les classifications actuelles sont utilisées dans de nombreuses procédures opérationnelles et servent également de base pour la symbolisation, le codage couleur et la cartographie des composantes de la Méthode de l'IFM dans divers tableaux et graphiques (p. ex., cartes de briefing) dans le cadre des activités de gestion des incendies menées en Ontario.

Tableau 2. Étendue des classes actuelles pour chaque indice de la Méthode de l'IFM en usage en Ontario.

Classe	ICL	IH	IS	IPI	ICD	IFM
Faible	0-80	0-15	0-140	0-2.2	0-20	0-3
Modéré	81-86	16-30	141-240	2.3-5.0	21-36	4-10
Élevé	87-90	31-50	241-340	5.1-10.0	37-60	11-22
Extrême	91+	51+	340+	10.0+	61+	23+

1.2 Interprétation et valeurs critiques pour la gestion des incendies en Ontario

En fin de compte, ce ne sont pas les valeurs absolues de la Méthode de l'IFM qui sont importantes, mais le comportement de l'incendie résultant un jour donné. Au fil des années, les responsables de la gestion des incendies en Ontario ont élaboré plusieurs descriptions interprétatives et valeurs critiques de comportement des incendies associées aux résultats de la Méthode de l'IFM (tableau 3). Ces valeurs « critiques » représentent généralement des changements considérables dans le comportement de l'incendie attendu. Ces éléments ont été adoptés à partir de règles d'application générale empiriques utilisées dans les processus décisionnels quotidiens ainsi qu'à partir de plusieurs rapports publiés comme lignes directrices interprétatives, essentiellement pour la planification des brûlages dirigés (p. ex. de Groot 1987, Muraro 1975). En plus de ces valeurs critiques utilisées en Ontario, d'autres valeurs critiques utilisées dans tout le pays sont notamment : IH >40 pour l'embrasement des cimes dans certains combustibles de conifères; l'indice de propagation initiale (IPI) >10 utilisé comme règle pour indiquer des vitesses de propagation (VP) très élevées comme enseigné dans le cours avancé en comportement des incendies de forêt (CIFFC 2015). Selon ces interprétations établies et des discussions avec le personnel opérationnel, nous pouvons résumer les utilisations principales suivantes des résultats de la Méthode de l'IFM sur le plan opérationnel.

L'ICL est généralement associé à l'allumage, à la propagation de l'incendie de surface et au potentiel de feux disséminés. L'IH est utilisé pour déterminer le potentiel d'allumage des incendies causés par la foudre et constitue un indicateur potentiel de la profondeur de brûlage. L'IS est utilisé pour indiquer la profondeur de brûlage, le potentiel de feu dormant et la difficulté de suppression, y compris l'extinction finale. Les valeurs critiques de l'IPI sont associées au type d'incendie (p.ex., surface, cimes) qui peut survenir ainsi qu'aux vitesses de propagation attendues. L'ICD est un indicateur de la consumation des combustibles plus grossiers du sol ou en surface, et par conséquent, du potentiel d'intensité accrue de l'incendie. Enfin, l'IFM est utilisé comme indicateur général des dangers d'incendie, en particulier pour les communications destinées à la population, et comme indicateur de l'intensité potentielle de l'incendie et de l'occurrence d'incendies problématiques.

Tableau 3. Descriptions interprétatives et valeurs critiques utilisées actuellement (**caractères gras**) pour chaque indice de la Méthode de l'IFM présentement en usage en Ontario. Ces éléments proviennent de plusieurs outils de référence rapides sur le comportement des incendies du NDMNRF (non publiées). Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive, il y a plus d'interprétations dans les divers cours de formation comme le cours de chef d'équipe (S200 Crew Boss).

Indice	Valeur		Descriptions interprétatives	Classe qualitative
ICL	<74	-	Peu de chance d'allumage	Faible
	75	-	Un certain risque de propagation des incendies de surface, en particulier dans les prairies	Modéré
	80	-	Propagation continue de l'incendie	Élevé
	89	-	**Valeur critique – incendies disséminés s'allument facilement**	Élevé
	90	-	Forte probabilité d'incendies disséminés	Élevé
IH	<15	-	Faible probabilité d'allumage d'incendies causés par la foudre	Faible
	25	**-**	**Valeur critique – combustibles réactifs aux débuts d'incendies causés par la foudre**	Modéré
	<30	-	Probabilité modérée d'incendies causés par la foudre sur des sols peu profonds	Élevé
	50	-	Forte probabilité d'allumage d'incendies causés par la foudre; combustibles moyens disponibles pour la combustion	Extrême
IS	250	-	Un certain risque de brûlage profond attendu prolongeant l'extinction finale	Élevé
	300	**-**	**Valeur critique – Fort risque d'incendies qui se rallument et de feux dormants**	Élevé
	>300	-	Les incendies sont persistants, quantité accrue de feux dormants	Élevé
	500	-	Activité considérable de feu couvant; combustibles grossiers disponibles pour la combustion = probabilité d'incendies d'intensité élevée	Extrême
IPI	<7	-	Essentiellement un incendie de surface	Élevé
	8-15	-	Activité d'incendie de cimes intermittent	Élevé-Extrême
	12	**-**	**Valeur critique – Vitesse de propagation élevée probable**	
	>15	-	Forte probabilité d'incendie de cimes	Extrême
ICD	20	-	Valeur minimale pour l'apparition de brûlage d'automne	Modéré
	80	**-**	**Valeur critique – Problèmes potentiels de comportement des incendies dans les combustibles moyens et grossiers**	Extrême
IFM	<3	-	Activité d'incendie de surface rampant	Faible
	4-10	-	Activité d'incendie de surface faible à modérée	Modéré
	11-22	-	Flambée en chandelle, incendie de cimes intermittent	Élevé
	23	**-**	**Valeur critique – >23 incendie de cimes continu**	Extrême
	≥33	-	Risque de conflagration	Extrême

2.0 Méthodes

2.1. Définition des relations physiques

Le but de cette étude était de fournir pour chacun des six indices de la Méthode de l'IFM des classifications uniques fondées sur des caractéristiques observables précises, facilement interprétables, sur le comportement de l'incendie plutôt que de simplement refléter les données climatologiques régionales et la fréquence des occurrences de chaque indice. L'encadré 1 résume le processus principal à associer à chaque sortie de la Méthode de l'IFM et les sources de données ou modèles utilisés pour déterminer les limites importantes. Ces facteurs ont été sélectionnés à partir des relations connues depuis longtemps à l'intérieur de la MCEDIF (Stocks et al. 1989, Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada, 1992; Wotton 2009) et des relations établies plus récemment (Wotton et Martell 2005, Beverly et Wotton 2007, de Groot et al. 2009, Hirsch et Martell 1996) en plus des valeurs critiques et des critères élaborés par les agences (p. ex., tableau 3).

Encadré 1.

Principales relations physiques utilisées pour définir les classes de l'IFM

ICL – allumage et combustion soutenue accompagnée de flammes selon la nouvelle analyse récente de la base de données sur les feux expérimentaux du SCF (ensemble de données décrit par Paul 1969, Beverly et Wotton 2007).

IH – probabilité d'allumage d'incendies causés par la foudre selon les données sur les coups de foudre et les incendies analysées par Wotton et Martell (2005).

IS – données sur la profondeur de brûlage à l'aide des données de Groot et al. (2009) et de la base de données élargie de la Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI).

IPI – vitesse de propagation dérivée des relations de la Méthode PCI (Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada, 1992).

ICD – quantité de combustible disponible pour la consumation, dérivée de la base de données de la Méthode PCI (Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada, 1992).

IFM – intensité potentielle à la tête du feu, dérivée de la base de données de la Méthode PCI (Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada, 1992) et ses relations utilisées sur le plan opérationnel au Canada afin d'établir les liens entre l'intensité et les limites des ressources d'attaques initiales (tel que résumé dans Hirsch et Martell 1996).

La Méthode de l'IFM a été élaborée pour représenter les conditions à l'intérieur d'une forêt de pins adultes avec un couvert fermé (Van Wagner 1987). Cela restera le type de combustible « standard » dans les mises à jour proposées de la Méthode (Groupe de travail sur les dangers d'incendies du SCF, 2021). Par conséquent, lorsque cela était possible, les données et modèles ont été choisis afin de concorder avec ce type de forêt (le type de combustible C-3 dans la Méthode PCI ou la litière d'aiguilles de pin). Les données et les modèles utilisés pour élaborer les limites de l'étendue des classes qualitatives, à l'exception de la relation de l'IH avec les données sur la foudre de l'Ontario, sont fondés sur les données disponibles dans tout le pays et les modèles largement applicables qui

proviennent en grande partie d'incendies expérimentaux menés dans le cadre de l'élaboration de la Méthode PCI (Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada, 1992). Les limites proposées associées aux classes de la plupart des indices nécessitaient un peu de jugement, sauf s'il existait une relation publiée avec une interprétation directe (p. ex., Hirsch et Martell [1996] pour l'IFM et l'intensité à la tête de l'incendie pour le type C-3).

Certaines lignes directrices générales ont été suivies afin de prendre ces décisions. Tout d'abord, on a tenté de conserver la simplicité et d'utiliser des nombres entiers faciles à retenir. Ensuite, si une limite des nouvelles étendues des classes différait seulement légèrement de ce qui est actuellement utilisé, cela n'a pas été modifié sauf si la limite d'origine était incohérente avec l'interprétation du seuil physique de la nouvelle méthodologie. Enfin, un ensemble de classes a été créé pour l'ensemble de la province (p. ex., aucune stratification des classes pour les différentes régions). L'analyse des données historiques permet de comparer les différentes régions de la province à l'aide de cette approche. Lors d'analyses futures, lorsque les données seront suffisantes, les seuils du processus physique faisant l'objet d'un suivi (p. ex., allumage de l'incendie) pourraient être utilisés pour définir les diverses limites des classes dans les régions où il existe des différences bien établies dans les conditions des combustibles forestiers (ou d'autres facteurs). La valeur opérationnelle des seuils propres à une zone devra être attentivement étudiée (p. ex., utilisation de régions administratives des incendies, écorégions).

Les divisions des classes qualitatives de l'ICL sont fondées sur le potentiel d'allumage et d'une combustion soutenue accompagnée de flammes. Ces modèles ont été élaborés à partir de données collectées dans le cadre du programme d'essais d'allumage d'incendies à petite échelle du SCF (Paul 1969), qui a débuté dans les années 1930 et servant de fondations aux premières méthodes d'évaluation des dangers qui ont évolué en la Méthode de l'IFM. Une analyse récente d'une partie de cet ensemble de données a été décrite dans Beverly et Wotton (2007). Les modèles utilisés ici sont fondés sur une nouvelle analyse plus récente, bien que non publiée, de cet ensemble de données pour la nouvelle MCEDIF (Groupe de travail sur les dangers d'incendies du SCF, 2021). Dans le cadre de ce projet, un modèle de la probabilité de combustion soutenue accompagnée de flammes pour la litière d'aiguilles de pins dans un peuplement de pins modérément dense a été utilisé.

Les divisions des classes de l'IH ont été liées à la probabilité que la foudre cause l'allumage d'un incendie. Les limites d'étendue pour chaque classe qualitative et les interprétations de la signification générale de chaque classe proviennent d'une analyse de la probabilité empirique d'allumage des incendies causés par la foudre pour chaque coup de foudre dans tout l'Ontario, soit une première partie du travail documenté par Wotton et Martel (2005). Les versions mises à jour de la probabilité des incendies dormants déclenchés par la foudre et les modèles d'occurrence des incendies élaborés dans le cadre de cette étude sont utilisés dans la méthode de modélisation des occurrences des incendies causés par la foudre adoptée par la province. Dans cette analyse, qui reposait seulement sur des données sur les incendies, les conditions météorologiques et les coups de foudre, la différence dans la relation de la probabilité d'allumage entre les régions du Nord-ouest (NO) et du Nord-est (NE) a été étudiée étant donné qu'il existe certaines différences en matière d'interprétation régionale des limites qui définissent la limite inférieure du potentiel d'allumage d'incendies causés par la foudre. Les données sur les coups de foudre et, par conséquent, les estimations empiriques de la probabilité sont résumées à l'aide des renseignements sur les éclairs. Un éclair est une décharge composée de un

à plusieurs coups de foudre, le nombre de coups d'un éclair est souvent résumé comme la multiplicité de la foudre.

Les divisions des classes qualitatives pour l'IS ont été fondées sur la profondeur de brûlage attendee, qui sert de substitut aux difficultés de suppression potentiellement présentes dans la phase d'extinction finale d'un incendie. L'analyse documentée par de Groot et al. (2009) regroupait l'ensemble des données sur les incendies expérimentaux de la Méthode PCI et les mesures collectées à partir de plusieurs incendies de végétation dans sept différents types de combustibles. L'analyse et la modélisation de De Groot étaient axées sur la relation entre la consumation de la végétation de surface et l'IS, mais pour établir des étendues de classes faciles à visualiser et à interpréter, la profondeur de brûlage semblait être un élément plus approprié dans le cadre de ce travail. Les données sur la profondeur de brûlage dans le type de combustible C-3 (qui peut être assez variable) étaient insuffisantes. Par conséquent, tous les types de combustibles de la Méthode PCI ont été utilisés.

