



# Influence des types d'allumage sur le comportement des feux sur le pin gris semi-mature

D.J. McRae, B.J. Stocks, G.R. Hartley, J.A. Mason, T.J. Lynham,  
T.W. Blake et C.C. Hanes



Ressources naturelles Canada  
Service canadien des forêts  
Rapport d'information GLC-X-19F

### **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), 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 canadiennes. 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, accédez à notre bibliothèque en ligne : <https://scf.rncan.gc.ca/publication>.



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

## **Influence des types d'allumage sur le comportement des feux sur le pin gris semi-mature**

D.J. McRae, B.J. Stocks, G.R. Hartley, J.A. Mason, T.J. Lynham, T.W. Blake, et C.C. Hanes

### **Publié par**

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

Rapport d'information : GLC-X-19F  
2017

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

Influence des types d'allumage sur le comportement des feux sur le pin gris semi-mature.  
(Rapport d'information, GLC-X-19F)

Publié aussi en anglais sous le titre : « Influence of ignition type on fire behavior in semi-mature jack pine » D.J. McRae, B.J. Stocks, G.R. Hartley, J.A. Mason, T.J. Lynham, T.W. Blake, and C.C. Hanes

Monographie électronique en format PDF.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 978-0-660-07948-6

N° de catal. : Fo123-2/19-2017F-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;
- 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](mailto:droitdauteur.copyright@rncan-nrcan.gc.ca).

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de Ressources naturelles Canada, 2017.

## Table des matières

<b>Liste des figures et tableaux .....</b>	<b>vi</b>
<b>Avant-propos.....</b>	<b>vii</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Méthodologie .....</b>	<b>2</b>
Établissement de parcelles à brûler et de stations de météorologie forestières.....	2
Échantillonnage de combustibles .....	4
Procédures de brûlage et contrôle du comportement des feux.....	4
<b>Résultats .....</b>	<b>6</b>
<b>Discussion .....</b>	<b>12</b>
<b>Sommaire .....</b>	<b>18</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>18</b>
<b>Références .....</b>	<b>19</b>

## Liste des figures et tableaux

<b>Figure 1.</b> Vue de Google Earth de toutes les parcelles en feu de Sharpsand Creek. ....	3
<b>Figure 2.</b> Vue aérienne des petites parcelles où les feux ont été allumés à un point source (feux 1 à 9). On peut voir de la fumée provenant d'un petit feu de surface sur l'une des parcelles (côté gauche). ....	6
<b>Figure 3.</b> Profil de peuplement A) d'un ensemble de combustible de pins gris immatures (26 ans) de Stocks (1987a) comparé à B) un ensemble de combustible de pins gris semi-matures (environ 36 ans) lors du projet de brûlage expérimental de Sharpsand Creek en 1984-1991....	10
<b>Figure 4.</b> Vue aérienne du développement d'un feu de cime (feu 17). ....	11
<b>Figure 5.</b> Comportement d'un feu de cime soutenu observé du ciel au cours du feu 21. ....	11
<b>Tableau 1.</b> Caractéristiques de la structure d'un peuplement dans le cadre d'une forêt de pins gris semi-matures (36 ans) à Sharpsand Creek. ....	7
<b>Tableau 2.</b> Valeurs de référence de la Méthode canadienne de l'indice Forêt-météo (IFM) associées aux feux expérimentaux sur 0,16 ha (1984-1985) ainsi qu'aux caractéristiques du combustible et du comportement du feu. ....	9
<b>Tableau 3.</b> Valeurs de la vitesse de propagation observées à différents moments au cours du feu 7 (tableau 2). ....	10
<b>Tableau 4.</b> Valeurs de référence de la Méthode canadienne de l'indice Forêt-météo (IFM) pour les feux expérimentaux de 1987 accompagnées des caractéristiques du combustible et du comportement du feu. ....	16
<b>Tableau 5.</b> Valeurs de référence de la Méthode canadienne de l'indice Forêt-météo (IFM) pour les plus grands feux expérimentaux de 1987 accompagnées des caractéristiques du combustible et du comportement du feu. ....	17

## **Avant-propos**

Le contenu du présent rapport est basé sur d'anciennes données recueillies entre 1984 et 1991. Par conséquent, ce rapport est rédigé en fonction des connaissances scientifiques de ces années (environ 1995) et constitue un résumé de nos réflexions seulement fondées sur ces données.

## Introduction

Au cours des années 1970 et 1980, la recherche sur le comportement des feux au Canada était axée sur l'élaboration de modèles empiriques du comportement des feux relatif à des types de combustibles forestiers importants au Canada. En Ontario, des feux expérimentaux ont été allumés sur des rémanents de pins gris (*Pinus banksiana* Lamb.), des peuplements matures (originaires de 1899) et immatures (originaires de 1948) de pins gris et des peuplements de sapins baumiers détruits par la tordeuse des bourgeons de l'épinette. La procédure d'expérimentation a consisté à définir des parcelles-échantillons et à y mettre le feu dans des conditions de danger d'incendie très variées alors que l'on mesurait les paramètres essentiels de comportement du feu (p. ex., vitesse de propagation, intensité du front du feu et consommation du combustible). Au moment où ces études ont été menées, on a eu recours à l'allumage sur une ligne afin de permettre au feu d'atteindre rapidement une vitesse de propagation d'équilibre (état stable) en vue d'imiter un plus grand feu de végétation. De nombreux documents résument ces projets de recherche, notamment Stocks (1987a, 1987b, 1989); Stocks et Walker (1972); Stocks et Hartley (1995); et Van Wagner (1993). Les données recueillies de ces feux en Ontario ont été associées aux données recueillies sur les feux expérimentaux dans les autres provinces (p. ex., Lawson, 1973; Quintilio et coll., 1977; Alexander et coll., 1991) ainsi qu'aux feux de végétation bien connus pour constituer la base de la Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI) (Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada, 1992).

L'objectif initial de l'étude sur les feux brûlants à des conditions d'équilibre était important, car ce sont les conditions de comportement du feu qui nuisent le plus aux efforts de lutte. Toutefois, l'accélération des feux entre l'allumage à un point source et le temps de propagation pour atteindre les conditions d'équilibre est également très importante. C'est ce qui détermine la durée et l'urgence pour obtenir les ressources initiales de lutte contre un feu et permet d'établir les priorités de réaction à de multiples départs de feu. Peu d'études canadiennes ont porté sur la propagation au point source sur le pin tordu latifolié (*Pinus contorta* Dougl.) et l'épinette noire (*Picea mariana* [Mill.] B.S.P.) (Lawson, 1973; Kiil, 1975; Alexander et coll., 1991). On a révélé que la propagation du feu atteint des conditions d'équilibre plus lentement à partir d'un allumage à un point source que d'un allumage sur une ligne (Cheney, 1981; Johansen, 1987; Weber, 1989; Cheney et coll., 1993). De nombreuses études empiriques ont utilisé les techniques d'allumage sur une ligne afin d'atteindre rapidement les conditions d'équilibre. Pourtant, la plupart des feux de végétation se déclenche tout d'abord à un point source. Dans cette optique, il est important de comprendre la propagation du feu à partir de l'allumage à un point source, puisqu'il s'agit souvent du seul moment où les ressources de lutte contre le feu peuvent rapidement maîtriser un feu en cas de danger élevé.

