



Burn-P3

Version 4.7

Guide de l'utilisateur, 2017

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Guide de l'utilisateur | 4 |
| Section 1. Burn-P3: le modèle de simulation des feux de végétation | 5 |
| Qu'est-ce que Burn-P3? | 5 |
| Conception générale de Burn-P3 | 5 |
| Objectifs | 5 |
| Entités, variables d'état et échelles | 5 |
| Processus global et planification | 8 |
| Conception | 10 |
| Initialisation | 14 |
| Intrants | 15 |
| Sous-modèles | 16 |
| Références | 17 |
| Section 2: Les composantes Burn-P3 | 18 |
| Dictionnaire | 19 |
| Paysage | 21 |
| Table de correspondance des combustibles de la méthode PCI | 21 |
| Données géospatiales | 23 |
| Combustibles de la méthode PCI | 24 |
| Fichier de projection | 25 |
| Altitude | 25 |
| Zones d'incendie | 26 |
| Zones météorologiques | 27 |
| Coupe-feux vectorisés | 28 |
| Caractéristiques du paysage | 30 |
| Grille | 30 |
| Position du coin en bas à gauche | 30 |
| Altitude par défaut | 30 |
| Fuseau horaire | 30 |
| Module des allumages | 31 |
| Nombre d'allumages par itération | 31 |
| Emplacements des allumages | 32 |
| Restrictions des allumages | 34 |
| Distribution du nombre d'allumages par saison, cause et zone d'incendie | 34 |
| Module de conditions de brûlage | 35 |
| Liste de météo-incendie | 35 |
| Sélection de la météo-incendie quotidienne | 37 |
| Durée de l'incendie | 37 |
| Météo-incendie spécialisée | 40 |

| | |
|---|-----------|
| Module de propagation | 42 |
| Paramètres de Prometheus | 42 |
| Nombre d'heures quotidiennes de brûlage en conditions extrêmes | 42 |
| La propagation de l'incendie cesse en bordure de l'aire d'étude | 42 |
| État saisonnier de la végétation | 43 |
| Herbe fanée | 43 |
| Règles de la feuillaison | 43 |
| Simulation | 44 |
| Durée de la simulation | 44 |
| Superficie minimale de l'incendie | 44 |
| Sauvegarde automatique des fichiers de sortie | 44 |
| Contrôle de la randomisation | 45 |
| Contrôle des flux de données aléatoires | 45 |
| Fichiers de sortie | 46 |
| Carte de probabilité d'incendie | 46 |
| Statistiques | 48 |
| Fichier log | 49 |
| Fichiers de sortie spécialisés | 49 |
| Section 3: Items de la barre de menus | 54 |
| Menu fichier | 54 |
| Importer/exporter BP3T | 54 |
| Simulation en lot | 55 |
| Menu outils | 56 |
| Contrôle des processus | 56 |
| Reproduire la simulation | 57 |
| Section 4: Dépannage | 58 |
| Références | 60 |

Guide de l'utilisateur

Le guide de l'utilisateur se divise en quatre sections. Dans la première section «Burn-P3: le modèle de simulation des feux de végétation», la conceptualisation de Burn-P3 est expliquée selon le protocole de description de modèle ODD (Overview, Design concepts, Details) (Grimm *et al.* 2006; Grimm *et al.* 2010). Les intrants, les paramètres et les formats des fichiers de sortie de Burn-P3 sont présentés à la seconde section «Les composantes Burn-P3». La troisième section présente les items du menu fichier. Pour terminer, la quatrième section «Dépannage» fournit une liste des astuces et des précautions permettant de résoudre les problèmes fréquemment rencontrés par les utilisateurs.

Parisien *et al.* (2005), tel que cité au bas de la page, est le document technique officiel de Burn-P3. Plusieurs modifications ont été apportées au logiciel depuis la publication de ce document. Par conséquent, le présent guide de l'utilisateur devrait être considéré comme le plus récent ouvrage concernant Burn-P3. Aussi, plusieurs études ayant utilisé Burn-P3 se retrouvent à la section «Références», à la toute fin de ce document.

Puisque Burn-P3 s'inspire en majeure partie de la méthode canadienne d'évaluation des dangers d'incendie de forêt (MCEDIF), il est nécessaire que l'utilisateur ait une connaissance approfondie de ses sous-systèmes, soit la méthode canadienne de l'Indice forêt-météo (IFM) (Van Wagner 1987) et la méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI) (Groupe de travail sur le danger d'incendie de forêt au Canada 1992). Il est aussi fortement recommandé d'apprendre à utiliser [Prometheus](#), le logiciel de propagation des incendies.