Les divisions des classes de l'IPI ont été liées à la vitesse de propagation (VP) et caractérisaient d'importantes transitions dans le comportement des incendies en général (incendie de surface jusqu'à l'incendie de cimes continu). Cette interprétation reposait sur l'utilisation du modèle de vitesse de propagation de la Méthode PCI pour les pins matures (C-3), pour être cohérente avec l'utilisation du type de forêt de pins classique de la Méthode de l'IFM. Toutefois, il est évident que la Méthode PCI peut être utilisée pour prédire de façon plus précise le comportement de l'incendie attendu lorsque le type spécifique de combustible local est connu. L'analyse comprenait également les observations d'origine tirées des brûlages expérimentaux et des incendies de végétation utilisées pour créer le modèle C-3 (Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada, 1992).

L'**ICD devait servir à représenter la quantité de combustible disponible pour la combustion** par un front de flamme se déplaçant et par conséquent la contribution de cette consumation du combustible à l'intensité de l'incendie de surface. Le résultat de la consumation du combustible de surface (CCS) de la Méthode PCI pour le type de combustible C-3/C-4 a été choisi comme un bon indicateur physique afin de définir les divisions entre les classes qualitatives. L'ICD est une association mathématique des indicateurs de teneur en humidité (IH et IS), mais il est plus fréquemment utilisé comme indicateur de l'importance de la consumation de l'humus et des débris ligneux. Les valeurs de la CCS observées utilisées pour élaborer les modèles de la Méthode PCI proviennent des brûlages expérimentaux faits dans les types C-3 et C-4.

L'**IFM est un classement numérique de l'intensité potentielle à la tête de l'incendie**, mais les hausses vont de pair avec la façon dont la longueur de la flamme augmente en fonction de l'intensité (en gros comme la racine carrée de l'intensité). Il est utile d'avoir un indicateur fondé sur l'intensité pour indiquer le type d'incendie attendu (surface, embrasement en chandelle, cime, etc.) et ainsi obtenir des renseignements sur l'efficacité et la productivité potentielles des ressources de suppression (Hirsch et Martell 1996; Hirsch et al. 2004). Par conséquent, les nouvelles divisions des classes pour l'IFM étaient fondées directement sur le résultat de la Méthode PCI pour l'intensité à la tête de l'incendie dans le type de combustible C-3 et les limites de l'efficacité des ressources de suppression (dans le type C-3) ont été résumées par Hirsch et Martell (1996). Des renseignements plus détaillés sont fournis ci-dessous pour chaque indice.

Les classements qualitatifs utilisés et le nombre de classes correspondantes suivent les classements actuels utilisés par le NDMNRF (quatre classes : Faible, Modéré, Élevé et Extrême). La combinaison de couleurs choisie pour ces classes est légèrement différente de celle actuellement utilisée par le NDMNRF. Le vert a été supprimé pour aider les personnes atteintes d'une déficience de perception des couleurs à interpréter ces données (Nunez et al. 2018). La classe « Faible » est représentée en bleu, la classe « Modéré » en jaune, « Élevé » en orange et « Extrême » en rouge.

2.2 Base de données ontarienne sur les incendies, les paramètres météo et les indices de la Méthode IFM

Les données historiques des stations météorologiques du NDMNRF de 1990 à 2019 ont été compilées pour comparer la fréquence des occurrences entre les anciennes classes qualitatives de la Méthode de l'IFM (Stocks 1971 et 1974) et les nouvelles. Des stations ont été choisies afin d'être intégrées à l'analyse lorsque des conditions météorologiques quotidiennes ont été rapportées pendant au moins cent jours durant une saison des incendies sur une période minimale de 20 ans. Cela a permis d'obtenir des données sur une bonne partie de la province, mais certaines régions ne sont pas représentées (basses terres de la baie d'Hudson) en raison de limites liées aux stations (figure 1). Les données des stations météorologiques et les données historiques du positionnement des incendies ont été combinées dans un Système d'Information Géographique (SIG) afin de trouver une répartition spatiale des stations offrant un échantillonnage raisonnable de toute la province. Ainsi, les synthèses statistiques produites peuvent être considérées comme représentatives des régions de gestion des incendies en Ontario. Cela permet ainsi de réduire l'impact statistique des stations individuelles dans l'analyse. Au fil des décennies, de nombreuses stations météorologiques ont été déplacées et renommées pour diverses raisons opérationnelles. Pour améliorer la répartition spatiale de nos sous-ensembles de stations météorologiques dans la province, les stations proches les unes des autres, mais ayant relevé moins de 20 ans de données ont été combinées et une valeur moyenne a été utilisée pour leur emplacement. Au total, 90 stations ont été sélectionnées et combinées pour inclure 75 stations dans toute la province. Pour analyser l'activité des incendies, les données historiques sur les incendies des archives ont été associées à celles des stations météorologiques en utilisant des zones tampons d'un rayon de 50 km (figure 1). Certaines zones tampons se chevauchent et les données sur les incendies de ces deux zones ont été associées aux deux stations. Toutefois, ce chevauchement n'a pas d'incidence sur l'évaluation relative de l'occurrence des incendies utilisée dans cette analyse. Les résultats quotidiens de la Méthode de l'IFM ont été classifiés en classes qualitatives à l'aide de la méthode de classification existante (tableau 2) ou des classes nouvellement définies (tableau 4), créant ainsi deux principaux ensembles de données de classement qualitatif dans la province pour la période à l'étude. Les résumés des deux méthodes de classification actuelles et les nouvelles étendues de classification proposées sont présentés pour chaque sortie de la Méthode de l'IFM à la section 3.0.

En comparant les classes qualitatives existantes et celles proposées, les ensembles de données ont été résumés à l'échelle provinciale et entre les trois régions géographiques étudiées. Ces régions correspondent généralement aux régions de gestion des incendies du Nord-Est (NE) et du Nord-Ouest (NO), sauf pour un ensemble de stations au Nord (N), qui correspondaient généralement aux anciennes régions boréales du Nord et de la Baie d'Hudson utilisées lors de la Stratégie de gestion des

incendies 2004-2014 du NDMNRF. Nous appelons ces stations très au Nord les stations de la région du Nord de l'étude et les autres régions du Nord-Ouest et du Nord-Est (figure 1). Dans chaque station, la fréquence d'occurrence quotidienne de chaque classe qualitative a été estimée en additionnant le nombre de jours au cours desquels une classe est survenue pendant la saison des incendies et en divisant ce chiffre par le nombre total de jours de relevés pour la station (tableau 1). Le nombre d'incendies survenus dans une zone tampon de 50 km autour de la station par rapport à chaque classe (déterminé par les résultats de la Méthode de l'IFM à la date de début estimée) a également été totalisé et divisé par le nombre total d'incendies survenus en général dans la zone tampon de la station. La superficie brûlée par les incendies (dans chaque zone tampon de la station) a également été associée à la classe qualitative du résultat de la Méthode de l'IFM à la date de début de l'incendie et résumée sur la période de l'étude. Cela a permis d'obtenir une estimation du pourcentage de superficie brûlée par les incendies à ce point pour chaque classe. La superficie brûlée est un indicateur imparfait pour tirer des conclusions sur l'activité des incendies de végétation, en raison de l'incidence démesurée d'incidents d'envergure très rares. C'est aussi un élément problématique dans le cadre de cette étude où nous examinons seulement les indices des dangers d'incendie le premier jour de l'incendie. Nous l'intégrons comme s'il s'agissait d'un indicateur courant de l'activité de l'incendie, toutefois, il ne faut pas tirer de conclusions à ce sujet, bien que ce soit fortement sous-entendu. Les valeurs de la Méthode de l'IFM peuvent radicalement changer au cours d'un incendie et la majorité de la superficie brûlée ne survient pas à la date de début de l'incendie. Par conséquent, il est important de tenir compte de ces éléments en lisant les résultats. Les résumés statistiques de la fréquence des classes pour chaque station et sa zone tampon de 50 km variaient considérablement (même pour les stations se trouvant dans la même région). Cette variation d'une station à l'autre s'explique principalement par la nature épisodique de l'occurrence et de la propagation des incendies. Cette variabilité d'une station à l'autre n'a pas été résumée dans les rapports précédents sur la fréquence des occurrences des diverses classes pour les résultats de la Méthode de l'IFM (p. ex., Stocks 1974). Toutefois, ces valeurs estimées à chaque station peuvent donner une indication utile de la variabilité d'un site à un autre grâce à de simples synthèses statistiques. Elles peuvent être très utiles pour comprendre si les différences observées d'une région (ou station) à l'autre sont significatives. Pour bien saisir l'ampleur de cette variabilité, les estimations de l'occurrence des classes dans chaque station ont été résumées pour les trois régions décrites ci-dessus. Afin de définir l'occurrence quotidienne et l'occurrence des incendies, le 10e percentile et le 90e percentile ont été estimés à partir de la répartition des valeurs dans chaque région. Ceci a été utilisé afin d'établir un intervalle d'occurrence de 80% pour ces valeurs. En raison de la forte variabilité de la superficie brûlée (qui peut être fortement influencée par un seul incendie), seule une valeur globale unique a été rapportée pour chaque région.

Tableau 4. Résumé des données sur les conditions météorologiques et les incendies de végétation pour la période d'étude (1990-2019). La superficie brûlée est calculée à partir des incendies dont le point milieu chevauchait les zones tampons des stations dans chaque région.

Régions à l'étude	Nord	Nord-est	Nord-ouest	Ontario (total)
Nombre de stations	16	34	25	75
Nombre d'incendies	2 743	16 151	13 297	32 191
Superficie brûlée totale (hectares)	2 305 261	297 253	907 609	3 510 123

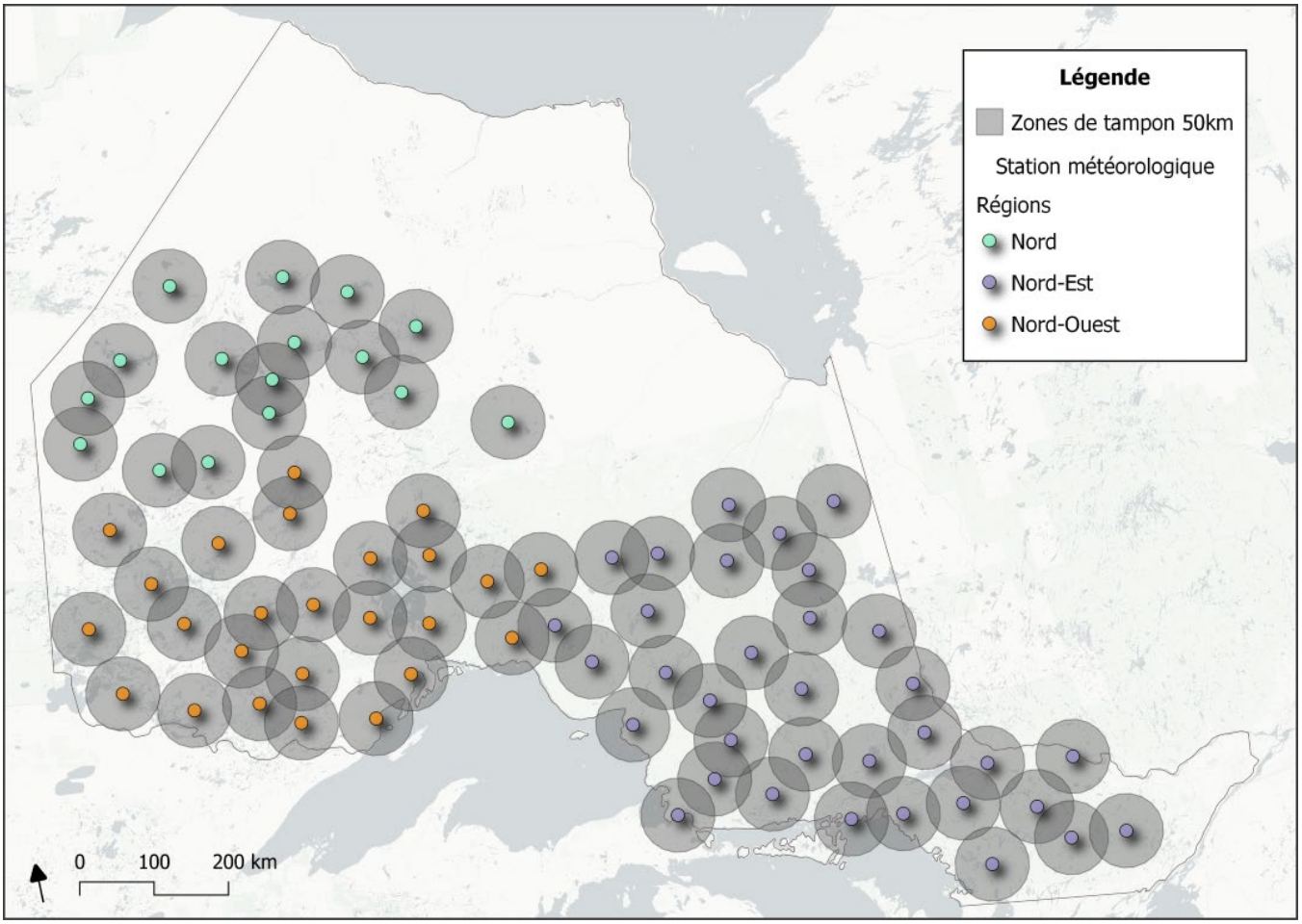


Figure 1. Stations utilisées dans l'analyse et leurs zones tampons d'un rayon de 50 km. La couleur des points indique la région à l'étude à laquelle les stations sont rattachées.