On a mené des expériences de brûlage avec allumage sur une ligne sur des peuplements de pins gris à deux endroits en Ontario. On a déclenché une série de 12 feux entre 1973 et 1983 à Kenshoe Lake, à proximité de White River, en Ontario. Dans ces peuplements matures, on a seulement observé un embrasement de cimes intermittent, même par vents forts. La seconde étude a été menée sur le pin gris (Sharpsand Creek), à environ 60 km au nord de Thessalon, en Ontario (Stocks, 1987a). Ce peuplement de pins gris naturel est apparu après l'incendie de Chapleau-Mississauga en 1948 (Stocks et Walker, 1973) et a engendré un processus d'éclaircie naturelle, entraînant une abondance très riche de tiges vivantes et mortes. Une série de 12 feux

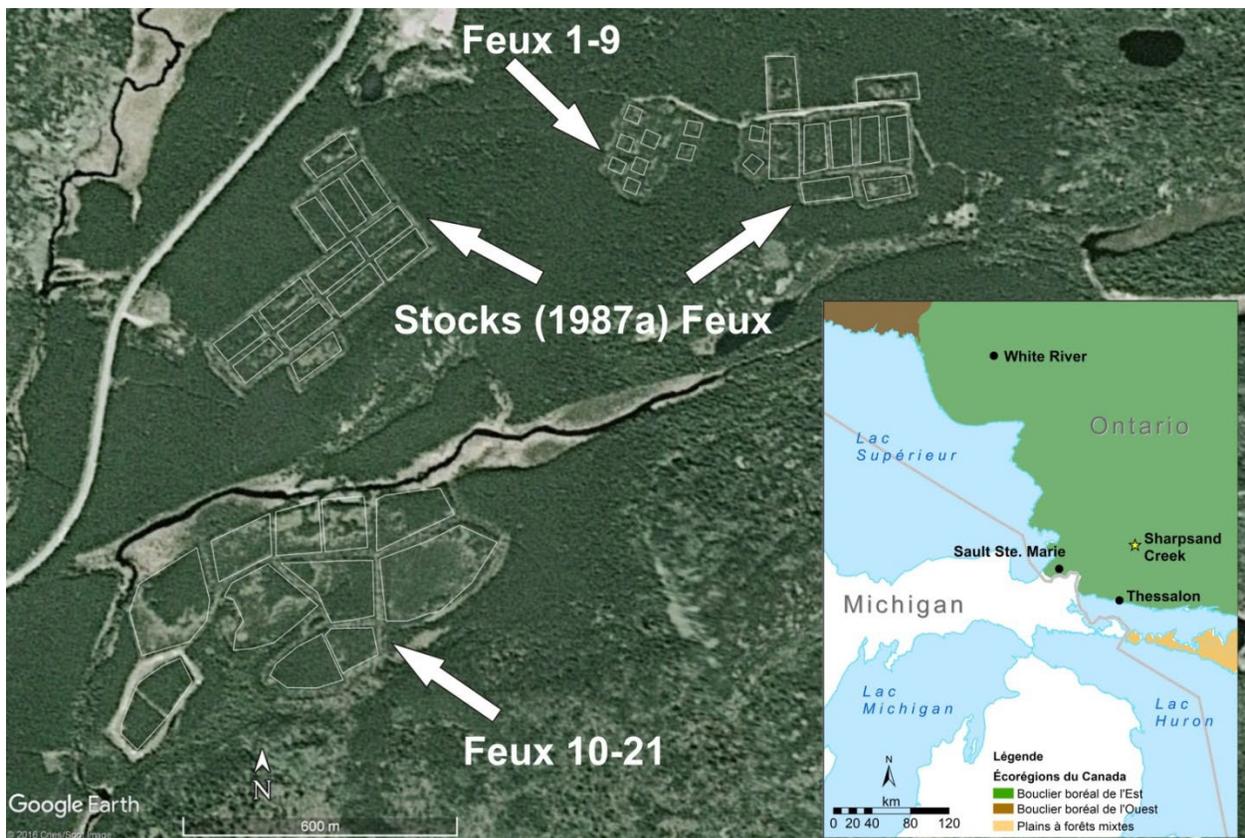
expérimentaux a eu lieu sur ce site entre 1975 et 1981. La plupart d'entre eux ont favorisé des feux de cimes continus de haute intensité qui se sont propagés même avec des vents faibles (10 à 15 km h<sup>-1</sup>). Cela diffère de la série d'expériences de feux menée sur des peuplements de pins gris matures (Stocks, 1989). Les vitesses de propagation et les degrés d'intensité des fronts d'incendies se sont révélés être plus élevés dans les incendies de pins gris immatures. Cette différence dans le comportement des feux était principalement due au changement de répartition des combustibles de surface, les peuplements de pins gris étant matures. Au cours du processus d'éclaircie naturelle, les tiges mortes sur pied dans les peuplements immatures et l'abondance d'écorce friable et de fines branches mortes ont servi de combustible étagé qui a favorisé l'embrassement des feux de cimes. Ces tiges mortes ne se trouvaient pas dans le peuplement de pins gris matures, ce qui a créé un vide entre les combustibles de surface et les combustibles de cimes, difficile à combler sans de très forts vents associés à des niveaux d'intensité très élevés de feux de surface.

Après la réalisation de la première série de feux expérimentaux allumés sur une ligne à Kenshoe Lake et à Sharpsand Creek, la décision a été prise d'étudier le comportement de propagation des feux avec allumage à un point source sur un site adjacent à celui de Sharpsand Creek. Cette nouvelle étude visait à déterminer la durée d'un feu, en utilisant l'allumage au point source, pour atteindre la vitesse de propagation d'équilibre que l'on avait rapidement observée au cours des études avec la technique d'allumage sur une ligne. On a supposé que tous les feux allumés à un point source atteindraient, au vu des conditions climatiques et de combustibles constants, les conditions de propagation d'équilibre observées dans les deux études précédentes relatives à l'allumage de feux sur une ligne. Le présent rapport expose les résultats des études sur les feux allumés à un point source et ceux allumés sur une ligne menées entre 1984 et 1991 sur le site de Sharpsand Creek.

## **Méthodologie**

### **Établissement de parcelles à brûler et de stations de météorologie forestières**

Le site d'étude de Sharpsand Creek (46°47'N, 83°20'O) se trouve à environ 60 km au nord de Thessalon, en Ontario (Figure 1). Le site se situe dans l'écorégion des basses terres du Lac Témiscamingue (Environnement Canada, 1996). Les sols y sont d'origine fluvio-glaciaire et sont constitués de podzols humo-ferriques pierreux. Les sites d'essai se trouvaient tous au niveau du sol, ce qui éliminait toute influence de la pente sur le comportement du feu. Les pleurozies (*Pleurozium schreberi* et *Hylocomium splendens*) constituaient le couvert végétal vivant dominant.



**Figure 1.** Vue de Google Earth de toutes les parcelles en feu de Sharpsand Creek. La carte en encart montre l'endroit où se trouve Sharpsand Creek (étoile jaune) dans le nord de l'Ontario.