Le logiciel Burn-P3 ainsi que les fichiers test qui l'accompagnent peuvent être téléchargés à partir d'un des deux sites internet ci-dessous qui sont supportés par Alberta Agriculture and Forestry (1) et l'université de l'Alberta (2):

- 1) http://www.firegrowthmodel.ca/burnp3/software_f.php
- 2) <https://www.ualberta.ca/~wcfws/burn-p3-fr.html>

La citation officielle de Burn-P3 se fait comme suit:

Parisien, M.-A., Kafka, V.G., Hirsch, K.G., Todd, B.M., Lavoie, S.G., and Maczek, P.D. 2005. Mapping fire susceptibility with the Burn-P3 simulation model. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta, Information Report NOR-X-405.

Section 1. Burn-P3: le modèle de simulation des feux de végétation

Qu'est-ce que Burn-P3?

Burn-P3 (probabilité, prédiction et planification) est un modèle de simulation qui évalue la probabilité d'incendie (PI) d'un vaste territoire exposé aux feux de végétation. C'est un logiciel libre compatible avec le système d'exploitation Windows.

Conception générale de Burn-P3

Dans ce document, la description du modèle de simulation des incendies Burn-P3 suit les étapes du protocole ODD (Overview, Design concepts, Details) (Grimm *et al.* 2006; Grimm *et al.* 2010). Des descriptions exhaustives de Burn-P3 sont aussi disponibles dans les publications suivantes: Beverly *et al.* 2009; Braun *et al.* 2010; Parisien *et al.* 2005, 2011, 2013. Dans cette section, les éléments et la fondation conceptuelle de l'approche de modélisation sont expliqués, plutôt que la structure du logiciel en tant que tel.

Objectifs

L'objectif du modèle Burn-P3 consiste à évaluer la probabilité relative d'incendie, à un point donné (pixel) d'un paysage matriciel (grille). Cet objectif est atteint suite à la modélisation d'allumages et de propagation d'incendies forestiers d'une envergure prédéterminée (p. ex. >200 ha).

Entités, variables d'état et échelles

Entités

Les entités modélisées par Burn-P3 sont des pixels; cellules individuelles de grilles matricielles.

Variables d'état

Les variables d'état, présentées dans le tableau suivant, sont utilisées lors de la simulation de chaque incendie. Elles se séparent en deux catégories; les unités spatiales, qui sont essentiellement cartographiques, et les unités environnementales, qui affectent le feu en entier sans influence spatiale. Plusieurs de ces variables sont facultatives au fonctionnement de Burn-P3.

Variables d'état utilisées lors de la modélisation des probabilités d'incendie avec Burn-P3

| Catégorie | Nom | Type de données | Description ^A |
|--------------------------|---|---|---|
| Unités spatiales | Combustibles | Grille (nominales) | Types de combustibles de la méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt et éléments non-combustibles |
| | Topographie ^B | Grille (numériques) | Altitude (m) |
| | Emplacements des allumages | Grille (numériques) | Probabilité relative d'allumage (sans unité); l'allumage peut être déterminé spatialement ou aléatoirement |
| | Zones d'incendie ^B | Grille (nominales) | Zones géographiques aux régimes de feux distincts |
| | Zones météorologiques ^B | Grille (nominales) | Zones géographiques aux conditions météorologiques distinctes |
| | Grilles des vents ^B | Grille (numériques) | Influence de la topographie sur la direction (°) et la vitesse (km/h) des vents pour les points cardinaux et intercardinaux |
| Unités environnementales | Coupe-feux ^B | Fichiers de forme (nominales) | Structure linéaire dont la largeur est prédéterminée et qui interrompt complètement ou partiellement la propagation de l'incendie |
| | Saisons ^B | Paramètre (nominales) | Début et fin de périodes lors desquelles les conditions météorologiques, la feuilaison et la fanaison des graminées varient |
| | Causes ^B | Paramètre (nominales) | Causes de l'allumage; leur configuration spatiale est influencée par les saisons |
| | Durée de l'incendie | Distribution de fréquences (numériques) | Nombre de journées de propagation d'un incendie; valeur constante spécifiée dans les paramètres ou valeurs tirées d'une distribution de fréquences |
| | Nombre d'heures quotidiennes de brûlage | Distribution de fréquences (numériques) | Le nombre d'heures quotidiennes de brûlage; valeur constante ou distribution de fréquences spécifiée pour chaque saisons ou pour toutes les saisons |
| | Conditions météorologiques | Conditions forêt-météo (numériques) | Données météorologiques enregistrées à la station météo à midi heure normale locale et associée aux composantes de la méthode canadienne de l'indice forêt-météo (IFM) (Van Wagner 1987); la liste des données météorologiques est divisée par saison et par zone météorologique; les conditions météorologiques quotidiennes requises pour une propagation de plus d'un jour peuvent être prélevées dans la liste de manière séquentielle ou aléatoire |