3.0. Nouvelles définitions des classes de l'IFM

Les nouvelles divisions de classes proposées pour chaque sortie de la Méthode de l'IFM sont présentées ci-dessous dans le tableau 5. Les renseignements sur leur élaboration et leur occurrence historique se trouvent dans les sous-parties suivantes. Dans chaque tableau (6 à 11), le résumé présenté des définitions des classes qualitatives actuelles (tableau 2) apparaît dans le premier tableau (6A à 11A). Cela permet de comparer ces données aux statistiques résumées par Stocks (1971, 1974). Les intervalles de confiance de 80 % pour le pourcentage de valeurs de l'occurrence devraient permettre d'améliorer l'évaluation de la signification des différences observées dans les trois régions à l'étude.

Tableau 5. Résumé des nouvelles étendues des classes potentielles pour chaque indice de la Méthode de l'IFM en usage en Ontario.

Classe	ICL	IH	IS	IPI	ICD	IFM
Faible	0-75	0-10	0-70	0-4	0-20	0-3
Modéré	>75-85	>10-25	>70-190	>4-7	>20-40	>3-10
Élevé	>85-90	>25-55	>190-300	>7-10	>40-80	>10-20
Extrême	≥90	>55	>300	>10	>80	>20

3.1 Indice du combustible léger (ICL)

La probabilité d'allumage et de combustion soutenue accompagnée de flammes pour les aiguilles avait initialement été calculée à partir de données de teneur en humidité de la litière ayant été converties en ICL à l'aide de l'équation standard (Van Wagner 1987) et une vitesse de vent établie à 5 km/h (figure 2). Le modèle pour la probabilité d'allumage provient d'analyses faites dans le cadre de l'élaboration de la nouvelle MCEDIF, mais n'ayant pas encore été publiées. Ce modèle correspond à l'allumage de la litière composée d'aiguilles de pins d'un peuplement au couvert modérément fermé. Les nouvelles divisions des classes qualitatives présentées ici reflètent les différentes probabilités qu'un petit tison incandescent mène à un allumage suivi d'une combustion soutenue accompagnée de flammes, en tenant compte de la vigueur de cette propagation potentielle. Ces classes, telles que définies, pourraient être utilisées pour interpréter le potentiel d'occurrence des incendies d'origine humaine ou le potentiel de feux disséminés. Il est toutefois reconnu que l'ICL est également fréquemment utilisé par les responsables de la gestion des incendies comme indicateur de la propagation de l'incendie de surface. Par conséquent, à titre de référence, la vitesse de propagation fondée sur une vitesse du vent de 5 km/h est également indiquée (figure 2). Cela pourrait donner une certaine indication du potentiel de propagation en cas d'allumage, tel que causé par un feu disséminé, dans des conditions de vent léger. Toutefois, l'IPI de la Méthode de l'IFM doit donner aux responsables de la gestion des incendies une meilleure indication de la vitesse de propagation potentielle.

Les divisions entre les classes qualitatives ont été choisies principalement en tenant compte des limites significatives dans la probabilité d'allumage, avec certains renseignements supplémentaires tirés du modèle de vitesse de propagation de la Méthode PCI pour le type C-3 utilisé pour assurer une cohérence logique (tableau 6B). La règle générale selon laquelle, lorsque l'ICL est <75, il y a peu de

risque d'allumage semble se vérifier (figure 2). Si les incendies s'allument et se propagent dans de telles conditions, la vitesse de propagation sera d'environ 1 m/min, ce qui est relativement lent (Muraro 1975). Par conséquent, un ICL de 75 a été choisi comme limite supérieure pour la classe « Faible ». La limite supérieure de 85 a été choisie pour la classe « Modéré » afin de maintenir le potentiel d'allumage en dessous de 50 %. La classe « Élevé » a une limite d'ICL de 90 avec un potentiel d'allumage supérieur à 50 % et une vitesse de propagation potentielle supérieure à 5 m/min. Enfin, la classe « Extrême » est >90 lorsque le potentiel d'allumage est plus près de 70 % et plus, avec une vitesse de propagation de plus de 6,5 m/min.

Étant donné que l'ICL est équivalent au potentiel d'allumage soutenu et, par conséquent, un indicateur de l'occurrence des incendies (p. ex., Woolford et al. 2021), les nouvelles classifications ont été examinées avec les données historiques sur l'occurrence des incendies d'origine humaine dans deux écorégions au Nord-est et au Nord-ouest de l'Ontario (Figure 3). Les nouvelles étendues des classes semblent représenter de manière générale les zones critiques où une hausse de l'occurrence des incendies d'origine humaine est attendue avec la hausse de l'ICL, plus particulièrement, la hausse fortement exponentielle à des valeurs égales ou supérieures à 90. Le tableau 6B révèle que la majorité de la saison des incendies se trouve dans les classes « Faible » et « Modéré », alors que l'activité accrue des incendies, en particulier de la superficie brûlée, a tendance à se trouver principalement dans les classes « Élevé » et « Extrême ».

Tableau 6. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies d'origine humaine (10 e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée par des incendies de causes humaines* pour chaque classe de l'ICL **existante (A)** et **nouvelle (B)** dans les régions du Nord-est (NE), du Nord-ouest (NO) et du Nord (N) de la province, de 1990 à 2019.

A)

Classes de la Méthode de l'IFM		Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies d'origine humaine (%)			Superficie brûlée par les incendies d'origine humaine (%)*		
	ICL	NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO
Faible	≤80	44-54	48-56	49-57	14-26	8-28	0-36	1	0	0
Modéré	≥81-≤86	20-26	19-25	19-23	15-30	16-32	0-25	1	6	28
Élevé	≥87-≤90	18-28	16-24	18-24	36-47	32-49	21-60	23	22	48
Extrême	≥91	3-9	3-8	3-8	9-21	9-25	0 - 41	75	71	24

B)

Classes de l'ICL		Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies d'origine humaine (%)			Superficie brûlée par les incendies d'origine humaine (%)*			Interprétation :
	ICL	NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO	
Faible	0-75	35-42	38-45	39-45	6-17	8-19	0-21	0	0	0	Faible probabilité d'allumage dans C-3 (<15 %)
Modéré	>75-85	24-32	24-30	24-29	17-30	14-29	0-29	1	6	28	Probabilité d'allumage dans C-3 modérée (<50 %)
Élevé	>85-90	24-32	22-30	23-30	40-54	40-56	21-66	23	22	48	Forte probabilité d'allumage dans C-3 (> 50 %)
Extrême	>90	3-9	3-7	3-8	9-21	9-25	0-41	76	71	24	Très forte probabilité d'allumage dans C-3 (> 65 %)

* Cela représente la valeur moyenne globale entre toutes les stations, car les valeurs liées à la superficie brûlée étaient trop variables d'une station à l'autre pour créer une étendue significative. Ces valeurs étant des estimations arrondies indépendantes de la valeur médiane de chaque catégorie, le total n'atteint pas 100 %, en particulier lorsque les distributions sont très asymétriques, comme celles associées à la superficie.

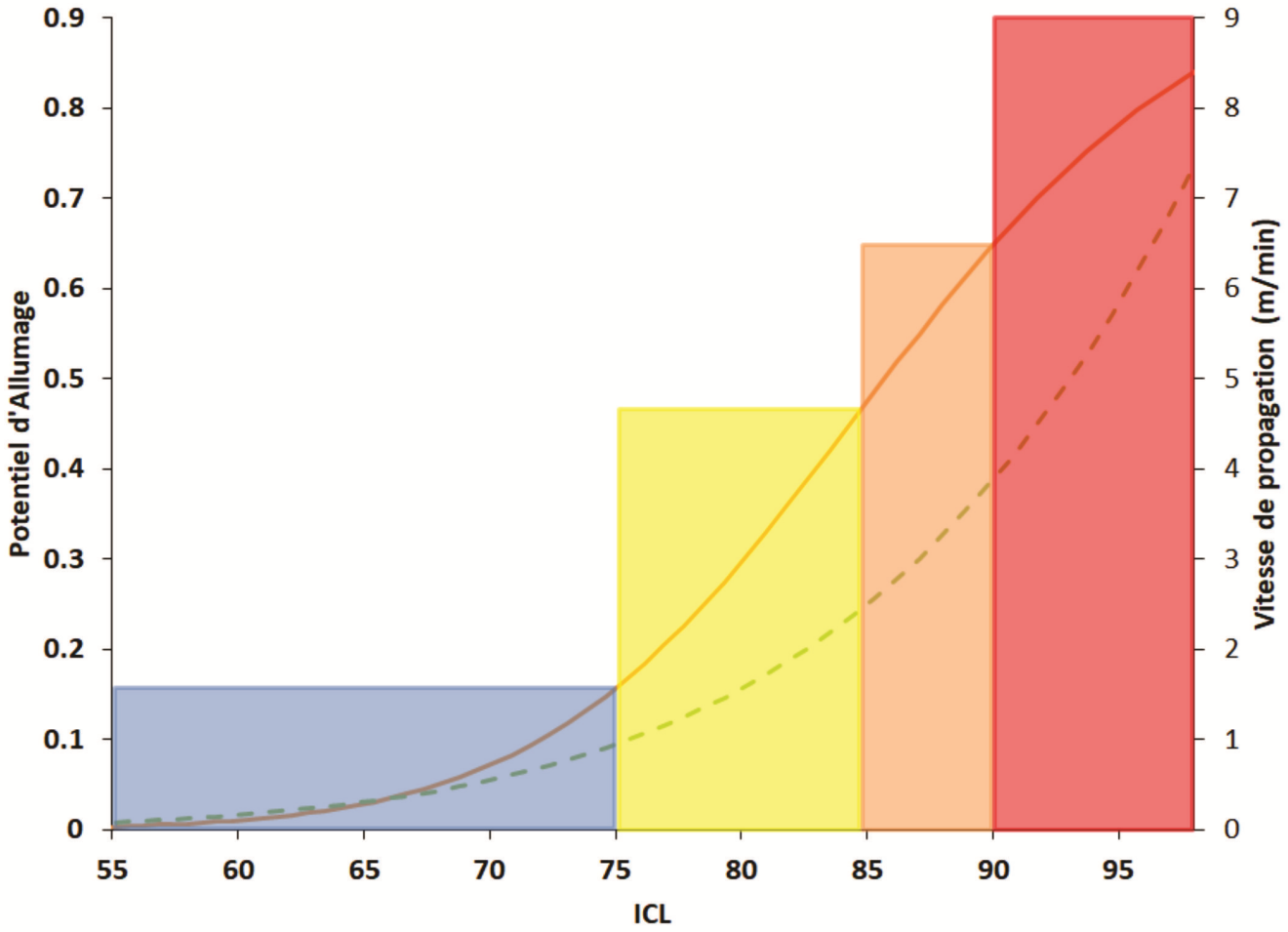


Figure 2. ICL et potentiel d'allumage et de combustion soutenue accompagnée de flammes dans le couvert fermé; la ligne orange continue représente le pin. La vitesse de propagation, dans un peuplement de pins à couvert fermé, selon une vitesse du vent fixée à 5 km/h est représentée par la ligne verte en pointillé. L'échelle pour l'ICL n'est pas présentée à 0, car le potentiel d'allumage ne s'élève pas au-dessus de 1 % tant que l'ICL n'est pas à ~60. Les nouvelles classes de l'ICL sont représentées par les barres de couleur, où bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.

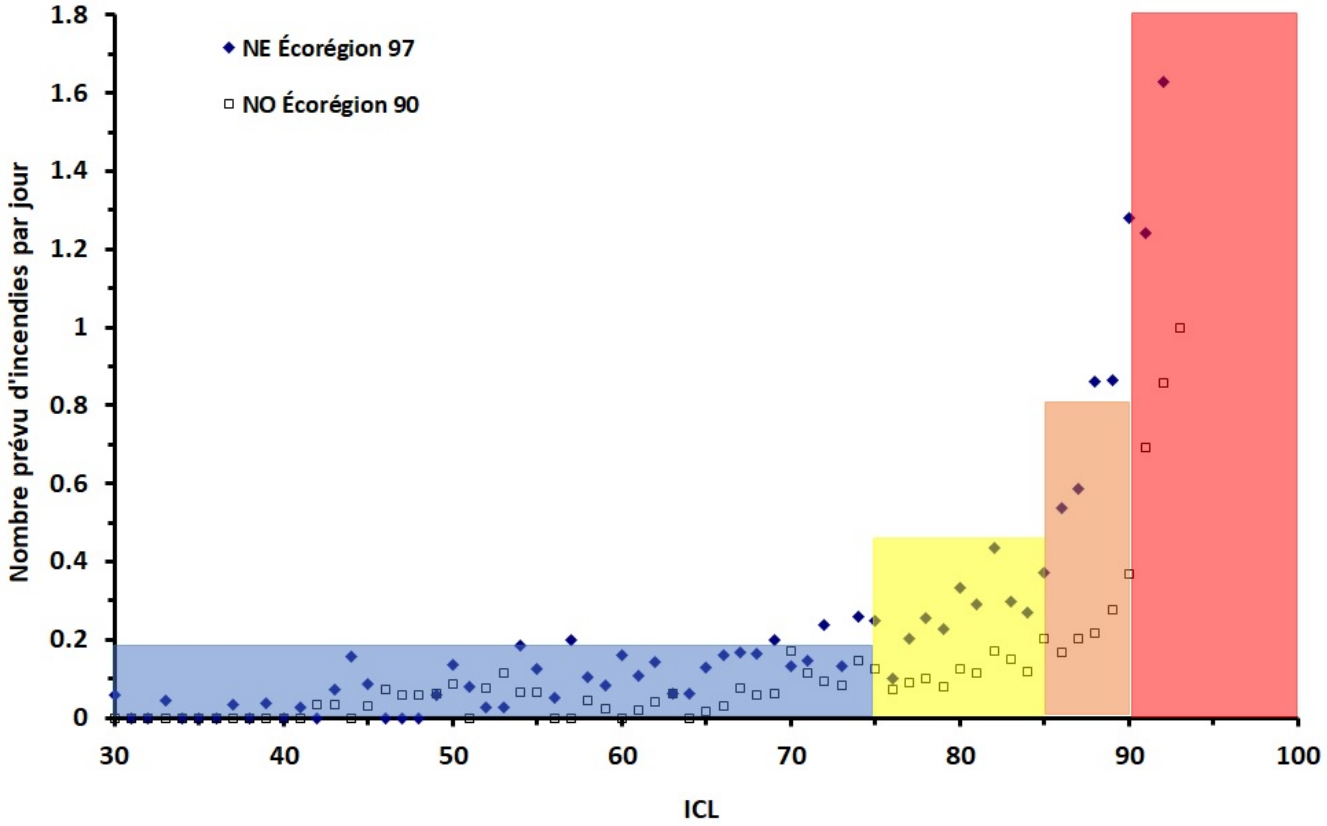


Figure 3. Occurrence des incendies de causes humaines en Ontario fondée sur les incendies de résidents et les incendies ferroviaires dont la source d'allumage est principalement dans des types de combustibles de peuplements forestiers sur pied. La figure présente des modèles pour une écorégion du NE près de Sudbury et une autre au NO près de Red Lake. Les classes de l'ICL sont raturées en fonction des étendues, ou bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.