En 1983, une série de dix parcelles à brûler de 40 x 40 m (0,16 ha) (feux 1 à 9) ont été délimités sur le site de Sharpsand Creek (Figure 1). Une ligne d'arrêt large de 20 m rasée au bulldozer jusqu'au sol minéral entourait chaque parcelle. Étant donné qu'aucun de ces feux n'a en réalité accéléré pour atteindre les conditions d'équilibre, un deuxième ensemble de parcelles plus grand (feux 10 à 21) a été défini en 1986 dans une zone adjacente au même peuplement. Les plus grandes parcelles, allant de trois à sept hectares, ont été créées afin de permettre aux feux allumés à des points sources de brûler plus longtemps pour déterminer si les vitesses de propagation d'équilibre pouvaient être atteintes sur de plus longues durées. Les dimensions et les formes des parcelles dépendaient du lieu où se trouvaient les routes de récupération créées après le feu de végétation de 1948. On estimait que le site de Sharpsand Creek était un peuplement semi-mature au cours de toutes les expériences de feux menées entre 1984 et 1991.

Une station météorologique forestière entière a été établie et maintenue chaque année sur place pour effectuer des observations continues quotidiennes à 12 heures, heure normale locale (HNL), de la température, de l'humidité relative, de la vitesse du vent (à 10 m de haut en plein air et à 1,5 m dans le peuplement) et des précipitations sur 24 heures afin de calculer les codes d'humidité du combustible et les indices de comportement du feu de la Méthode canadienne de l'indice Forêt-Météo (IFM) (Service canadien des forêts, 1984; Van Wagner, 1987). Des codes et des indices de la Méthode de l'IFM, on s'attendait à ce que l'indice du combustible léger (ICL) et l'indice de propagation initiale (IPI) soient de préférence liés à des vitesses de propagation

d'incendies. L'ICL est un indicateur de la facilité relative d'allumage et de l'inflammabilité de combustibles légers, alors que l'IPI est une évaluation numérique de la propagation du feu (fondée sur l'ICL et la vitesse du vent) (Van Wagner, 1987). Les valeurs relatives des paramètres de ces méthodes d'IFM et d'autres sont utilisées pour prévoir le comportement potentiel des feux pour des types de combustibles particuliers de la Méthode PCI (Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada, 1992).

### **Échantillonnage de combustibles**

Des mesures sur des combustibles avant et après combustion ont été effectuées sur toutes les parcelles. Des mesures fondées sur la méthode d'échantillonnage par intersection linéaire ont été effectuées sur des combustibles ligneux morts à terre (McRae et coll., 1979). Ces mesures sont adaptées pour l'utilisation de triangles de combustibles de 15 m de côté. Toutes les catégories de diamètres de combustibles ont été mesurées sur toute la surface du triangle, y compris de plus petites catégories de diamètres. On a placé au hasard un triangle sur les feux les plus petits (1 à 9), alors que deux triangles étaient utilisés sur les plus grands feux (10 à 21). Des tiges de mesure de la profondeur de combustion (McRae et coll., 1979) ont également été disposées le long de chaque ligne pour mesurer la réduction de la couverture morte (humus). Elles ont été disposées à un mètre de chaque côté des tiges-échantillons internes pour délimiter le triangle de façon permanente. On a choisi un certain nombre d'arbres que l'on a coupés en fonction du diamètre à hauteur de poitrine (dhp). Un échantillon de ces arbres a été recueilli par destruction pour obtenir des poids anhydres du feuillage et de différentes catégories de diamètres de bois (comme dans Stocks, 1987a) afin de déterminer les chargements et la consommation de combustibles de cimes.

### **Procédures de brûlage et contrôle du comportement des feux**

Entre 1984 et 1985, neuf expériences de feux allumés à un point source (feux 1 à 9) ont été menées sur des parcelles de 40 x 40 m sur le premier site d'essai. Après avoir déclenché quatre feux à un point source (feux 10 à 13) en 1987 sur les plus grandes parcelles, on a remarqué que l'accélération de la combustion n'augmentait pas sur ces feux comme prévu, malgré la plus grande taille des parcelles. Par conséquent, on a changé de stratégie d'allumage pour la dernière série de feux entre 1988 et 1991 (feux 14 à 21). L'allumage sur une ligne a de nouveau été utilisé pour déterminer si les changements dans la composition du combustible sur le site de Sharpsand Creek étaient suffisamment différents pour modifier le comportement du feu par rapport au comportement observé dans la première série de feux des années 1970 et du début des années 1980 (Stocks, 1987a). En parallèle avec ces feux allumés sur une ligne qui ont atteint un seuil d'embrasement de cimes (feux 16 à 19 et 21), on a allumé juste après des feux à un point source afin de savoir si la vitesse de propagation qui venait d'être observée avec les feux allumés sur une ligne. Ces feux ont été allumés sur des parcelles immédiatement adjacentes à celles sur lesquelles venaient de brûler les feux allumés sur une ligne.

Tous les feux de point source dans cette étude (feux 1 à 13) ont été déclenchés après avoir défini un lieu d'allumage du côté exposé au vent sur la parcelle pour garantir la plus grande distance de propagation possible avant l'atteinte du côté sous le vent de la parcelle. Tous les feux ont été allumés à un point source situé à au moins dix mètres du bord de la parcelle le plus proche pour éviter les effets possibles des bords sur le comportement du feu (p. ex., vitesse du vent, humidité du combustible) à cause des lisières d'incendies environnantes. Pour déclencher l'incendie, on a arrosé un diamètre de 20 cm de pleurozie présélectionnée au

moyen de 0,5 l de carburant diesel, puis allumer cette zone avec une allumette. Ceci a permis de créer une source d'allumage continue. Tous les feux ont été allumés entre 14 h et 15 h (HNL), lorsque les meilleures conditions de brûlage sont en général réunies. Tous les feux ont été documentés grâce à des vidéos et à des films diapositives réalisés au sol et en hélicoptère.

Avant d'allumer des feux à un point source, une tige métallique a servi à repérer le point d'allumage choisi. À partir de cette tige et selon un relèvement au compas, plusieurs lignes partant à l'extérieur ont été délimitées par une corde reliant chaque tige métallique. D'autres lignes de référence ont été délimitées du côté sous le vent où l'on s'attendait à observer les plus grandes vitesses de propagation. Du personnel de recherche a été chargé de déposer de manière similaire des balises métalliques numérotées sur le front de la base des flammes à l'intersection avec chaque ligne de référence. Les balises ont d'abord été déposées à des intervalles rapprochés de une à deux minutes, puis toutes les cinq minutes jusqu'à 40 minutes après l'allumage. Ensuite, les balises ont été déposées toutes les dix minutes jusqu'à ce que les feux soient éteints parce qu'ils avaient atteint le bord d'une parcelle, ou parce qu'un suivi approfondi était inutile, les vitesses de propagation n'ayant pas accéléré. Après chaque feu, on a réinstallé les lignes de référence en utilisant les tiges métalliques pour récupérer les balises. On a effectué des mesures postcombustion des distances de propagation entre les balises de chaque ligne. Les vitesses de propagation ont été calculées pour des phases particulières du feu en fonction du moment où les balises ont été déposées et les distances mesurées entre les balises.