^A Unités entre parenthèses pour les variables numériques^B Désigne les variables d'état facultatives

Les combustibles, la topographie, les emplacements des allumages, les zones d'incendie, les zones météorologiques, les grilles des vents et les coupe-feux constituent les unités spatiales. La variable combustible consiste en une classification des types de combustibles basée sur les attributs de la végétation quant à leur influence sur le comportement du feu, en fonction de la météo et de la topographie. Les non-combustibles correspondent à des pixels qui ne brûlent pas; elles représentent par exemple des étendues d'eau ou encore le roc exposé. La topographie influence le comportement du feu puisque les vitesses et directions des vents varient en fonction de la pente et de l'exposition. Les emplacements des allumages sont des probabilités d'allumage pondérées spatialement sur l'aire d'étude et peuvent varier en fonction des saisons et des causes d'incendie. Les zones d'incendie délimitent le paysage selon les distinctions des régimes de feux. Les zones météorologiques sont des aires aux conditions météorologiques différentes avec lesquelles la propagation des feux est simulée. Les grilles des vents modifient les directions et vitesses des vents en fonction de la topographie. Les coupe-feux sont, quant à eux, des structures linéaires qui interrompent la propagation de l'incendie. L'épaisseur des coupe-feux doit être précisée et il est possible de permettre les percées dans les coupe-feux.

Les unités environnementales incluent les saisons, causes, durée de l'incendie, nombre d'heures de brûlage par jour et conditions météorologiques quotidiennes. Les saisons correspondent aux périodes au cours desquelles les conditions météorologiques et la qualité des combustibles (graminées, arbres décidus) influencent le comportement des incendies. Le type d'allumage est déterminé par la cause de l'incendie (foudre, humaine). La répartition spatiale des allumages diffère en fonction des saisons et des causes. La durée de l'incendie désigne le nombre de jours au cours desquels chaque feu brûle, ce nombre peut varier en fonction de la zone d'incendie. Le nombre d'heures quotidiennes de brûlage détermine la durée de la propagation de l'incendie durant la journée, ce nombre peut varier de jour en jour et ces fréquences peuvent changer selon la saison. Les conditions météorologiques sont quant à elles utilisées afin de simuler la propagation des incendies.