3.2 Indice de l'humus (IH)

Bien qu'il semble y avoir quelques différences dans la probabilité d'allumage des incendies causés par la foudre pour chaque coup de foudre entre les régions du NE et du NO de la province (figure 4), les nouvelles classes proposées pour ce rapport ont été définies pour l'ensemble de la province, et représentent un compromis entre les régions du NE et du NO. Si les gestionnaires des opérations ont besoin d'étendues de classes distinctes, celles-ci peuvent être élaborées pour différentes régions à l'aide de l'ensemble de données. Toutefois, les synthèses présentées aux tableaux 7A et 7B montrent un chevauchement considérable dans l'étendue des 10e et les 90e percentiles, ce qui suggèrent qu'il y a peu de valeur pratique à avoir deux définitions de classification distinctes pour la province, considérant aussi la complexité additionnelle. Les limites des classes proviennent des données empiriques sur les incendies causés par la foudre par rapport aux coups de foudre présentées à la figure 4. La probabilité d'allumage dans la classe « Faible », en dessous d'un IH de 10, est assez uniforme dans le NE et le NO. La partie supérieure de cette classe représente le point où, en moyenne, un millier de coups de foudre se produisent pour chaque incendie allumé par la foudre. La partie supérieure de la classe « Modéré », avec un IH de 25, représente le point où, environ un coup de foudre sur 200 entraîne l'occurrence d'un incendie, soit cinq fois le taux d'occurrence de la catégorie « Faible ». La figure 4 montre que ce niveau de d'allumage potentiel est atteint à un IH

inférieur à l'Ouest et supérieur à l'Est. Ceci est aussi la tendance pour les classes « Élevé » et « Extrême », jusqu'à un IH de 65, point où la végétation de surface est très sèche et où il n'y a plus de différence entre les régions. La limite supérieure de la classe qualitative « Élevé » a un IH = 55, ce qui représente un incendie tous les 50 coups de foudre (soit environ quatre fois le taux de la limite supérieure de la classe « Modéré » et 20 fois le taux de la classe « Faible »). Dans la classe « Extrême », l'IH >55, en moyenne moins de 50 coups de foudre sont nécessaires pour allumer un incendie causé par la foudre.

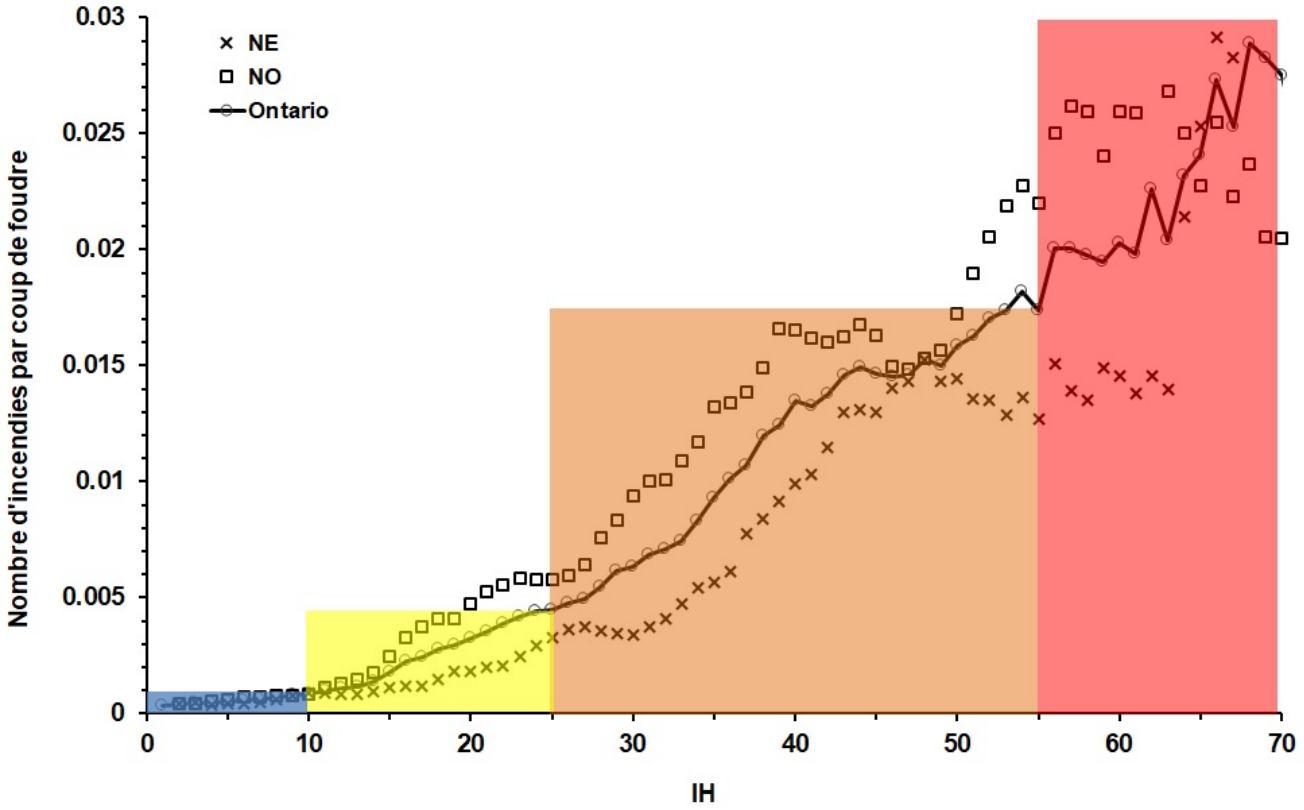


Figure 4. Nouvelles classes pour l'Ontario, basées sur la relation entre l'IH et le nombre d'incendies par coups de foudre (cercles). La figure représente aussi les coups de foudre pour le NE (croix) et le NO (carrés) de l'Ontario, mais les étendues des classes sont fondées sur la relation dans l'ensemble de la province. Les classes qualitatives sont indiquées avec les couleurs suivantes : bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.

Alors qu'environ un tiers à la moitié des jours dans la province sont classifiés comme ayant un potentiel d'allumage d'un incendie causé par la foudre « Faible » (tableau 7B), le plus grand pourcentage d'occurrence des incendies se trouve dans les classes « Modéré » et « Élevé »; malgré que la majorité de la superficie brûlée en raison des incendies causés par la foudre se trouve dans la classe « Élevé », en particulier pour le N. Dans la région du NE, la superficie brûlée est plus importante dans la classe « Extrême » (46 %) qu'au NO (16 %) et au N (17 %). Cette différence pourrait s'expliquer par la hausse du nombre d'incendies causés par la foudre à la limite supérieure de l'échelle de l'IH au NE (figure 4), ou être simplement le résultat de la variabilité associée à la rareté des jours où l'IH est >55, ainsi qu'à la faible fréquence et la forte incidence des grands incendies. Dans l'ensemble,

l'étendue des classes semble représenter de façon raisonnable le potentiel d'allumage des incendies causés par la foudre.
La performance du réseau de capteurs de détection de la foudre se reflète de façon inhérente dans ces relations empiriques du ratio coup de foudre/incendie. Deux différents réseaux de capteurs fonctionnant simultanément pourraient potentiellement donner des densités de détection différentes, et par conséquent, des relations absolues différentes. Les données résumées ici utilisent les renseignements sur les éclairs, c'est-à-dire, qu'un seul « coup de foudre » est défini de façon plus formelle comme un seul « éclair » qui pourrait entraîner plusieurs décharges de retour. Ceci devrait être cohérent avec les données du réseau de détection de la foudre en Ontario utilisées avant 2013 et le type de données fournies par les services de détection de la foudre actuels de l'Ontario, à compter de 2020. Par conséquent, les ratios coup de foudre/incendie utilisés ici sont plus descriptifs que prédictifs, étant donné la variation des systèmes de détection de la foudre et de la performance au cours des décennies précédentes.

Tableau 7. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies causés par la foudre (10e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée par des incendies causés par la foudre* pour chaque classe de l'IH **existante (A)** et **nouvelle (B)** dans les régions du Nord-est (NE), du Nord-ouest (NO) et du Nord (N) de la province, de 1990 à 2019.

A)

Classes de la Méthode de l'IFM		Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies causés par la foudre (%)			Superficie brûlée par les incendies causés par la foudre (%)*		
	IH	NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO
Faible	0-15	41-56	46-57	48-63	9-18	9-23	4-22	1	21	3
Modéré	16-30	29-34	29-34	27-33	17-38	28-48	22-47	12	18	20
Élevé	31-50	11-18	10-15	7-15	20-42	20-38	19-43	41	34	41
Extrême	>50	3-7	2-5	2-5	11-45	7-25	6-28	47	28	36

B)

Classes de l'IH	IH	Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies causés par la foudre (%)			Superficie brûlée par les incendies causés par la foudre (%)*			Interprétation :
		NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO	
Faible	0-10	24-38	29-40	29-46	1-8	2-11	1-9	0	0	0	Nombre élevé de coups de foudre en moyenne par incendie (p. ex., >1000 coups de foudre**); allumage improbable
Modéré	>10-25	40-44	40-45	39-44	18-41	26-44	22-43	3	30	16	Nombre modéré de coups de foudre en moyenne par incendie (p. ex., >200, mais <1000**); allumage possible à un certain degré
Élevé	>25-55	19-28	17-25	13-24	35-60	35-53	38-63	51	53	66	Faible nombre de coups de foudre en moyenne par incendie (p. ex., >50, mais <200**); probabilité accrue d'allumages multiples
Extrême	>55	2-5	1-3	1-4	7-39	2-23	4-23	46	16	17	Nombre très faible de coups de foudre en moyenne par incendie (p. ex., <50**); très forte probabilité d'allumages multiples

* Cela représente la valeur médiane globale entre toutes les stations, car les valeurs liées à la superficie brûlée étaient trop variables d'une station à l'autre pour créer une étendue significative. Ces valeurs étant des estimations arrondies indépendantes de la valeur médiane de chaque catégorie, le total n'atteint pas 100 %, en particulier lorsque les distributions sont très asymétriques, comme celles associées à la superficie.

**** Il s'agit de relations théoriques fondées sur les données des systèmes de détection de la foudre utilisées pour l'analyse. Elles pourraient changer avec d'autres systèmes de détection, elles ne doivent pas être interprétées comme des règles strictes.**

3.3 Indice de sécheresse (IS)

La profondeur de brûlage a été utilisée pour donner une certaine idée des problèmes potentiels de brûlage persistant et d'extinction finale en lien avec l'IS. Les données utilisées pour définir la relation entre la profondeur de brûlage et l'IS proviennent des ensembles de données sur les brûlages expérimentaux de la Méthode PCI pour une gamme de types de combustibles de forêts de conifères et de forêts mixtes. Il y a beaucoup de variations dans les données (figure 5), même au sein de certains types de combustibles. Toutefois, nous pouvons commencer à visualiser l'étendue des classes associées aux tendances augmentant la profondeur de brûlage dans la végétation de surface. Dans certaines zones, la consumation de la végétation de surface serait limitée par le combustible disponible (profondeur de la végétation de surface elle-même), par conséquent, les interprétations de ces classes ne s'appliquent qu'aux zones où la profondeur de la matière organique est suffisante pour maintenir la combustion d'un feu couvant. La partie supérieure de la catégorie « Faible », où l'IS = 70, a été choisie afin de représenter le brûlage dans les quelques premiers centimètres de l'humus seulement (figure 5). Cela correspond à une consumation de la végétation de surface de <0,5 kg/m^2 (de Groot et al. 2009) et est sans doute cohérent avec l'absence de feu couvant persistant après le passage du front de flamme principal. La classe « Modéré », où l'IS = 70-190, est associée au brûlage jusqu'à 5 cm de profondeur (végétation de surface <1 kg/m^2), ce qui, pour de fines strates d'humus pourrait entraîner la combustion jusqu'au sol minéral, mais ne devrait pas entraîner d'importants problèmes d'extinction finale. Un IS de 300 a été choisi pour la partie supérieure de la classe « Élevé », ce qui indique un brûlage potentiel plus profond d'à peine moins de 15 cm (consumation de la végétation de surface <1,5 kg/m^2). La classe « Extrême » survenait par conséquent lorsque l'IS état >300. Il s'agit d'une limite supérieure où certains ont observé la possibilité de problèmes importants d'extinction finale (Hirsch et Martell 1996, Muraro 1975) et une profondeur de brûlage pouvant dépasser 15 cm (figure 5).