Le personnel de gestion des incendies du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario a été chargé de contrôler et d'éteindre tous les feux expérimentaux. Comme dans le cas des feux de Sharpsand Creek dans les années 1970 et 1980 (Stocks, 1987a), tous les feux allumés sur une ligne l'ont été grâce à un lance-flammes pneumatique dirigé le long du bord exposé au vent de chaque parcelle. Deux lance-flammes ont été utilisés pour délimiter rapidement la ligne d'allumage en se déplaçant du centre du bord exposé au vent vers les coins de la parcelle. On a mesuré la vitesse de propagation avant sur une grille de 20 x 20 m sur laquelle étaient placées des tiges d'étude en acier, au moyen d'observations visuelles fondées sur le temps.

## Résultats

Lorsque l'on a comparé le peuplement immature de Sharpsand Creek (Stocks, 1987a) avec les premières données sur la composition du peuplement (1973), on a observé des changements mesurables évidents dus au vieillissement une décennie après (figure 2). Le nombre de tiges vivantes et mortes a diminué de 47 % et de 37 %, respectivement (tableau 1), entre 1973 et 1984. Le nombre élevé de tiges d'origine au stade immature a laissé malgré tout un peuplement dense et à couvert fermé au milieu des années 1980. Le dhp moyen des tiges mortes a été plus grand que celui relevé dans la précédente étude sur les tiges immatures (Walker et Stocks, 1975). Les arbres morts à petits diamètres de 1973 étaient tombés et ont rapidement été incorporés à la couverture morte constituée d'hypne vivante. Cela a permis d'éviter une accumulation importante de combustible ligneux mort sur le sol. La majorité de l'inventaire des peuplements morts au milieu des années 1980 est dû aux tiges vivantes de l'étude précédente, qui ont péri tout au long du processus d'éclaircie naturel pendant la période de transition séparant les études.



**Figure 2.** Vue aérienne des petites parcelles où les feux ont été allumés à un point source (feux 1 à 9). On peut voir de la fumée provenant d'un petit feu de surface sur l'une des parcelles (côté gauche). Les arbres qui brûlent dans les parcelles adjacentes (coin supérieur droit) montrent l'étendue de la propagation du feu à partir d'allumages à un point source.

L'absence générale d'espèces de conifères de sous-bois et de combustibles étagés issus des tiges mortes sur pied a caractérisé de manière importante le peuplement semi-mature. L'absence de conifères de sous-bois, ne pouvant agir comme combustibles étagés, ainsi qu'une augmentation de la hauteur de la cime vivante a probablement représenté un élément essentiel expliquant pourquoi l'embranchement des cimes a été difficile à obtenir au cours des feux allumés à un point source pendant les feux expérimentaux. L'éclaircie naturelle est due à un grand nombre d'arbres morts sur pied au cours des premiers feux de pins gris immatures. Cette structure de combustibles complexe a considérablement contribué à l'apparition et à l'entretien de l'embranchement des cimes pendant ces feux (Stocks, 1987a).

Les codes d'humidité du combustible et les indices de comportement des feux de la Méthode de l'IFM au moment du brûlage pour les feux 1 à 9, ainsi que le comportement des feux observés sont indiqués dans le tableau 2. La valeur de la vitesse de propagation de chaque feu présentée dans le tableau 2 dépend du front d'incendies et une moyenne de cette valeur a été calculée pendant toute la durée de propagation du feu. Aucune tendance d'accélération de ces feux (tableau 3) n'a été observée, comme on n'aurait pu s'y attendre à partir d'un allumage à un point source (Weber, 1989). En fait, tous les feux ont connu de très nombreuses étapes d'accélération négative en raison d'accalmie du vent. Les vitesses de propagation de tous ces feux à propagation lente (tableau 2) s'élèvent en moyenne à seulement  $0,4 \text{ m min}^{-1}$  (allant de  $0,13$  à  $0,94 \text{ m min}^{-1}$ ) avec une intensité du front de l'incendie allant de  $40$  à  $328 \text{ kW m}^{-1}$  (figure 2). À aucun moment, ces feux de surface n'ont accéléré jusqu'à un stade propice à une flambée intermittente en chandelle ni n'ont approché des vitesses de propagation semblables à celles signalées dans les premières études portant sur les feux de pins gris immatures ou matures (Stocks, 1987a, 1989). Tous les feux se sont éteints après avoir atteint le bord de la parcelle ou n'accéléraient plus après une heure. Le feu 4 a fait exception puisqu'il s'est éteint après seulement trente minutes avec une vitesse de propagation de  $0,13 \text{ m min}^{-1}$ , la vitesse la plus basse enregistrée au cours de cette étude.

**Tableau 1.** Caractéristiques de la structure d'un peuplement dans le cadre d'une forêt de pins gris semi-matures (36 ans) à Sharpsand Creek.

On a également tenu compte des caractéristiques identifiées dans la première étude sur un peuplement immature de pins gris (26 ans) (de Walker et Stocks, 1975) pour indiquer le changement des conditions au fil du temps.

Espèces d'arbres	Densité des tiges ( $\text{ha}^{-1}$ par arbre)	DHP <sup>A</sup> (cm)				Surface terrière d'un peuplement ( $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ )
		$\bar{x}$	SD	SE	Hauteur (m)	
Peuplement semi-mature (étude actuelle) :						
Pin gris vivant	4 375	8,79	0,5	0,18	12,8	28,4
Pin gris vivant	3 830	360	0,2	0,08	5,7	4,5
Peuplement immature (Walker and Stocks 1975) :						
Pin gris vivant	9 276	5,14	2,2	0,03	9,5 - 10,0	18,6
Pin gris mort	10 229	1,66	0,8	0,01	4,5 - 5,5	2,2

<sup>A</sup> Diamètre à hauteur de poitrine.

Les feux 10 à 13, bien qu'allumés sur de plus grandes parcelles, ont eu le même comportement que les feux 1 à 9, en se propageant lentement et en ayant de faibles intensités frontales (tableau 4). L'augmentation de la taille des parcelles n'a entraîné aucune accélération importante des feux au fil du temps. La consommation moyenne de combustible ( $1,8$  à  $2,3 \text{ kg m}^{-2}$ ) a fortement ressemblé à celle des feux de surface observés au cours des feux expérimentaux allumés sur une ligne sur des pins gris immatures (Stocks, 1989). Cela indique qu'il y avait une quantité suffisante de combustible et que ce n'était pas un facteur limitant pour engendrer des feux d'intensité semblable.