Échelles

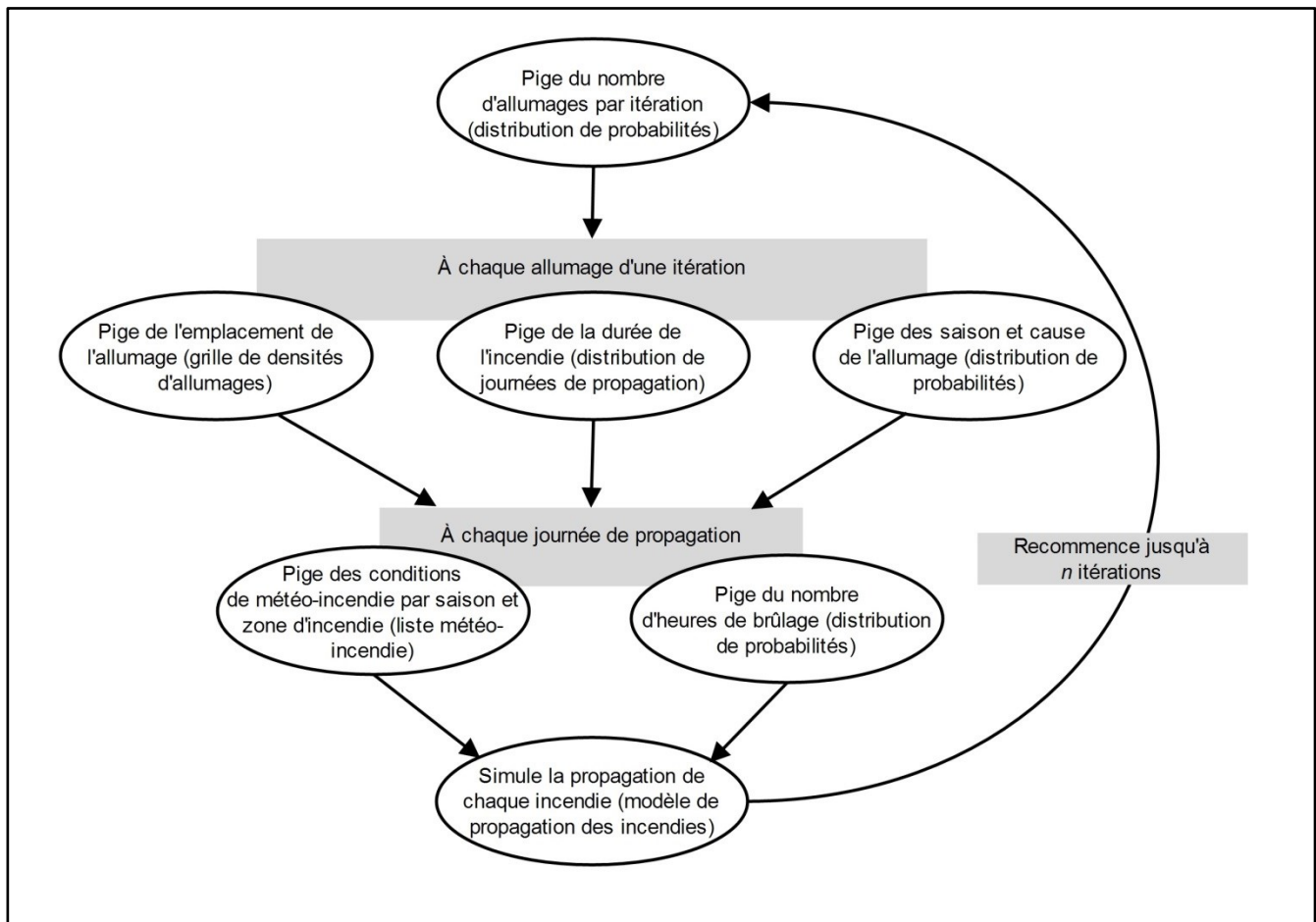
Le traitement d'une année correspond à une itération. Une même année est traitée de nombreuses fois lors d'une simulation Burn-P3. Chaque incendie est modélisé quotidiennement. L'étendue spatiale correspond à l'aire d'étude (écorégion, aire d'aménagement), dont la résolution (taille des pixels) varie généralement entre 25 et 500 mètres. Une zone tampon entourant l'aire d'étude devrait être ajoutée par l'utilisateur afin d'éviter l'effet de bordure et de permettre aux incendies d'allumer en dehors du périmètre étudié pour ensuite se propager à l'intérieur de l'aire d'étude. Cette zone tampon pourra être retirée une fois les analyses terminées.

Processus global et planification

La figure suivante explique le processus global du modèle Burn-P3. Les boîtes contiennent les processus spécifiques du modèle et les intrants, qui apparaissent entre les parenthèses et qui sont en fait, les variables d'état et les paramètres de modélisation. L'ensemble de ces processus résulte en une aire incendiée par les feux simulés lors d'une itération. Suite à la simulation d'un nombre élevé d'itérations, la probabilité d'incendie (PI) est obtenue par le calcul du nombre de pixels brûlés par rapport au nombre total d'itérations.

Au cours d'une itération donnée, le nombre d'allumages est déterminé par une valeur constante ou encore tiré d'une distribution de probabilités. Pour chacun de ces allumages, l'emplacement, la saison, la cause et la durée de l'incendie sont déterminés par leurs variables d'état respectives. À chaque nouvelle itération, un nouveau tirage du nombre d'allumages (si cette option est choisie) s'opère et les variables d'état sont renouvelées.

Les conditions météorologiques quotidiennes de chaque incendie sont tirées et attribuées à une journée de propagation. Contrairement au processus précédent, où chaque valeur unique est tirée pour une itération entière, l'association de la météo se fait en une étape quotidienne, répétée sur plusieurs jours, afin de bien représenter la durée de l'incendie. Le nombre d'heures quotidiennes de brûlage est pigé pour chaque journée de propagation à même une distribution de probabilités, si cette option est choisie.