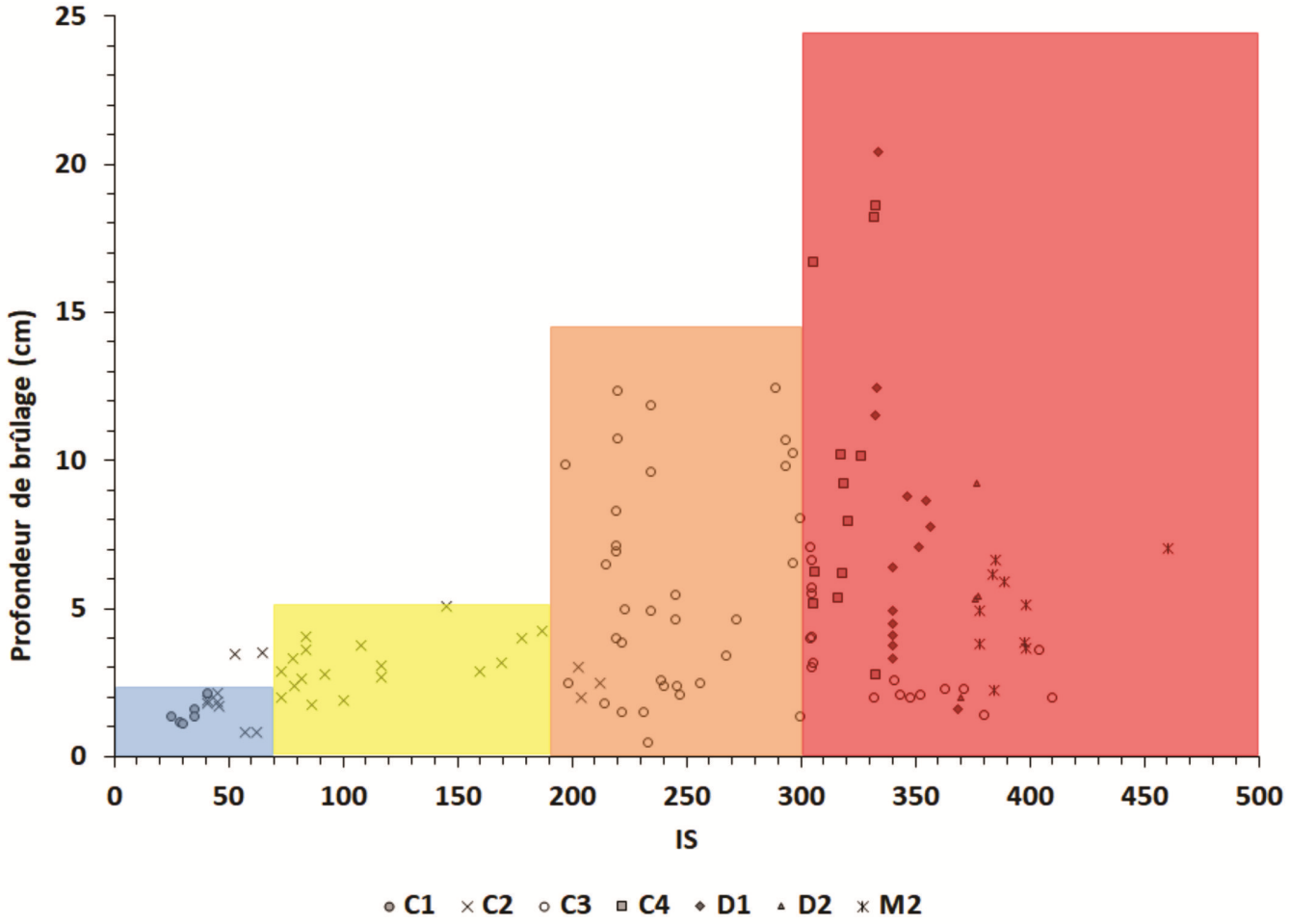


Figure 5. Profondeur de brûlage liée à l'indice de sécheresse (IS), par type de combustible de la Méthode PCI, tirée de Groot et al (2009). Les classes qualitatives sont indiquées avec les couleurs suivantes : bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.

Les classes qualitatives résultantes commencent à un IS inférieur à celui utilisé actuellement (tableau 2 et tableau 8A), mais l'occurrence des incendies qui en découle est raisonnablement répartie sur la saison des incendies (tableau 8B) avec l'occurrence la plus importante observée à la classe « Modéré » où la majorité de la superficie brûlée survient. Le NO a une superficie brûlée de 53 % par rapport à la classe de l'IS « Modéré » à « Élevé ». La valeur de la superficie brûlée était la plus élevée dans la classe « Modéré ».

Tableau 8. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies (10e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée* en fonction de la profondeur de brûlage pour chaque classe de l'IS **existante (A)** et **nouvelle (B)** dans les régions du Nord-est (NE), du Nord-ouest (NO) et du Nord (N) de la province, de 1990 à 2019.

A)

Classes de la Méthode de l'IFM	IS	Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies (%)			Superficie brûlée par les incendies (%)*		
		NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO
Faible	0-140	43-55	50-63	48-61	17-44	21-47	19-50	60	52	31
Modéré	141-240	24-35	24-33	30-36	20-37	22-44	23-51	24	33	35
Élevé	241-340	12-19	8-15	8-16	12-32	15-30	13-31	11	10	30
Extrême	>340	3-8	1-6	1-4	7-28	4-20	0-10	6	5	4

B)

Classes de l'IS	IS	Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies (%)			Superficie brûlée par les incendies (%)*			Interprétation :
		NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO	
Faible	0-70	19-29	24-34	20-29	4-25	5-23	2-22	21	29	3	Brûlage probable dans les quelques premiers centimètres de l'humus
Modéré	>70-190	40-45	42-48	44-53	21-38	28-48	36-51	53	45	45	Brûlage jusqu'à 5 cm, peut descendre jusqu'au sol minéral dans certaines régions
Élevé	>190-300	22-27	17-24	19-28	21-36	22-40	20-43	17	19	39	Brûlage plus profond jusqu'à 15 cm, lorsque la profondeur du combustible le permet
Extrême	>300	6-14	3-11	3-8	16-40	9-33	0-20	9	7	12	Brûlage bien plus profond possible lorsque les charges de combustible le permettent, possibilité d'une extinction finale importante

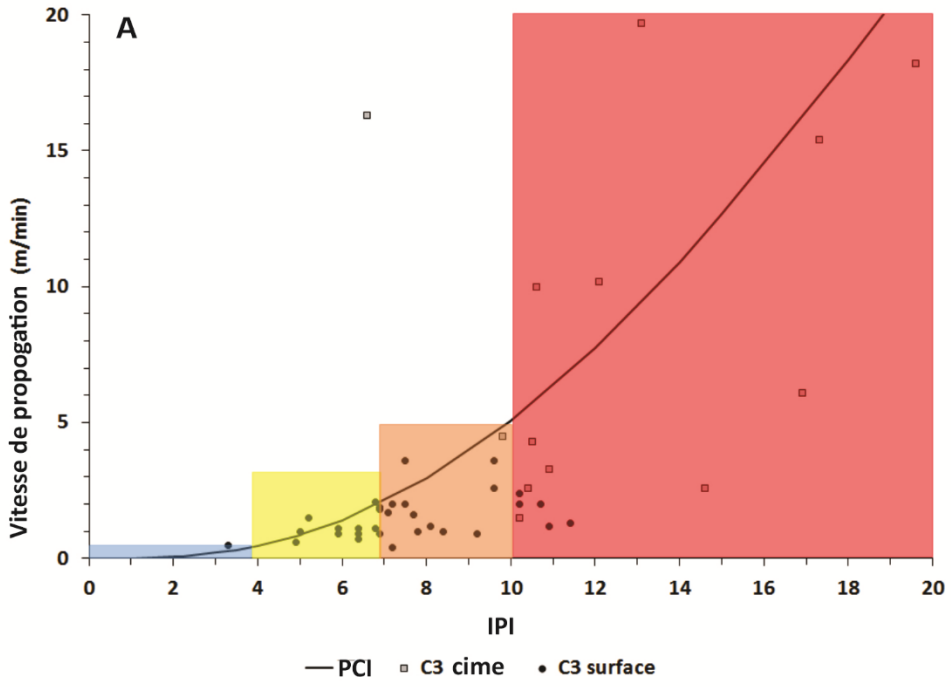
* Cela représente la valeur médiane globale entre toutes les stations, car les valeurs liées à la superficie brûlée étaient trop variables d'une station à l'autre pour créer une étendue significative.

3.4 Indice de propagation initiale (IPI)

L'association de l'IPI à la vitesse de propagation est bien établie et constitue l'utilisation prévue de l'indice (Van Wagner 1987). Toutefois, lorsque nous réfléchissons aux classes qualitatives, la question suivante demeure : quelle vitesse représente une préoccupation pour les responsables de la gestion des incendies ? Hirsch (1996) fournit un tableau qui présente l'intensité de l'incendie par rapport aux caractéristiques générales de comportement de l'incendie, semblable au tableau publié dans Hirsch et Martell (1996) pour déterminer l'efficacité des ressources d'attaques initiales. Pour calculer l'intensité de l'incendie à partir de la vitesse de propagation, les données sur le combustible consumé étaient nécessaires. Après avoir essayé quelques valeurs différentes, une valeur constante de la CCS de 2,4 kg/m^2 a été choisie. Il s'agissait de la consumation maximale des incendies de surface dans le type C-3 dans la base de données de la Méthode PCI. Cela donne une idée de la consumation maximale dans un incendie de surface. En fonction de ce niveau constant de consumation, une faible intensité de l'incendie (<500 kW/m) a une limite supérieure de vitesse de propagation de l'incendie de ≈0,5 m/min. La limite supérieure d'un incendie d'intensité modérée est de ≈3 m/min (500-2 000 kW/m). Elle est de 5,6 m/min pour un incendie d'intensité élevée (2 000-4 000 kW/m) et de plus de 5,6 m/min pour un incendie de cime intermittent se propageant rapidement dans le type C-3 (>4 000 kW/m). Ces valeurs semblent appropriées lorsque comparées à la méthode de classement de la vitesse de propagation pour les brûlages dirigés de Muraro (1975) : modérément lent 1,5 m/min, modérément rapide 3 m/min, et rapide 10 m/min.

La limite supérieure de chaque classe qualitative d'IPI a été arrondie afin de fournir des nombres entiers faciles à retenir, ce qui constitue une approche peu risquée de l'interprétation des codes (figure 9B). La figure 6A montre seulement le bas de l'échelle de l'IPI. Lorsque tous les points sont inclus, cela représente la relation de la Méthode PCI, un IPI de 10 semble être à la transition entre une activité comprenant essentiellement des incendies de surface à des incendies de cimes (figure 6B). L'intensité associée à cette classe correspond également à l'apparition de l'embrasement des cimes tel qu'indiqué par la valeur critique de l'intensité de l'incendie de surface de la Méthode PCI.

Selon ces classes qualitatives de l'IPI, la majorité de l'occurrence des incendies survient dans la classe « Faible » (tableau 9B) pour les trois régions. La classe « Faible » a également présenté le pourcentage le plus élevé de l'occurrence des incendies. Par conséquent, cette classe pourrait nécessiter d'autres ajustements en fonction de l'utilisation prévue par les responsables de la gestion des incendies en Ontario. Cette classe « Faible » présentait le pourcentage le plus élevé de superficie brûlée pour le NO et le N. La plus importante superficie brûlée se trouvait dans la classe « Extrême » pour la région du NE. Il est important de garder à l'esprit que la superficie brûlée à l'intérieur d'une classe donnée est associée à la date de début de l'incendie, ce qui peut ne pas représenter les valeurs de l'IPI lors des premiers jours de propagation de l'incendie, qui contribuent le plus à la superficie brûlée



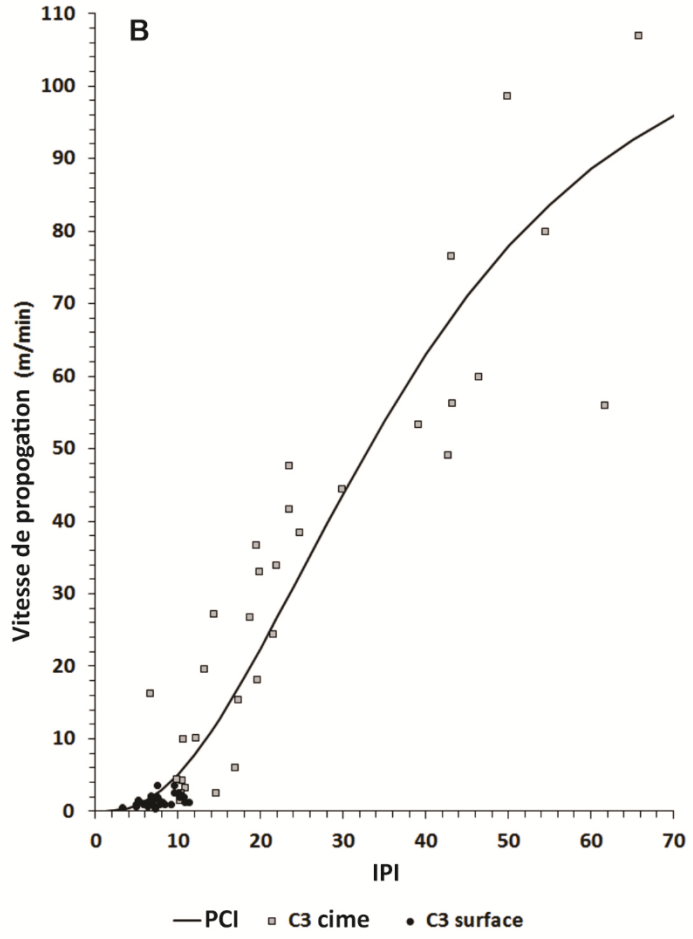


Figure 6.
A) Relation entre la limite inférieure de l'IPI et la vitesse de propagation pour le type de combustible C-3 utilisée pour définir les nouvelles classes de l'IPI, soit les classes de danger suivantes : bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.
B) Relation entre l'étendue complète de l'IPI et la vitesse de propagation pour le type de combustible C-3 représentée par la ligne lisse (selon le modèle de PCI). Les points de données utilisés pour obtenir le modèle sont présentés pour les incendies de cime et les incendies de surface.