Les feux ultérieurs ou de source linéaire (feux 14 à 21) ont généré des vitesses de propagation plus élevées que celles observées dans les premiers feux allumés à un point source (tableau 5). Toutefois, ils n'ont pas entraîné l'embraselement de la cime, ce qui était très fréquent dans l'étude sur les arbres immatures (Stocks, 1987a). L'embraselement en chandelle ou intermittent des cimes a été observé sur certains feux (feux 15 à 19), entraînant ainsi de plus fortes intensités frontales allant de 3 473 à 6 425 kW m<sup>-1</sup> (figure 3). Le dernier feu expérimental (feu 21) a été le seul de cette série de combustion qui a produit un embraselement d'une intensité élevée et soutenue de la cime (figure 4). Des conditions inflammables extrêmes (ICL de 93,4) ainsi qu'une vitesse du vent supérieure à la moyenne (18,9 km h<sup>-1</sup>), produisant un IPI de 17,8, ont favorisé l'embraselement de la cime. Ce feu s'est propagé rapidement sur toute la longueur de la parcelle. La vitesse de propagation moyenne était de 49,4 m min<sup>-1</sup> avec une intensité frontale de 45 216 kW m<sup>-1</sup>.

Tous les feux allumés à un point source immédiatement après les feux 14 à 21 et côte à côte se sont propagés lentement et à des vitesses identiques à celles des précédents feux de surface allumés à un point source (feux 1 à 13). Aucune accélération n'a été observée. Des observateurs à bord d'un hélicoptère survolant la parcelle n'ont pas détecté de fumée de ces feux de faible intensité, même pour le feu allumé à un point source immédiatement après le feu 21.

**Tableau 2.** Valeurs de référence de la Méthode canadienne de l'indice Forêt-météo (IFM) associées aux feux expérimentaux sur 0,16 ha (1984-1985) ainsi qu'aux caractéristiques du combustible et du comportement du feu.

Feu n°	Date	Codes et indices de la Méthode IFM <sup>A</sup>						Vitesse du vent (km h <sup>-1</sup> )	Profondeur du brûlage (cm)	Consommation de combustible totale (kg m <sup>-2</sup> )	Vitesse de propagation (m min <sup>-1</sup> )	Intensité du feu (kW m <sup>-1</sup> )	Type de feu
		FFMC	DMC	DC	BUI	ISI	FWI						
1	01/06/84	88,9	19,2	115	27,1	5,9	10,8	9,4	2,2	0,65	0,59 (40) <sup>B</sup>	114	Surface
2	04/06/84	92,8	22,0	127	30,7	16,3	24,7	18,7	2,7	1,15	0,94 (39)	328	Surface
3	21/06/84	90,0	18,1	176	28,8	5,5	10,5	4,9	2,8	0,71	0,19 (110)	40	Surface
4	29/07/84	85,5	20,9	142	30,6	3,5	7,4	9,2	2,7 <sup>C</sup>	1,15 <sup>C</sup>	0,13 (30)	46	Surface
5	30/07/84	88,5	24,4	150	34,7	7,3	14,4	15,0	3,0	1,01	0,34 (60)	104	Surface
6	28/06/85	90,6	25,7	115	33,0	6,7	13,2	7,0	3,5	1,51	0,22 (75)	101	Surface
7	01/07/85	88,9	35,4	140	43,3	6,7	15,3	11,6	3,7	1,20	0,42 (65)	153	Surface
8	03/08/85	89,7	34,9	258	52,2	7,2	17,9	11,0	4,1	1,50	0,27 (65)	123	Surface
9	04/08/85	89,8	37,9	266	55,9	8,4	20,8	14,3	4,6	1,79	0,48 (45)	203	Surface

<sup>A</sup> Abréviations : IFM – Indice forêt-météo, ICL – Indice du combustible léger, IH – Indice de l'humus, IS – Indice de sécheresse, IPI – Indice de propagation initiale, et ICD – Indice de combustible disponible. D'autres composantes de la Méthode canadienne de l'indice Forêt-météo (MCIFM) sont décrites dans le document de Van Wagner (1987).

<sup>B</sup> Le numéro entre parenthèses indique la durée totale en minutes des observations avant que le feu ne soit éteint.

<sup>C</sup> Les valeurs de la consommation totale de combustible et de la profondeur de brûlage du feu 4 étaient présumées être identiques à celles du feu n° 2 (valeurs d'ICD identiques) puisque la taille du dernier feu était trop petite pour brûler les tiges à la profondeur de brûlage.

**Tableau 3.** Valeurs de la vitesse de propagation observées à différents moments au cours du feu 7 (tableau 2).

Il est à noter qu'il n'y a aucune tendance dans l'accélération du feu.

Délai après allumage (min)	Distance de déplacement du front dans le délai (m)	Vitesse de propagation (m min <sup>-1</sup> ) au cours du délai
0 - 1	0,9	0,70
1 - 3	0,9	0,45
3 - 5	1,5	0,75
5 - 7	0,6	0,30
7 - 10	1,1	0,37
10 - 15	1,6	0,32
15 - 20	0,9	0,18
20 - 25	3,8	0,76
25 - 30	2,5	0,50
30 - 35	0,7	0,14
35 - 45	1,2	0,24
45 - 55	0,7	0,01
55 - 65	1,8	0,36



**Figure 3.** Profil de peuplement A) d'un ensemble de combustibles de pins gris immatures (26 ans) de Stocks (1987a) comparé à B) un ensemble de combustibles de pins gris semi-matures (environ 36 ans) lors du projet de brûlage expérimental de Sharpsand Creek en 1984-1991.



**Figure 4.** Vue aérienne du développement d'un feu de cime (feu 17).



**Figure 5.** Comportement d'un feu de cime soutenu observé du ciel au cours du feu 21.

Le vent souffle du coin inférieur droit vers le coin supérieur gauche. Remarquez les bandes vertes des arbres intacts qui délimitent le côté de la parcelle où a eu lieu l'allumage sur une ligne. Il s'agit d'un événement fréquent, puisque le feu accélère à partir de la ligne d'allumage et que l'intensité du front du feu augmente jusqu'à l'embrasement de la cime à un endroit sous le vent à partir de la ligne d'allumage. Étant donné la faible longueur de cette bande intacte, il est assez impressionnant de constater la rapidité avec laquelle le feu peut se développer et l'embrasement de la cime se produit lorsque l'on a recours à l'allumage sur une ligne.

## Discussion

Malgré le nombre élevé d'arbres morts sur pied issus de l'éclaircie naturelle du peuplement immature, l'incorporation rapide des combustibles ligneux morts sur le sol à la couverture morte a permis de conserver les charges de combustible de surface à de faibles niveaux, puisque le peuplement de pins gris était un stade semi-mature. L'incorporation a été accélérée puisque le combustible ligneux mort sur le sol a rapidement été recouvert par l'hypne vivante, ce qui a par la suite créé un site humide favorisant une décomposition plus rapide. En fonction de la différence entre les études de combustible espacées de seulement dix ans, il est clair que les arbres de petit diamètre de cette matière ligneuse morte ont subi une incorporation rapide. Si ce combustible avait toujours été présent dans le sous-bois, les intensités du feu frontal auraient été bien plus élevées et auraient probablement contribué l'embrasement des cimes.