Processus global du modèle de simulation Burn-P3

Une fois l'emplacement de l'allumage, la saison, la cause, la durée de l'incendie, le nombre d'heures quotidiennes de brûlage et les conditions météorologiques quotidiennes déterminés, la propagation de l'incendie est simulée par Prometheus (sous-modèle de propagation des incendies), et ce, pour tous les incendies d'une itération donnée. L'aire incendiée de chaque feu simulé lors d'une itération est sauvegardée sur une grille spatiale représentant le paysage. Ces aires incendiées sont ensuite compilées en une grille cumulative où la PI est calculée de la façon suivante:

$$PI_i = \frac{b_i}{N} \quad (1)$$

où b_i correspond au nombre d'itérations lors desquelles le pixel i brûle et N au nombre d'itérations simulées.

Ce processus se répète en un nombre d'itérations spécifié par l'utilisateur.

Conception

Principes de base

Burn-P3 estime la PI d'un paysage donné pour une année, sans tenir compte de la succession de la végétation d'une année à l'autre. La modélisation permet de représenter la variabilité naturelle des processus d'allumage et de propagation afin d'obtenir des résultats réalistes (Letzman *et al.* 1998).

Même si les variables associées à la propagation sont probabilistes (emplacement des allumages, durée de l'incendie, conditions météorologiques quotidiennes), Burn-P3 gagne en robustesse grâce aux estimés de périmètres calculés à partir d'algorithmes déterministes de propagation des incendies (Finney 2003).

Modéliser la propagation d'incendies quotidiens requiert un traitement intensif au niveau informatique. Un raccourci fréquemment utilisé consiste à modéliser seulement les feux d'une grandeur prédéterminée. Par exemple, puisqu'au Canada, plusieurs régimes de feux en forêt boréale montrent qu'environ 97% des aires incendiées proviennent de feux de plus de 200 hectares (Stocks *et al.* 2002), une superficie maximale de 200 ha pourrait être sélectionnée.

Dans un même ordre d'idées, la propagation significative d'un incendie sera confinée à quelques jours dont le danger d'incendie est élevé ou extrême, et ce malgré une durée d'incendie de plusieurs semaines (Podur and Wotton 2011). Dans Burn-P3, seules les journées de propagation et leurs conditions météorologiques associées sont modélisées. Comme pour la superficie minimale de l'incendie, l'utilisation de journées de propagation est un raccourci fréquent lors de la modélisation des PI (Finney 2005).

Émergence

Il arrive que l'interaction entre des intrants produise un résultat difficile voire impossible à interpréter. Ceci s'applique à n'importe quelle variable. La configuration des PI peut présenter un degré d'émergence élevé. Parisien *et al.* (2010) ont documenté les PI aux schémas complexes et imprévus pouvant émerger de la modélisation de simples intrants artificiels.

Prédiction

Pour chaque pixel, la probabilité de brûler est compilée pour une année. Collectivement, les pixels forment une carte, ou grille, des probabilités d'incendie (PI) de l'aire d'étude. Malgré l'utilisation de données réelles, il est préférable d'interpréter ces probabilités de manière relative d'un pixel à l'autre. Par exemple, un pixel dont la valeur atteint 0.3 est trois fois plus à risque de brûler qu'un pixel dont la valeur est de 0.1.

Interaction

Une aire d'étude donnée peut produire plusieurs incendies au cours de l'année. Il est par contre évident qu'une aire récemment brûlée ne pourra subir un autre incendie la même année. Cette interaction est prise en compte dans Burn-P3 et elle est modélisée de la façon suivante; lors d'une itération donnée, il n'est pas permis aux pixels qui ont brûlés lors d'un incendie de brûler une seconde fois au cours de cette itération.

Stochasticité

Afin de capter la variabilité interannuelle, le nombre d'allumages à simuler dans chaque itération provient d'une distribution de probabilités. Par exemple, deux feux peuvent être simulés pendant la première itération alors que 20 feux seront simulés au courant de l'itération suivante. En l'absence de distribution de probabilités du nombre d'allumages, il est possible de spécifier un nombre constant d'allumages.