Tableau 9. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies (10e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée* pour chaque classe de l'IPI **existante (A)** et **nouvelle (B)**, en fonction des vitesses de propagation dans les forêts de pins (C-3), dans les régions du Nord-est (NE) (n=35), du Nord-ouest (NO) (n=25) et du Nord (N) (n=16) de la province, de 1990 à 2019.

A)

Classes de la Méthode de l'IFM		Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies (%)			Superficie brûlée par les incendies (%)*		
	IPI	NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO
Faible	0-2.2	46-58	50-60	49-57	19-34	21-39	13-27	5	11	30
Modéré	2.3-5	22-28	22-28	21-25	19-28	22-35	14-33	4	31	24
Élevé	5.1-10	16-28	15-24	17-24	28-49	27-44	28-53	41	44	32
Extrême	>10	1-5	1-4	1-6	2-5	2-11	2-25	50	13	14

B)

Classe de IPI		Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies (%)			Superficie brûlée par les incendies(%)*			Interprétation :
	IPI	NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO	
Faible	0-4	68-83	73-83	71-80	40-66	46-69	32-53	9	42	54	Incendie de surface se déplaçant lentement, vitesses de propagation <0,5 m/min dans le type C-3
Modéré	>4-7	13-20	11-17	12-18	22-36	21-32	19-40	21	36	20	Incendie de surface se déplaçant modérément lentement, vitesses de propagation jusqu'à ~ 3 m/min dans le type C-3
Élevé	>7-10	3-8	3-6	4-8	5-15	6-14	8-22	20	8	12	Incendie de surface se déplaçant rapidement, vitesses de propagation jusqu'à 5 m/min, embrasement des cimes possible dans les combustibles ayant une bonne continuité verticale dans le type C-3
Extrême	>10	1-5	1-4	1-6	2-14	2-11	2-25	50	13	13	Incendie de surface se déplaçant très rapidement, plus grand risque d'incendie de cime, vitesses de propagation jusqu'à >5 m/min dans le type C-3

* Cela représente la valeur moyenne globale entre toutes les stations, car les valeurs liées à la superficie brûlée étaient trop variables d'une station à l'autre pour créer une étendue significative. Ces valeurs étant des estimations arrondies indépendantes de la valeur médiane de chaque catégorie, le total n'atteint pas 100 %, en particulier lorsque les distributions sont très asymétriques, comme celles associées à la superficie.

3.5 Indice de combustible disponible (ICD)

Du point de vue de la modélisation, l'ICD est plus fortement lié à la consumation du combustible au sol, car il reflète les niveaux d'humidité de ces combustibles plus grossiers. Sur le plan opérationnel, l'ICD est fréquemment utilisé pour éclairer la planification des activités de présuppression (de Groot 1987). Les divisions entre les classes qualitatives ont été choisies à l'aide du modèle de la CCS pour le type C-3 à partir de la Méthode PCI (figure 7A), qui associe directement l'ICD à la CCS. La limite supérieure de la classe « Faible » a été définie à une CCS minimale dans le type C-3 d'environ 0,25 kg/m^2. Ceci est semblable à la charge de la litière nominale dans la Méthode de l'IFM et représente une très faible consumation de combustibles plus importants. Cette faible valeur de consumation correspond à un ICD de 20. En dessous d'un ICD de 20, il y a peu ou pas de CCS (figure 7C). Si nous appliquons l'effet du combustible disponible sur la vitesse de propagation de la méthode PCI, la vitesse de propagation de l'incendie de surface est réduite de plus de 60 % (figure 7B). La classe « Modéré » est définie pour représenter la CCS jusqu'à ≈1 kg/m^2, ce qui survient dans le type de combustible C-3 alors que l'ICD est inférieur à 40. Cette limite supérieure de la catégorie « Modéré » était la CCS moyenne dans le type C-3 (en fonction de la base de données de la PCI). À la limite supérieure de cette catégorie, l'effet du combustible disponible sur la vitesse de propagation de la méthode PCI réduit la vitesse de propagation à l'équilibre de 10 %. Cette valeur limite entre la classe « Modéré » et la classe « Élevé » est aussi une valeur critique (Hirsch et Martel 1996) au-dessus de laquelle il est attendu que des activités intensives d'extinction finale soient nécessaires dans les types forestiers ayant des combustibles plus profonds. La classe « Élevé », qui englobe les ICD de 40 à 80 dans la classe nouvellement définie, correspond à une consumation de surface culminant à ≈2,5 kg/m^2. Cette valeur est proche de la CCS maximale pour les incendies de surface dans la base de données sur le type C-3 et représente 50 % de la valeur maximale possible pour la CCS dans le modèle de combustible de type C-3 de la méthode PCI pour la consumation des combustibles de surface. En moyenne, l'effet du combustible disponible n'a pas une très forte influence sur la vitesse de propagation (changement <10 %). Compte tenu de cette limite pour l'extrémité supérieure de la classe « Élevé », dans la classe « Extrême » (ICD >80), la CCS est plus susceptible de dépasser 2,5 kg/m^2 (figure 7A).

La classe de danger « Faible » demeure inchangée par rapport à la catégorie actuelle, et le nombre de jours dans cette classe de l'ICD représente environ 50 % de l'occurrence quotidienne (tableau 10A et B). En Ontario, les ICD dépassant 80 sont rares (<2 % des jours dans l'ensemble) et ont entraîné <12 % des incendies et de la superficie brûlée dans les trois régions. La majorité de la superficie brûlée et de l'occurrence des incendies est associée à des indices dans les classes « Modéré » et « Élevé » de l'ICD. Étant donné que les ICD supérieurs à 80 (classe « Extrême ») sont rares en Ontario, la valeur définissant la limite entre la catégorie « Élevée » et la catégorie « Extrême » peut nécessiter un ajustement pour la province, bien qu'à l'échelle nationale cela semble une limite raisonnable.

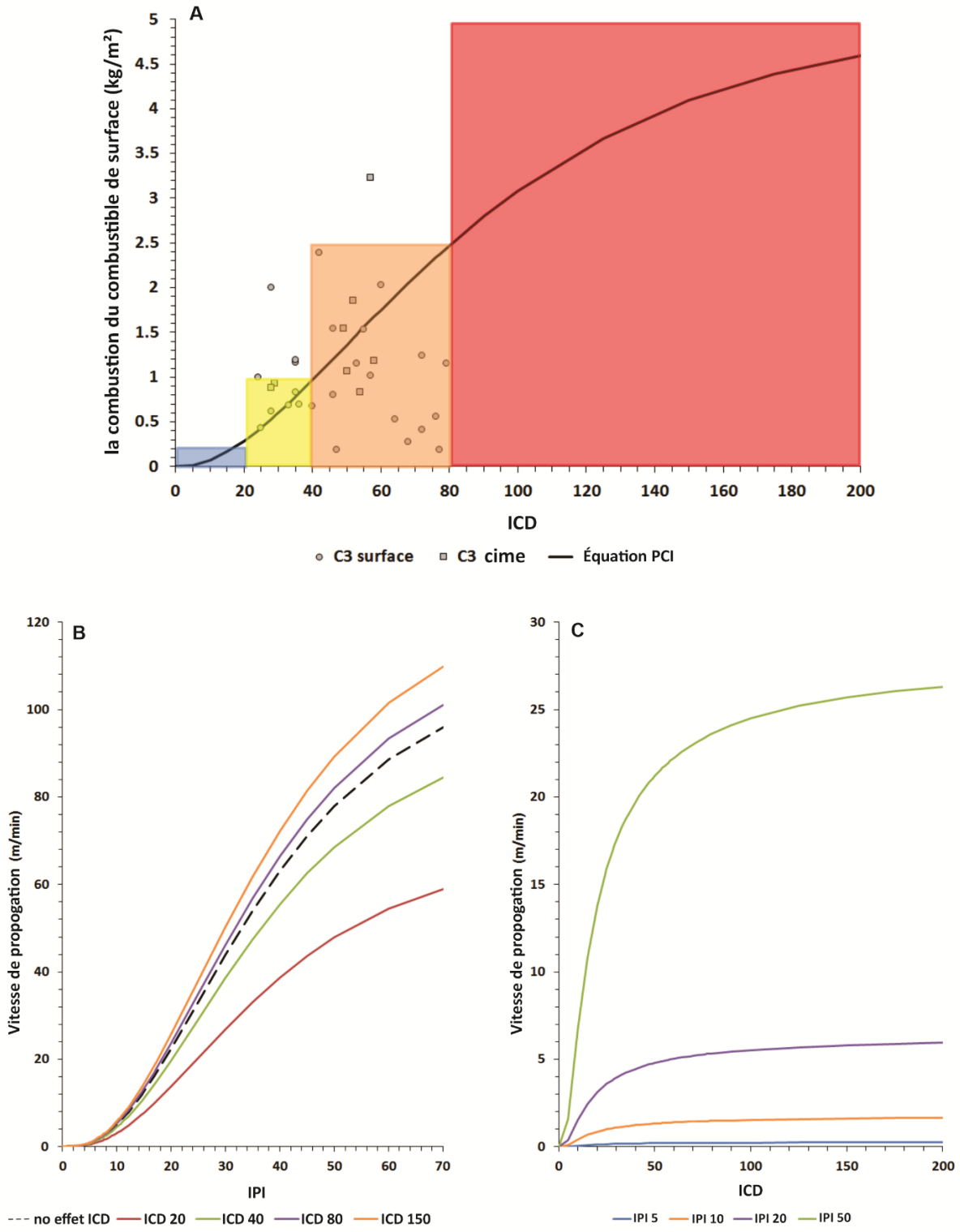


Figure 7. A) Relation entre l'ICD et la CCS pour le type C-3 avec différenciation des points d'incendie de surface et d'incendie de cimes. La ligne continue représente le modèle de la PCI pour le type C-3. **B)** Relation entre la vitesse de propagation et l'IPI sans effet du combustible disponible (ligne en pointillé) et avec plusieurs valeurs de l'ICD, y compris l'effet du combustible disponible. **C)** Effet du combustible disponible sur la vitesse de propagation à différentes valeurs de l'IPI.

Tableau 10. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies (10e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée pour chaque classe de l'ICD **existante (A)** et **nouvelle (B)**, en fonction de la consumation du combustible de surface (CCS) dans les forêts de pins (C-3), dans les régions du Nord-est (NE), du Nord-ouest (NO) et du Nord (N) de la province, de 1990 à 2019.