Dans plusieurs peuplements de pins gris, le sous-bois de conifères se compose souvent d'épinettes (*Picea* spp.) ou de sapins baumiers (*Abies balsamea*), ce qui fournit effectivement d'importantes quantités de combustibles étagés pour déclencher un embrasement de cime. Des densités élevées de sous-bois de conifères améliorent la probabilité que des feux de surface atteignent le seuil d'embrasement de la cime. Il faut remarquer qu'étant donné que l'absence de conifères en sous-bois sur ce site et sur de nombreux sites forestiers de pins gris secs semi-matures est fréquente, on peut estimer que le comportement des feux observés dans cette étude est normal. Les combustibles étagés qui se composent souvent de feuillage d'arbres qui s'étendent sur la surface du sol disparaissent avec l'âge, à mesure que les arbres deviennent plus grands et connaissent un élagage naturel qui enlève le feuillage et les branches légères propices à un embrasement de la cime.

Une comparaison de tous les premiers petits feux allumés à un point source (feux 1 à 9) a révélé que le feu 1 faisait figure d'exception possible par rapport à une vitesse de propagation sur une parcelle de lambeaux d'érosion (tableau 2). La vitesse de propagation de ce feu a été plus élevée que sur les autres parcelles, étant donné la faible valeur de l'IPI au moment du brûlage. D'autres examens de ce feu ont révélé que, malgré la conception de notre étude, il était en réalité allumé très proche du bord de la parcelle et avait sans doute subi un effet lisière accidentel (c.-à-d. l'humidité réduite du combustible sur le sol en raison du rayonnement solaire accru et des forts vents à effet lisière). Les autres feux (feux 2 à 9) ont permis d'élaborer l'équation suivante :

$$[1] \quad \text{Vitesse de propagation} = -0,134 + 0,066 \text{ IPI}; n = 8; R^2 = 0,93; SE = 0,07; \text{IPI} \geq 3,5$$

La relation est forte dans les conditions d'IPI observées. Toutefois, la différence dans la vitesse de propagation actuelle n'augmente que de façon marginale à mesure que les valeurs de l'IPI deviennent élevées. Étant donné la densité d'arbres du peuplement (tableau 1), la prévision de faibles vitesses de propagation ne devrait pas être surprenante au vu des faibles vitesses du vent à l'intérieur du peuplement, en raison de l'incapacité qu'ont les vents ambiants à pénétrer dans le peuplement de pins gris au niveau du sol. Par exemple, la vitesse moyenne du vent ambiant à l'air libre a été mesurée à 9,6 km h<sup>-1</sup> sur une période d'une heure pour le feu 10, alors que cette vitesse moyenne dans le peuplement n'était que de 0,1 km h<sup>-1</sup>. À ces vitesses de vent à l'air libre et avec une valeur d'IPI de 11,5, la vitesse de propagation d'équilibre prévue par Stocks (1987a) pour les pins gris immatures aurait été de 24,2 m min<sup>-1</sup>, ce qui est considérablement supérieur à celle observée sur ce feu (0,27 m min<sup>-1</sup>). La direction du vent

dans le peuplement a également varié plus que prévu en raison des vents tourbillonnants, ce qui a entraîné un déplacement continu du front de l'incendie pendant le feu. Ce changement continu de la direction du vent aurait réduit toute accélération du feu à partir d'un allumage à un point source.

L'allongement de la période de développement du feu en agrandissant la parcelle n'a pas permis de réduire de façon considérable la faible propagation de ces feux allumés à un point source (feux 10 à 13). Même lorsqu'on laissait les parcelles brûler pendant 90 minutes, la vitesse de propagation demeurait faible. Pendant ces feux, aucune accélération de feu identifiable avec le temps n'a pu être documentée. L'association des données sur les plus grands feux de 1987 allumés à un point source (tableau 4) avec l'ensemble de données de 1984-1985 (tableau 2) a permis d'illustrer par la suite que la vitesse de propagation prévue est très faible. Une analyse de cet ensemble de données combinées relatives à tous les feux allumés à un point source a donné l'équation suivante :

$$[2] \quad \text{Vitesse de propagation} = -0,082 + 0,052 \text{ IPI}; n = 12; R^2 = 0,66; SE = 0,13; \text{IPI} \geq 9,4$$

Cette nouvelle équation est presque identique à l'équation 1, où la pente est très petite, ce qui indique que toute augmentation dans la vitesse de propagation sera faible pour toute augmentation d'unité dans l'IPI. Les feux allumés à un point source de notre étude semblent être en équilibre en présence de conditions de brûlage interne et ont été incapables d'atteindre les plus hautes vitesses de propagation d'équilibre pour l'allumage sur une ligne prévues par la Méthode PCI. Les résultats présents montrent l'extrême difficulté qu'un feu de surface allumé à un point source brûlant dans le sous-bois d'un peuplement épais de pins gris a à accélérer et à atteindre un seuil d'embrasement de la cime, où on aurait pu s'attendre à une vitesse de propagation élevée.

Le comportement actuel des feux observé dans un couvert forestier fermé est difficile à prévoir, puisque deux types de feux peuvent être concernés (feu de surface et de cime) selon qu'un seuil d'embrasement de cime a été atteint ou non. Le Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada (1992) décrit ce qu'il entend par vitesse de propagation de double équilibre pour ce type de combustible. Selon lui, seul le vent qui peut pénétrer dans le peuplement sous le couvert influence les feux de surface. Toutefois, un feu de cime déterminé est exposé aux vents ambiants qui soufflent au-dessus du couvert et est directement influencé par ces vents. Il semble que pour passer d'un feu de surface à un feu de cime, en particulier dans un couvert fermé dense fréquent sur les sites de pins gris, un type de discontinuité dans le combustible est nécessaire pour permettre au vent ambiant de pénétrer au niveau du sol, là où il peut avoir un effet direct sur le feu de surface. La pénétration de forts vents peut alors provoquer un embrasement en chandelle (s'il y a suffisamment de combustibles étagés), ce qui peut entraîner un embrasement de cime soutenu dans de bonnes conditions. Une fois déterminé, le feu de cime demeure lié aux feux de surface et est entretenu par la vitesse plus élevée et régulière du vent soufflant au-dessus du couvert. Un embrasement de cime peut rapidement redevenir un feu de surface à cause de possibles accalmies. Dans ces cas-là, une fois que les vents ambiants se sont de nouveau renforcés, le feu de surface peut ne pas se transformer en feu de cime si les vents ne peuvent pas atteindre le sol. Cela peut se produire lorsqu'il y a une accalmie dans un peuplement où le couvert est dense et fermé. Toutefois, de vastes zones brûlées derrière le feu là où il est apparu peuvent souvent permettre au vent de

pénétrer et de relancer rapidement le feu. Cela ne serait vrai que si l'accalmie est brève, que les zones brûlées restent adjacentes et dans le vent du front actif. Selon le Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada (1992), la probabilité de passer d'une faible vitesse de propagation (feu de surface) à une vitesse de propagation d'équilibre élevée pour un allumage sur une ligne (embrasement de cime) dépend des caractéristiques des types de combustible locaux (taille, nombre et distribution des ouvertures dans le couvert), de la topographie locale (petites collines et crêtes), et des conditions météorologiques localisées (exposition au soleil, heure de la journée, vitesse et changement de direction du vent). Les feux allumés à un point source qui progressent lentement (feux 1 à 13) de cette étude indiquent qu'atteindre la deuxième étape (c.-à-d. l'embrasement de la cime) dans ce processus de double équilibre est souvent rendu très difficile en fonction des conditions de brûlage rencontrées dans l'étude.