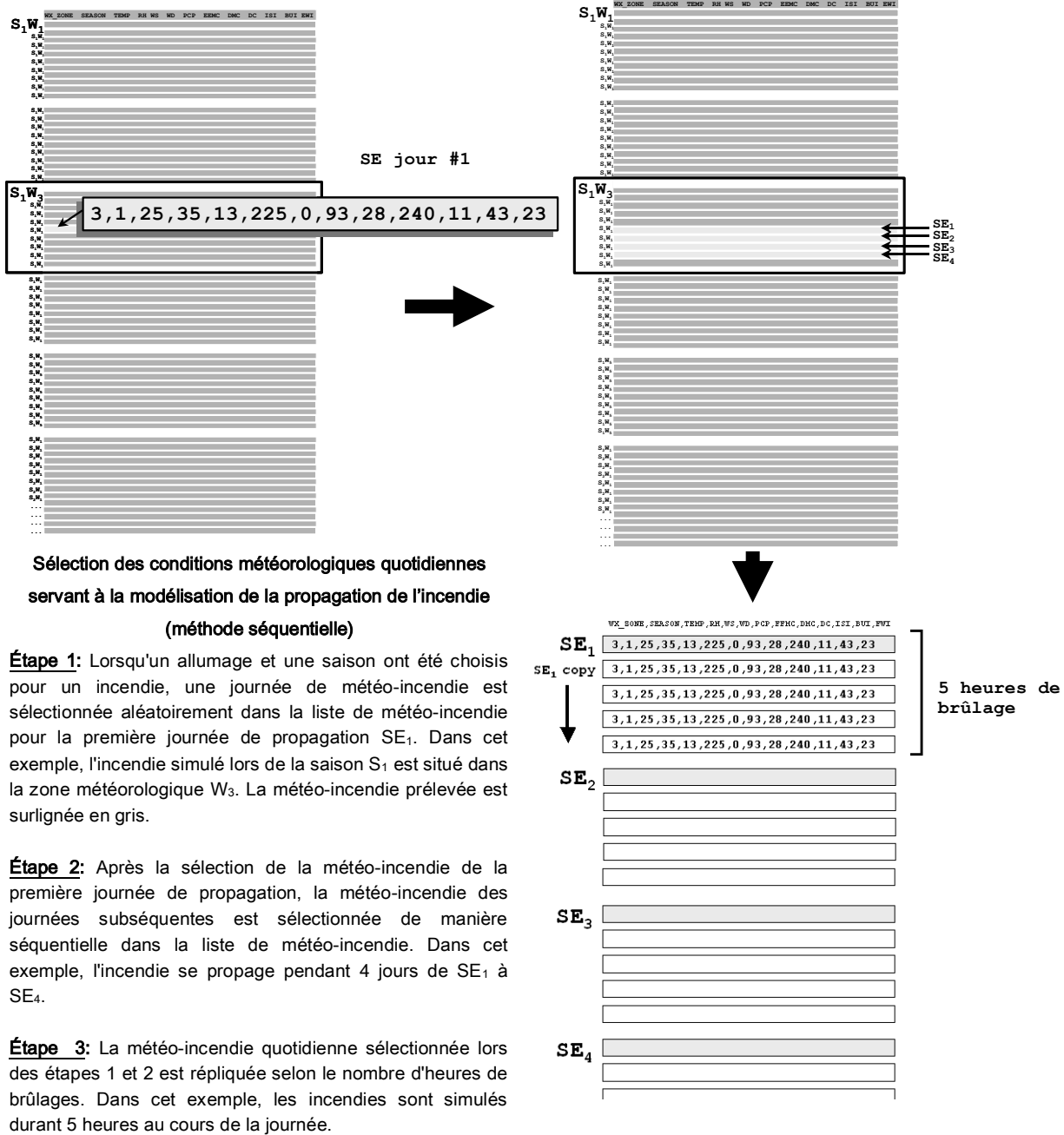
Puisque certaines combinaisons de saisons et de causes sont davantage propices aux incendies, Burn-P3 simule les feux de manière probabiliste selon les saisons et les causes, lorsqu'elles sont spécifiées. Cette stratification permet au modèle de tenir compte des influences saisonnières et causales de la météo et du niveau de sécheresse des combustibles (périodes de feuillaison et sécheresse des graminées) sur la propagation des incendies.

Une fois la saison et le nombre d'allumages par itération déterminés, l'étape suivante consiste à sélectionner l'emplacement des allumages. La dispersion des allumages peut varier en fonction des saisons et des causes. Si l'allumage mène à un feu de taille inférieure à la superficie minimale prédéterminée pour un incendie, un autre allumage sera choisi, et ce jusqu'à ce que le nombre d'allumages par itération soit simulé.