A)

Classes de la Méthode de l'IFM		Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies (%)			Superficie brûlée par les incendies (%)*		
	ICD	NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO
Faible	≤20	35-50	40-53	41-59	8-26	9-27	6-19	2	18	4
Modéré	21-36	29-33	28-32	28-34	18-32	24-37	23-42	9	25	15
Élevé	37-60	16-24	14-21	11-21	16-46	29-41	29-48	59	33	49
Extrême	>61	4-10	3-7	3-5	10-37	10-24	6-26	31	23	32

B)

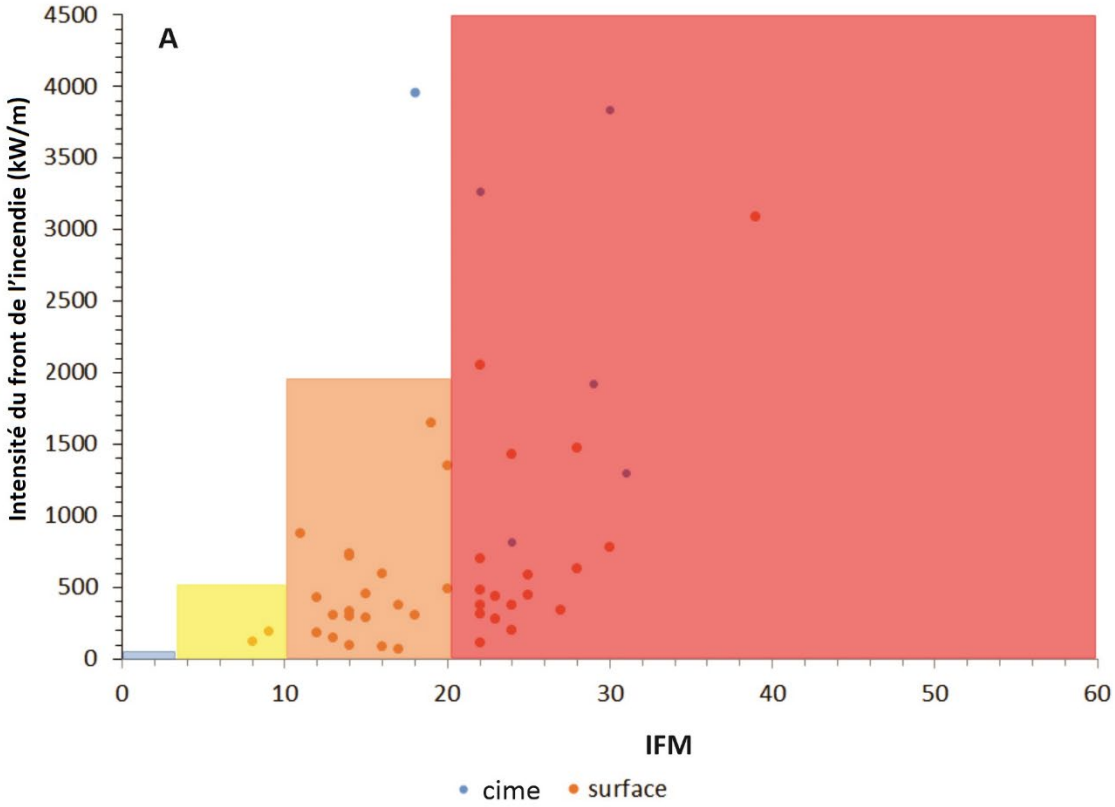
Classe de l'ICD		Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies (%)			Superficie brûlée par les incendies (%)*			Interprétation :
	ICD	NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO	
Faible	0-20	35-50	40-53	41-59	8-26	9-27	6-19	2	18	4	Peu ou pas de CCS dans le type C-3 (<0,2 kg/m^2)
Modéré	>20-40	34-38	33-37	32-39	22-41	31-44	31-50	30	33	23	CCS moyenne dans le type C-3 (<1 kg/m^2)
Élevé	>40-80	15-24	13-20	9-19	31-56	31-50	27-57	62	42	67	CCS élevé dans le type C-3, en particulier pour les incendies de surface (<2,5 kg/m^2), extinction finale potentielle intensive
Extrême	>80	1-4	0-2	0-1	1-20	1-15	1-11	6	6	6	Limite supérieure de CCS dans le type C-3 (> 2,5 kg/m^2)

* Cela représente la valeur moyenne globale entre toutes les stations, car les valeurs liées à la superficie brûlée étaient trop variables d'une station à l'autre pour créer une étendue significative. Ces valeurs étant des estimations arrondies indépendantes de la valeur médiane de chaque catégorie, le total n'atteint pas 100 %, en particulier lorsque les distributions sont très asymétriques, comme celles associées à la superficie.

3.6 L'Indice Forêt-Météo (IFM)

Les définitions des classes d'intensité d'incendie existent au Canada depuis longtemps (Alexander et de Groot 1988, Taylor et al. 1997), mais ces définitions ne proviennent que d'une petite quantité de recherches réalisées en dehors de la forêt boréale. Hirsch et Martell (1996) présentent une bonne analyse des origines de ces seuils et des interprétations qui ont évolué au fil du temps. La limite supérieure de la classe d'intensité 1 est généralement de 10 kW/m, ce qui est décrit comme représentant un allumage dont la combustion est à peine soutenue. La classe d'intensité 1 est souvent associée aux incendies couvants. Dans la base de données sur le type C-3 de la Méthode PCI, il n'y a aucune observation sur l'intensité du front de l'incendie < 10 kW/m. En effet, la base de données sur le type C-3 de la Méthode PCI ne contient aucun incendie dont les valeurs de l'IFM sont inférieures à 8. Toutefois, les travaux de McRae et al. (2017) sur l'allumage d'une source ponctuelle suggèrent que l'IFM = 3 est un niveau raisonnable pour représenter la plus basse intensité observable au front de l'incendie qui se propage, ce qui concorde avec la valeur actuellement utilisée. La classe « Modéré », où l'IFM >3-10, comprend l'intensité <500 kW/m (généralement appelée classe 2 d'intensité) et est associée aux incendies rampants et aux incendies de surface de faible intensité. La classe « Élevé », où l'IFM >10-20, correspond aux incendies dont l'intensité varie généralement entre 500 et 2000 kW/m. Elle tend à représenter les incendies de surface d'intensité faible à élevée avec un faible embrasement intermittent des cimes possible (flambée en chandelle, avec une intensité supérieure possible, mais peu probable) (figure 8B). L'apparition de flambée en chandelle dans le type C-3 peut commencer à près de 4 000 kW/m, mais le développement d'un incendie de cime peut commencer à des intensités inférieures dans le type de combustible de pessières boréales (C-2). Les incendies d'intensité supérieure sont plus probables à un IFM >20. Par conséquent, cette division entre « Élevé » et « Extrême » est un compromis raisonnable entre ces deux types de forêts de conifères dominants. La classe « Extrême », ou IFM >20, correspondait aux incendies qui se trouvent plus probablement à une intensité de 4 000 kW/m avec le développement d'incendies de cime intermittents à cimes continu encore plus probable à des intensités plus élevées, en particulier dans le type C-2.

Selon ces nouvelles classes des dangers de l'IFM, la majorité de l'occurrence quotidienne se trouve à l'extrémité inférieure (tableau 11B). L'occurrence des incendies en pourcentage est répartie de façon relativement homogène entre les classes « Faible », « Modéré » et « Élevé », alors que la superficie brûlée survient principalement dans les classes « Élevé » et « Extrême ». La fréquence relative des valeurs de l'IFM entre les classes reste relativement similaire à celle établie par Stocks (1971) (tableau 1), et ce même avec des ajustements mineurs dans l'étendue des classes « Élevé » et « Extrême » (tableau 11B) et avec plus d'emphase sur les fondements physiques. Il convient de préciser que cette définition de l'IFM, pour laquelle l'étendue des classes a été ajustée, est liée à l'étendue des classes de l'efficacité des ressources de suppression adoptées dans la classification de l'intensité de l'incendie. L'utilisation de cette définition particulière pour établir les étendues peut nécessiter une révision lorsqu'il est envisagé d'utiliser l'IFM comme indicateur principal des niveaux des dangers d'incendie pour la population générale.



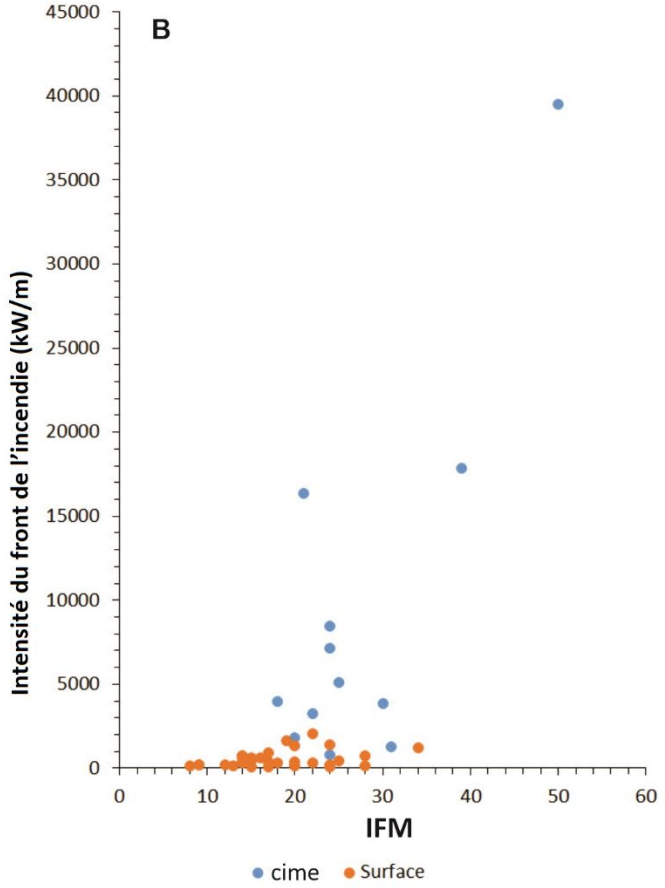


Figure 8. Relations entre l'IFM et l'intensité pour les types de combustible C-3 en Ontario. La figure **A)** présente les données à 4 500 kW/m maximum, alors que la figure **B)** présente l'ensemble des données. Une distinction est faite entre les données concernant les incendies de cime et celles concernant les incendies de surface. Dans la figure **A)**, les nouvelles classes de l'IFM sont indiquées avec les couleurs suivantes : bleu = Faible, jaune = Modéré, orange = Élevé et rouge = Extrême.

Tableau 11. Résumé de la fréquence de jours au cours de la saison des incendies (10e et 90e percentiles), de l'occurrence des incendies (10e et 90e percentiles) et de la superficie brûlée pour chaque classe de l'IFM **existante (A)** et **nouvelle (B)**, en fonction de l'intensité de l'incendie dans les régions du Nord-est (NE), du Nord-ouest (NO) et du Nord (N) de la province, de 1990 à 2019.

A)

Classes de la Méthode de l'IFM		Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies (%)			Superficie brûlée par les incendies		
	IFM	NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO
Faible	≤3	44-57	49-60	50-58	15-29	20-34	9-23	3	27	9
Modéré	4-10	24-29	25-28	24-28	20-35	22-34	18-34	5	12	36
Élevé	11-22	15-26	13-22	15-22	30-46	29-44	33-55	28	50	35
Extrême	≥23	1-6	1-3	1-5	5-18	3-11	3-26	64	12	19

B)

Classe de l'IFM		Fréquence de l'occurrence quotidienne (%)			Occurrence des incendies (%)			Superficie brûlée par les incendies (%)*			Interprétation :
	IFM	NW	NO	NE	NW	NO	NE	NW	NO	NE	
Faible	0-3	44-57	49-60	50-58	15-29	20-34	9-23	3	27	9	Incendie de faible intensité dans le type C-3 (<10 kW/m)
Modéré	>3-10	25-29	25-28	24-28	20-35	22-34	18-34	5	12	36	Incendies rampants ou incendies de surface de faible intensité dans le type C-3 dominants (10-500 kW/m)
Élevé	>10-20	14-24	13-21	14-20	29-42	28-40	32-48	18	38	34	Intensité des incendies de surface faible à élevée dans le type C-3 : possibilité d'incendies de cimes, plus probable dans les combustibles endommagés par les insectes (500-2 000 kW/m)
Extrême	>20	2-8	2-4	2-6	8-25	6-16	8-35	74	23	21	Incendies de cime intermittents à cimes continues probables dans le type C-3 (>2 000 kW/m)

* Cela représente la valeur moyenne globale entre toutes les stations, car les valeurs liées à la superficie brûlée étaient trop variables d'une station à l'autre pour créer une étendue significative. Ces valeurs étant des estimations arrondies indépendantes de la valeur médiane de chaque catégorie, le total n'atteint pas 100 %, en particulier lorsque les distributions sont très asymétriques, comme celles associées à la superficie.

4.0 Discussion

Le but de ce rapport est de fournir un point de départ pour la discussion sur les changements apportés aux classes qualitatives de la Méthode de l'IFM, tel que présenté dans les tableaux 6 à 11. Ces changements décrivent la façon dont la méthode actuelle de classification reflète les éléments sur l'activité des feux (en utilisant les données sur les conditions météorologiques propices aux feux de ces dernières décennies), mais permettent aussi d'évaluer l'incidence des nouvelles classifications en comparaison avec l'analyse des fréquences. Les changements apportés aux limites des classes qualitatives devraient mieux refléter les processus physiques.

Une décision majeure prise dans le cadre de ce travail était d'associer les divisions des classes à des valeurs physiquement tangibles, où chaque sortie de la Méthode de l'IFM doit être principalement associé à un processus ou un facteur précis dans l'environnement de l'incendie. Par exemple, les classifications des classes qualitatives pour l'ICL sont rigoureusement interprétées à partir des données et de la modélisation de la probabilité d'allumage avec une combustion soutenue accompagnée de flammes dans la litière de la végétation de surface. Les interprétations opérationnelles au sujet d'autres facteurs importants, comme le potentiel d'allumage de causes humaines ou le potentiel d'incendies disséminés découlent de la classification, mais ne servent pas à les définir. Ceci visait à assurer la clarté et l'uniformité lors de l'interprétation de ces résultats. Toutefois, cette supposition peut entraîner des interprétations des nouvelles classes qualitatives ne concordant pas avec l'interprétation qui est faite actuellement.