Les feux 14 à 21 ont corroboré le fait que les feux allumés sur une ligne dans des peuplements de pins gris semi-matures se propageaient plus rapidement que ceux allumés à un point source (feux 1 à 13) dans des conditions de brûlage identiques. En général, lorsque l'ICL est inférieur à 90 et que la vitesse des vents ambiants est inférieure à 10 km h<sup>-1</sup>, seuls se déclarent les feux de surface allumés sur une ligne (feux 14 à 15 et 20). Avec des valeurs d'ICL plus élevées de 90 ou plus, un embrasement intermittent était possible (feux 16, 17 et 19) à des vitesses de vent aussi faibles que 9 km h<sup>-1</sup>. À des valeurs d'ICL basses, des vitesses de vent ambiant plus élevées semblaient compenser une faible valeur d'ICL (feu 18) et favoriser un embrasement intermittent en chandelle. Le seul feu de cime soutenu (feu 21, figure 5) au cours de l'étude s'est produit lorsque la valeur d'ICL était extrême (>93,0) et que la vitesse du vent ambiant était élevée (18,9 km h<sup>-1</sup>). Toutefois, il faut remarquer que cette vitesse de vent était bien inférieure aux 29 km h<sup>-1</sup> nécessaires à attiser un embrasement de cime intermittent dans un peuplement mature plus âgé (Stocks, 1989). La propagation de ce feu de cime s'est révélée être importante pour vérifier que l'embrasement de la cime pouvait se produire dans un peuplement semi-mature avec des vitesses de vent assez modérées. Cela indique que les conditions nécessaires pour la propagation d'un feu de cime dans un peuplement de pins gris semi-matures sont moins strictes que celles nécessaires dans un peuplement mature, mais plus strictes que les conditions nécessaires dans un peuplement immature de pins gris.

On a établi une équation fondée sur les feux 14 à 20 (tableau 5) pour la propagation d'un feu de surface allumé sur une ligne :

$$[3] \quad \text{Vitesse de propagation} = -3,132 + 0,07 \text{ IPI}; n = 7; R^2 = 0,94; SE = 0,49; \text{IPI} \geq 5,7$$

Ce modèle montre que les vitesses de propagation étaient supérieures à celles des feux allumés à un point source (équations 1 et 2). Alors que plusieurs valeurs d'IPI identiques étaient associées à un embrasement de cime dans la précédente étude sur le pin gris immature (Stocks, 1987a), l'incapacité de la plupart des feux actuels allumés sur une ligne à atteindre un seuil d'embrasement de cime a révélé que les conditions de brûlage avaient changé, le peuplement de pins gris ayant vieilli. L'équation 3 est comparable à l'équation 8a de la vitesse de propagation établie par Stocks (1989) pour les feux de surface dans un peuplement mature de pins gris. En regroupant les deux ensembles de données, on obtient la prévision de la vitesse de propagation suivante qui se rapproche beaucoup de celle formulée par Stocks (1989) :

$$[4] \quad \text{Vitesse de propagation} = -5,436 + 1,101 \text{ IPI}; n = 19; R^2 = 0,88; SE = 1,29; \text{IPI} \geq 3,3$$

La vitesse de propagation actuelle de  $49,4 \text{ m min}^{-1}$  pour le feu de cime de 1991 attisé par le vent (feu 21) est la même que la vitesse la plus élevée mesurée par Stocks (1987a) dans l'étude dans un peuplement immature de pins gris (feu 11b). Dans le cas de ces deux feux, les valeurs d'IPI étaient respectivement de 17,8 et de 19,7. Cette valeur de la vitesse de propagation n'est que légèrement supérieure à la valeur prévue de  $44,9 \text{ m min}^{-1}$  obtenue grâce à l'équation 7a de Stocks (1987). Toutefois, notre valeur expérimentale est bien supérieure à la valeur de  $33,1 \text{ m min}^{-1}$  prévue par l'équation 9 de Stocks (1987a), qui tenait également compte des données sur les feux de végétation pour compléter les données de l'étude expérimentale, et la valeur de  $28,5 \text{ m min}^{-1}$  prévue par la Méthode PCI pour le type de combustible dans un peuplement immature de pins gris (C-4) (Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada, 1992). Il faut également noter que la courbe élémentaire de la vitesse de propagation selon la Méthode PCI relative au pin gris mature (Groupe de travail sur les dangers d'incendies au Canada, 1992) démontre ces vitesses de propagation élevées sont possibles.

**Tableau 4.** Valeurs de référence de la Méthode canadienne de l'indice Forêt-météo (IFM) pour les feux expérimentaux de 1987 accompagnées des caractéristiques du combustible et du comportement du feu.

Feu n°	Date	Codes et indices de la Méthode IFM <sup>A</sup>						Vitesse du vent (km h <sup>-1</sup> )	Profondeur du brûlage (cm)	Consommation de combustible totale (kg m <sup>-2</sup> )	Rate of spread (m min <sup>-1</sup> )	Frontal fire intensity (kW m <sup>-1</sup> )	Fire type
		ICL	IH	IS	ICD	IPI	IFM						
10	19/06/87	93,6	46,1	193	57,8	11,5	26,4	9,6	5,0	1,82	0,27 (60) <sup>B</sup>	145	Surface
11	21/06/87	93,3	55,5	204	66,1	9,8	25,3	7,3	4,9	1,78	0,29 (90)	153	Surface
12	23/07/87	92,9	65,3	217	74,5	10	27,3	8,8	6,0	2,27	0,35 (80)	239	Surface
13	02/07/87	91,8	73,4	283	89,1	9,4	28,5	10,5	5,5	2,04	0,45 (50)	279	Surface

<sup>A</sup> Abréviations : IFM – Indice forêt-météo, ICL – Indice du combustible léger, IH – Indice de l'humus, IS – Indice de sécheresse, IPI – Indice de propagation initiale, et ICD – Indice de combustible disponible.

<sup>B</sup> Le numéro entre parenthèses indique la durée totale en minutes des observations avant que le feu ne soit éteint.

**Tableau 5.** Valeurs de référence de la Méthode canadienne de l'indice Forêt-météo (IFM) pour les plus grands feux expérimentaux de 1987 accompagnées des caractéristiques du combustible et du comportement du feu.