La durée des incendies est une composante très variable. Cette variabilité est modélisée dans Burn-P3 par la pige d'une durée de l'incendie à même une distribution de fréquence des journées de propagation, et ce, pour tous les incendies. Burn-P3 offre toutefois la possibilité de choisir une constante qui sera appliquée à tous les feux. Les mêmes options s'offrent pour le nombre d'heures de brûlage par jour qui peut être constant, spécifié

par saison ou encore, tiré d'une distribution de fréquences.

Par la suite, les conditions météorologiques quotidiennes sont attribuées aux journées de propagation lors d'un processus partiellement aléatoire décrit dans la figure suivante. Les conditions météorologiques quotidiennes sont tirées d'une liste historique de conditions météorologiques propices aux incendies; cette liste étant catégorisée par saison et par zone météorologique, lorsque spécifiées. Cette liste, idéalement présentée en ordre chronologique, ne contient que les conditions météorologiques propices aux incendies, c'est-à-dire, dont le danger d'incendie est élevé ou extrême. Pour chaque incendie simulé, les conditions météorologiques de la première journée de propagation sont sélectionnées aléatoirement en tenant compte de la saison et de la zone météorologique (lorsque spécifiée), puis répliquées à chaque heure de brûlage où les conditions météorologiques sont extrêmes. Les jours suivants, les conditions météorologiques sont sélectionnées de manière séquentielle dans la base de données de météo-incendie pour ainsi respecter les variations temporelles des conditions de brûlage. Il est aussi possible de sélectionner les conditions météorologiques quotidiennes aléatoirement selon les saisons et zones météorologiques.



Sélection des conditions météorologiques quotidiennes servant à la modélisation de la propagation de l'incendie (méthode séquentielle)

Étape 1: Lorsqu'un allumage et une saison ont été choisis pour un incendie, une journée de météo-incendie est sélectionnée aléatoirement dans la liste de météo-incendie pour la première journée de propagation SE₁. Dans cet exemple, l'incendie simulé lors de la saison S₁ est situé dans la zone météorologique W₃. La météo-incendie prélevée est surlignée en gris.

Étape 2: Après la sélection de la météo-incendie de la première journée de propagation, la météo-incendie des journées subséquentes est sélectionnée de manière séquentielle dans la liste de météo-incendie. Dans cet exemple, l'incendie se propage pendant 4 jours de SE₁ à SE₄.

Étape 3: La météo-incendie quotidienne sélectionnée lors des étapes 1 et 2 est répliquée selon le nombre d'heures de brûlages. Dans cet exemple, les incendies sont simulés durant 5 heures au cours de la journée.

Processus permettant de relier les conditions météorologiques quotidiennes aux journées de propagation selon la [Méthode séquentielle](#).

Observation

En plus de la carte de PI, Burn-P3 produit un tableau contenant la superficie de chaque incendie simulé, l'emplacement de l'allumage, la saison, le nombre de jours de propagation et l'aire incendiée dans chaque type de combustible. À des fins de calibrage, les superficies des incendies simulés, compilées en une distribution, peuvent être comparées à une distribution des superficies des incendies observés dans cette même aire d'étude. Les modifications des variables d'état risquent d'affecter la moyenne de distribution des superficies des incendies ainsi que l'exactitude de sa courbe. Toutes les variables d'état, ainsi que plusieurs paramètres de Burn-P3, notamment la durée de l'incendie et le nombre d'heures quotidiennes de brûlage, ont un impact notoire sur la superficie des incendies. Le calibrage se fait de manière heuristique en ajustant les intrants avec soin.

Il est aussi possible d'extraire certaines données produites par Burn-P3 au cours du processus de simulation et de les compiler en un fichier de sortie spécialisé. Un de ces fichiers de sortie spécialisé consiste en une liste d'itérations au cours desquelles chaque pixel subit un feu ([Itérations brûlées](#)). Ces données permettent d'explorer la distribution des intervalles de feux modélisés lors d'une simulation. D'autres fichiers de sortie spécialisés, sous forme matricielle ou tabulaire, sont dérivés des résultats primaires de la méthode PCI. Afin d'extraire ces données, il suffit de sélectionner le type de statistiques à produire (moyenne, maximum, minimum, médiane et percentile) ainsi que le résultat primaire de la méthode PCI. Ces statistiques sont calculées et compilées à chaque pixel brûlé afin de produire une grille de résultats primaires de la méthode PCI.

Initialisation

Au début de chaque itération, le paysage est intact; c'est-à-dire sans les aires incendiées lors de précédentes itérations. Chaque itération est traitée indépendamment des autres.