Si le NDMNRF devait retenir l'utilisation des classifications fondées sur la fréquence, ces seuils devraient être régulièrement évalués à l'aide des nouvelles données sur les conditions météorologiques propices aux incendies et mis à jour au besoin. Étant donné qu'il s'agit d'un type d'analyse comparative des données historiques, comme indiqué dans les tableaux 6 à 11, les limites des classes d'origine ne correspondent plus au même pourcentage de fréquence (p. ex., la classe « Extrême » peut ne plus correspondre à la valeur des 2 % des jours où les conditions sont les pires). Toutefois, toute mise à jour entraînant un changement dans les limites de la classe peut avoir une incidence sur les modèles mentaux du personnel ayant appris ce qui survient dans les différentes classes telles qu'elles sont définies actuellement. Ceci étant dit, les tableaux 6A-11A révèlent également qu'il y a d'importantes variations quant à la fréquence des occurrences des classes qualitatives, et ce même au sein d'une même région. Cela suggère que de petits changements apportés aux limites des classes peuvent avoir peu de conséquences pratiques sur leur interprétation. Il convient de préciser qu'avec cette variabilité observée, les quantités physiques comme la probabilité d'allumage (figures 2 et 4), la vitesse de propagation (figure 6A) et la consumation du combustible (figure 7A) varient avec les sorties de la Méthode de l'IFM de manière relativement fluide et continue. Il est possible, simplement pour créer un petit nombre de catégories, d'établir différents niveaux de classes à des points de rupture logiques. Toutefois, le fait est que ces divisions sont des concepts artificiels. Toute classification d'une valeur continue et variant légèrement en un petit nombre de catégories distinctes entraînera une perte d'information. Cette perte a plus de répercussions près des limites de la classification.

Les classes de la Méthode de l'IFM sont fortement intégrées à la gestion des incendies en Ontario. Avant de mettre en œuvre un changement, l'amélioration doit être évaluée en regard du coût et des autres répercussions qui découleront de ce changement. La Méthode de l'IFM a été conçue pour être uniforme à l'échelle nationale et fournir une méthode et une terminologie communes pour caractériser les

éléments critiques de l'environnement de l'incendie. Il est important qu'avec le partage du personnel entre les agences, les classes de l'IFM aient la même signification partout au Canada. Ses sorties sont calculées de la même façon partout, mais doivent être interprétés à l'échelle régionale pour tenir compte des différences locales (p. ex. dans certaines provinces/régions, un type de combustible autre que le type C-3 peut être approprié). Par conséquent, les limites des classes peuvent varier dans l'ensemble du Canada, mais l'interprétation doit être cohérente grâce à l'utilisation des mêmes méthodes fondées sur des données physiques.

Dans le cadre de l'utilisation opérationnelle des classes qualitatives des sorties de la Méthode de l'IFM, nous prévoyons que chaque décideur utilise une valeur précise (observée ou prévue) comme indicateur de référence uniforme et objectif de la situation générale. Ces décideurs appliqueront ensuite d'autres renseignements, comme leur propre expérience et leur compréhension des conditions et de la situation précises, pour peaufiner leur évaluation globale des conditions actuelles et de leur évolution. Les interprétations et les classes qualitatives sont décrites comme des composantes de base dans ce processus de synthèse de l'information. La clarté de la définition et de l'interprétation découlant des classes qualitatives peut apporter aux nouveaux membres du personnel une base plus uniforme pour comprendre les relations entre les résultats de la Méthode de l'IFM et l'activité des incendies de végétation.

Ce projet a été mené à partir de données et de modèles de divers processus reliés aux incendies étant disponibles et relativement bien connus. Les données supplémentaires sur les incendies provenant de la province ou de modèles améliorés à partir de ces données peuvent être utilisées pour perfectionner certaines définitions des limites des classes. Par exemple, les définitions de la classe de l'IS peuvent être améliorées grâce à l'analyse de la durée de l'extinction finale (p. ex., la durée entre la maîtrise et l'extinction) pour mieux estimer les problèmes en matière de suppression prolongée en lien avec les données sur la profondeur de brûlage. **Il est important de rappeler que la Méthode de l'IFM a été conçue pour constituer un ensemble d'indicateurs relatifs sans unité utilisés pour représenter les divers aspects du comportement de l'incendie potentiel n'importe quel jour pour un seul type de combustible de forêts de conifères. La Méthode de l'IFM est, pour beaucoup, une première façon simple de comprendre l'influence des conditions météorologiques sur le potentiel d'allumage et de propagation d'un incendie de végétation au quotidien. Lorsqu'il est nécessaire de comprendre les différences propres à un type de combustible précis en lien avec le potentiel d'incendie ou les changements diurnes attendus du comportement d'un incendie, la Méthode PCI doit être utilisée.**

Il convient de préciser que nous avons supposé que le nombre de classifications utilisé serait le même qu'actuellement en Ontario. Plusieurs provinces et territoires du Canada ajoutent une cinquième catégorie, « Très élevé », à leurs classes qualitatives. À l'avenir, il pourrait être utile d'envisager d'ajouter des classes par rapport aux résultats de la Méthode de l'IFM, si celles-ci différencient les états importants du procédé global fondé sur des données physiques que chaque résultat de la Méthode de l'IFM est censée représenter. Dans certains pays, une classe « Catastrophique » a été proposée ou mise en œuvre après la classe « Extrême ». Ces adjectifs (même « Extrême » d'ailleurs) commencent à suggérer l'intégration des impacts potentiels, ce qui ajoute un élément à la définition. Du point de vue de la gestion des incendies, en milieu périurbain, un ICL de la classe « Extrême » serait probablement considéré comme incluant à la fois la probabilité d'un incendie de cause humaine et ses impacts potentiels s'il survenait. Il y a d'autres éléments à prendre en compte lors de la classification des résultats de modèles. Boychuk et al. (en préparation) abordent ces points (p. ex., précision des données,

nombre de classes, échelonnage et limites des classes dans les données, codes couleur) qui pourraient être envisagés.
Enfin, il y a d'autres valeurs critiques et associations (tableau 3) qui ne sont pas incluses dans la méthodologie de définition des classes proposée. Nous n'avons pas étudié la pertinence de ces associations ou valeurs critiques par rapport à l'état actuel des recherches (p. ex., probabilité d'incendies disséminés et ICL). Nous reconnaissons que les composants de la Méthode de l'IFM sont de bons indicateurs prévisionnels de nombreuses conditions utiles pour la gestion des incendies et que les associations fondées sur des données probantes sont importantes. Le plus important étant que ces valeurs critiques sont examinées régulièrement pour vérifier leur pertinence.

5.0 Application des nouvelles classes de l'IFM

Ce rapport est une première tentative en vue de décrire une nouvelle approche pour offrir une méthode commune et uniforme fondée sur des procédés pour la délimitation des classes qualitatives pour les sorties de la Méthode de l'IFM. Lors de l'élaboration de cette nouvelle méthodologie de classification, notre objectif était simplement de fournir une méthode permettant de définir de façon claire et uniforme les classifications des résultats de la Méthode de l'IFM. Pour élaborer cette approche, nous avons travaillé en étroite collaboration avec le personnel de gestion des incendies. Il est important que les chercheurs et le personnel de gestion des incendies échangent leurs connaissances afin que les conseils de base sur l'utilisation des données scientifiques soient utiles aux agences. Ce travail était axé sur l'étude des répercussions de ces changements apportés aux classes qualitatives établies et utilisées de façon opérationnelle dans la province, ayant été élaborées à l'origine en se fondant sur une analyse climatologique de la fréquence. L'association d'un procédé unique significatif sur le plan physique à chaque indice de la Méthode de l'IFM pourrait donner aux classes une plus grande portée en matière d'interprétation lors de la prise de décision quotidienne par le personnel des opérations de lutte contre les incendies. Nous reconnaissons que cela peut ne pas répondre à tous les besoins opérationnels, toutefois, nous espérons que cela encouragera un dialogue plus poussé au sein du NDMNRF et avec les autres agences provinciales.

6.0 Remerciements

Nous remercions Rob McAlpine et Den Boychuk pour leurs contributions aux concepts présentés dans ce document, et Dan Johnston, Douglas Woolford, Barry Graham, et John MacDonald pour les discussions utiles. Nous remercions les analystes en comportement des incendies et le groupe des agents de renseignement sur les incendies de l'Ontario pour leurs contributions. Merci également à Melanie Wheatley pour sa revue de littérature.
Nous tenons également à remercier Brian Stocks (retraité du SCF), Dan Thompson (SCF), Dan Johnston et Darren McLarty (NDMNRF) pour leurs examens constructifs du document avant la publication, et aussi à Alexandre Charland et Jonathan Boucher pour la révision de la traduction française.

7.0 Références citées

Alexander, M.E.; de Groot, W.J. 1988. Fire behavior in jack pine stands as related to the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System. Poster. CFS Northern Forestry Centre, Northwest Region Edmonton, Alberta.

Beverly, J.L.; Wotton, B.M. 2007. Modelling the probability of sustained flaming: predictive value of fire weather index components compared with observations of site weather and fuel moisture conditions. International Journal of Wildland Fire, 16(2), 161-173. doi:10.1071/WF06072

Boychuk D, McFayden CB, Woolford DG, Wotton M, Stacey A, Evens J, Hanes CC, Wheatley M. Considerations for Categorizing and Visualizing Numerical Information: A Case Study of Fire Occurrence Prediction Models in the Province of Ontario, Canada. *Fire*. 2021; 4(3):50. doi.org/10.3390/fire4030050.

Byram, G. M. 1959. Chapter Three: Combustion of Forest Fuels; Chapter Four: Forest Fire Behavior. pp. 61-123 *in* K. P. Davis (Ed.), Forest Fire Control and Use. McGraw-Hill Book Company, Inc. G.M.

CIFFC (Centre Interservices Des Feux de Forêt du Canada). 2015. S-490 Cours avancé en prévision du comportement des feux de forêt, Manuel de formation, 23-29 Septembre, Sault Ste. Marie (Ontario).

CIFFC. Glossary of Forest Fire Management Terms. Disponible à : https://www.ciffc.ca/sites/default/files/2019-03/CIFFC_Canadian_Wildland_Fire_Mgmt_Glossary_2017_10_24.pdf (consulté : 11 05 2020).

de Groot, W.J. 1987. Interpreting the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System. Fourth Central Region Fire Weather Committee Scientific and Technical Seminar, Présentation et texte. 2 Avril, 1987, Winnipeg (Manitoba).

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, 367-382. doi:10.1139/X08-192

Forêts Canada, 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, Administration centrale, Groupe de travail sur les dangers d'incendie et Direction générale des sciences et du développement durable, Ottawa. 68 p.

Groupe de travail sur les dangers d'incendie du Service canadien des forêts. 2021. Un aperçu de la prochaine génération de la Méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt. Rapport d'information GLC-X-26. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault Ste. Marie (Ontario).

Hirsch, K.G. 1996. Canadian Forest Fire Behavior Prediction (FBP) System: user's guide. Special Report 7. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. 122p.

Hirsch, K.G.; Martell, D.L. 1996. A review of initial attack fire crew productivity and effectiveness. International Journal of Wildland Fire, 6(4), 199-215.

Kiil, A. D.; Miyagawa, R.S.; Quintilio, D. 1977. Calibration and performance of the Canadian Fire Weather Index in Alberta. Information Report NOR-X-173. Environment Canada, Canadian Forestry Service, Northern Forest Research Centre, Edmonton, Alberta. 45 p.

McRae, D. J.; Stocks, B. J.; Hartley, G. R.; 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-19. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie des Grands Lacs, Sault Ste. Marie (Ontario).

Muraro, S.J. 1975. Prescribed Fire Predictor (slide-rule). Environment Canada, Canadian Forestry Service, Pacific Forestry Research Centre, Victoria, B.C. (réimprimé 1980).

Nunez, J.R.; Anderton, C.R.; Renslow, R.S. 2018. Optimizing colormaps with consideration for color vision deficiency to enable accurate interpretation of scientific data. PLOS ONE, 13(8) doi: 10.1371/journal.pone.0199239

Paul P.M. 1969. Field practice in Forest Fire Danger Rating. Report FF-X-20. Canadian Forest Service, Forest Fire Research Institute, Ottawa, ON.

Stocks, B.J. 1971. Analysis of the Fire Weather Index in Ontario (1963 to 1968). Internal Report 0-23. Canadian Forestry Service, Sault Ste. Marie, ON.

Stocks, B.J. 1974. Wildfires and the Fire Weather Index System in Ontario. Inf. Rep. O-X-213. Canadian Forestry Service, Great Lakes Forestry Centre, Sault Ste. Marie, ON. 17 p.

Stocks, B. J.; Lawson, B. D.; Alexander, M. E.; Van Wagner, C. E.; McAlpine, R. S.; Lynham, T. J.; Dubé, D. E. 1989. Canadian Forest Fire Danger Rating System: An Overview. The Forestry Chronicle 65(4): 258–265.

Taylor, S.W.; Pike, R.G.; Alexander, M.E. 1996. Manuel de terrain pour la méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI). Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Pacifique, Victoria, C-B. EMVRF II Manuel 012, Ministère des forêts, C-B.

Turner, J.A. 1970. Calibration of the Fire Weather Index for British Columbia. Progress Report #1, Canadian Forestry Service, Victoria, B.C.

Van Wagner, C. E. 1987. Development and Structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System. Forestry Technical Report 35. Canadian Forestry Service, Headquarters, Ottawa, ON. 35 p.

Woolford , D. G., Martell, D. L., McFayden, C. B., Evens, J., Stacey, A., Wotton, B. M., & Boychuk, D. (2021). The development and implementation of a human-caused wildland fire occurrence prediction system for the province of Ontario, Canada. Canadian Journal of Forest Research, 51(2), 303-325.

Wotton, B.M. 2009. Interpreting and using outputs from the Canadian Forest Fire Danger Rating System in research applications. Environmental and Ecological Statistics, 16(2), 107-131. doi:10.1007/s10651-007-0084-2

Wotton, B.M.; Martell, D.L. 2005. A lightning fire occurrence model for Ontario. Canadian Journal of Forest Research, 35(6), 1389-1401. doi:10.1139/X05-071

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