Feu n°.	Date	Codes et indices de la Méthode IFM <sup>A</sup>						Vitesse du vent (km h <sup>-1</sup> )	Profondeur du brûlage (cm)	Consommation de combustible totale (kg m <sup>-2</sup> )	Vitesse de propagation (m min <sup>-1</sup> )	Intensité du feu (kW m <sup>-1</sup> )	Type de feu
		FFMC	DMC	DC	BUI	ISI	FWI						
14	25/05/88	88,9	33,7	110	38,1	6,0	13,2	10	3,2	2,20	2,1	1 385	Surface
15	02/06/88	89,5	42,4	153	50,1	6,3	15,9	9	4,9	2,62	2,1	1 650	Surface
16	03/06/88	91,3	46,7	161	54,1	8,1	20	9	4,6	3,31	3,5	3 473	Some torching
17	04/06/88	92,4	51,9	169	58,7	10,0	24,4	10	5,7	3,97	5,4	6 425	Torching
18	01/06/90	89,9	31,5	78	31,5	9,4	17,8	16	2,5	3,07	4,6	4 231	Some torching
19	07/06/91	92,2	49,4	161	55,9	10,9	25,0	13	4,3	2,41	5,1	3 678	Torching
20	13/06/91	88,6	70,2	205	75,6	5,7	18,5	10	4,4	1,41	0,8	336	Surface
21	19/06/91	93,4	56,5	231	70,2	17,8	38,8	19	3,7	3,06	49,4	45 216	Crown

<sup>A</sup> Abréviations : IFM – Indice forêt-météo, ICL – Indice du combustible léger, IH – Indice de l'humus, IS – Indice de sécheresse, IPI – Indice de propagation initiale, et ICD – Indice de combustible disponible.

## **Sommaire**

Une série de vingt et un feux expérimentaux reproduits dans un peuplement semi-mature de pins gris (âgés de 36 à 43 ans) a montré qu'il était impossible d'atteindre un seuil d'embrasement à partir d'un feu de surface allumé à un point source lorsque le feu était allumé et restait à l'intérieur d'un peuplement fermé complètement reboisé. Cela est important, car la plupart des feux de végétation sont allumés à un point source (p. ex. foudre, cigarette, etc.). Nos conclusions soutiennent la thèse selon laquelle une situation de double équilibre de la vitesse de propagation existe, puisque le vent ambiant peut rarement pénétrer dans un peuplement au couvert supérieur dense pour attiser un feu de surface dans un peuplement dense. D'importantes différences observées entre la vitesse de propagation de feux allumés à un point source dans le peuplement et de feux allumés sur une ligne sur le bord d'une parcelle sous l'influence directe du vent ambiant confirment la thèse. Il semble qu'il soit important d'avoir un certain type de discontinuité de combustible (p. ex., vides dans le couvert, des zones de chablis, des effets lisière issus de plans d'eau naturels, etc.) pour permettre au vent ambiant de pénétrer au niveau du sol, où il peut avoir un effet direct sur la propagation du feu. La structure du combustible (p. ex., la présence de combustibles étagés, la présence d'espèces de conifères sous-couvert, des combustibles ligneux morts, etc.) est tout aussi importante. Les combustibles étagés disparaissent à mesure que le peuplement de pins gris se développe, car la densité de ces peuplements favorise un élagage naturel qui entraîne une perte de combustibles légers (p. ex., des branches légères, du feuillage, etc.) dans le sous-couvert à proximité du sol. Nos conclusions peuvent permettre d'établir une priorité dans la réaction à la suppression des incendies lorsque plusieurs départs de feu se produisent à un moment où les risques d'incendie sont extrêmes.

## **Remerciements**

Les programmes de brûlages expérimentaux mis en place sur de nombreuses années, comme cette étude, nécessitent des efforts de beaucoup de personnes. La coopération et le soutien logistique du ministère des Richesses naturelles de l'Ontario et des Forêts dans la planification et la mise en œuvre de ces feux expérimentaux sont grandement appréciés. Nous souhaiterions également remercier B.M. Wotton pour ses commentaires sur une version antérieure de cette étude.

## Références

- Alexander, M.E.; Stocks, B.J.; Lawson, B.D. 1991. Fire behavior in the black spruce lichen woodland: the Porter Lake Project. For. Can., North. For. Cent., Edmonton, AB. Inf. Rep. NOR-X-310. 44 p.
- Cheney, N.P. 1981. Fire behavior. pp. 151-175 in *Fire and the Australian Biota*. A.M. Gill, R.H. Grove and I.R. Noble, eds. Australian Academy of Science, Canberra, Australia.
- Cheney, N.P.; Gould, J.S.; Catchpole, W.R. 1993. Influence of fuel, weather and fire shape variables on fire-spread in grasslands. *Int. J. Wildl. Fire* 3:31-44.
- 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*. Forêts Canada, Ottawa ON. Rapport d'information ST-X-3. 68 p.
- Johansen, R.W. 1987. Ignition patterns and prescribed fire behavior in southern pine stands. *Georgia For. Comm. Res.*, Macon, GA. *Georgia For. Res. Pap.* 72:1-8.
- Kiil, A.D. 1975. Fire spread in a black spruce stand. *Environ. Can., Can. For. Serv., Ottawa, ON. Bi-monthly Research Notes* 31:2-3.
- Lawson, B.D. 1973. Fire behavior in lodgepole pine stands related to the Canadian Fire Weather Index. *Can. For. Serv. Inf. Rep. BC-X-76*. 26 p.
- McRae, D.J.; Alexander, M.E.; Stocks, B.J. 1979 *Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: a hand-book*. Depart. of the Environ., Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, ON. Inf. Rep. O-X-287. 44 p.
- Quintillio, D.; Fahnestock, G.R.; Dubé, D.E. 1977. Fire behavior in upland jack pine: the Darwin Lake Project. *Can. For. Serv., Edmonton, AB. Info. Rep. NOR-X-174*. 49 p.
- Service Canadien des Forêts. 1984. *Tables de l'indice forêt-météo de la méthode canadienne*. *Environ. Can., Serv. Can. For., Ottawa, ON. Rapport technique de foresterie* 25F. 73 p.
- Stocks, B.J. 1987a. Fire behavior in immature jack pine. *Can. J. For. Res.* 17:80-86.
- Stocks, B.J. 1987b. Fire potential in the spruce budworm damaged forests of Ontario. *For. Chron.* 63(1):8-14.
- Stocks, B.J. 1989. Fire behavior in mature jack pine. *Can. J. For. Res.* 19:783-790.
- Stocks, B.J.; Walker, J.D. 1972. Fire behavior and fuel consumption in jack pine slash in Ontario. *Dep. Environ., Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, ON. Inf. Rep. O-X-169*. 19 p.
- Stocks, B.J.; Walker, J.D. 1973. Climatic conditions before and during four significant forest fire situations in Ontario. *Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, ON. Inf. Rep. O-X-187*. 37 p.
- Stocks, B.J.; Hartley, G.R. 1995. Fire behavior in three jack pine fuel complexes. Northern Ont. Dev. Agreement, Sault Ste. Marie, ON (poster with text).
- Van Wagner, C.E. 1987. *Élaboration et structure de la méthode canadienne de l'Indice Forêt-Météo*. C.E. Service canadien des forêts, Administration centrale, Ottawa (Ontario). *Rapport technique de foresterie* 35F. 44 p.

Van Wagner, C.E. 1993. Prediction of crown fire behavior in two stands of jack pine. *Can. J. For. Res.* 23:442-449.

Walker, J.D.; Stocks, B.J. 1975. The fuel complex of mature and immature jack pine stands in Ontario. *Can. For. Serv., Sault Ste. Marie, ON. Inf. Rep. O-X-229.* 19 p.

Weber, R.O. 1989. Analytical models for fire spread due to radiation. *Combustion and Flame* 78: 398-408.



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](http://scf.rncan.gc.ca/publications)**