Certain paramètres, s'ils sont spécifiés, demeurent constants d'une itération à l'autre. Par exemple, il est possible de spécifier un nombre constant d'heures quotidiennes de brûlage. Cet intrant correspond à la période au cours de laquelle le feu se propage davantage. Habituellement, cette période débute en fin de matinée et se termine tôt en soirée. La superficie minimale de l'incendie empêche la simulation de feux de petite taille tout au long de l'analyse, dont la durée est prédéterminée en nombre d'itérations. Ce nombre doit être suffisamment élevé afin de produire un estimé de PI stable.

Certains paramètres associés aux saisons demeurent constants au cours d'une simulation. Premièrement, les feuilles sont absentes des arbres décidus et forêts mixtes au printemps et en fin d'automne. Deuxièmement, le

pourcentage d'herbes fanées varie selon la saison, la plupart de la biomasse de surface est plus sèche ou morte au cours de certaines saisons.

Intrants

Les intrants peuvent être générés à partir de bases de données historiques de feux de végétation et de météo.

Lors de chaque itération, le nombre d'allumages est tiré d'une distribution de probabilités dont les valeurs varient généralement entre zéro et plusieurs feux. Une variable nominale est utilisée afin de décrire la probabilité pour chaque combinaison de cause, saison et zone d'incendie. Ces distributions peuvent être créées à partir de la base nationale de données sur les feux de végétation du Canada (<http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/ah/nfdb>), qui regroupe les périmètres d'incendies du Canada en un atlas cartographié.

La durée de l'incendie provient d'une distribution de fréquences des journées de propagation (les valeurs varient habituellement entre un et plusieurs jours). Une telle distribution peut être obtenue à partir de données de progression quotidienne d'incendies détectés par satellite (<https://fsapps.nwcg.gov/afm/>).

Les conditions météorologiques quotidiennes devraient être soutirées de bases de données provenant des stations météorologiques adjacentes ou à l'intérieure de l'aire d'étude. Il est primordial de compiler seulement les journées dont l'indice de danger d'incendie est élevé ou extrême. Les stations météorologiques non-représentatives des conditions météorologiques de l'aire d'étude, comme celles situées en hautes montagnes par exemple, devraient être exclues du processus d'analyse.

Sous-modèles

Prometheus, le modèle de propagation des incendies

Lors d'une simulation Burn-P3, la propagation des incendies est simulée grâce à Prometheus (Tymstra *et al.* 2010), un logiciel conçu pour le calcul de la propagation des incendies sur un terrain complexe, suivant la méthode canadienne de prévention des incendies forestiers (PCI) (Groupe de travail sur les dangers d'incendie de forêt au Canada 1992). Les mécanismes de propagation utilisés sont fondés sur des algorithmes modernes qui produisent des schémas de brûlis réalistes, incluant même les îlots intacts. Contrairement aux autres intrants de Burn-P3, la propagation est une composante déterministe; par conséquent, un ensemble précis d'intrants produira toujours le même périmètre d'incendie. Par contre, il est fort improbable dans Burn-P3 de produire deux incendies identiques puisque les autres variables telles les emplacements des allumages, les saisons et les conditions météorologiques varient grandement.

Prometheus est un logiciel libre disponible sur le site: <http://firegrowthmodel.ca/>

Références

- Beverly, J.L., Herd, E.P.K., Conner, J.C.R. 2009. Modeling fire susceptibility in west central Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management* 258: 1465–78.
- Braun, W.J., Jones, B.L., Lee, J.S.W., Woolford, D.G., Wotton, B.M. 2010. Forest Fire Risk Assessment: An Illustrative Example from Ontario, Canada. *Journal of Probability and Statistics*, Article ID 823018, 26 pages.
- Finney, M.A. 2003. Calculation of fire spread rates across random Paysages. *International Journal of Wildland Fire* 12: 167–74.
- Finney, M.A. 2005. The challenge of quantitative risk analysis for wildland fire. *Forest Ecology and Management* 211: 97–108.
- Groupe de travail sur les dangers d'incendie de forêt au Canada. 1992. Développement et structure de la Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt. For. Can., Ottawa, ON. Rapp. inf. ST-X-3.
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., Goss-Custard, J., Grand, T., Heinz, S.K., Huse, G., Huth, A., Jepsen, J.U., Jørgensen, C., Mooij, W.M., Müller, B., Pe'er, G., Piou, C., Railsback, S.F., Robbins, A.M., Robbins, M.M., Rossmanith, E., Rügen, N., Strand, E., Souissi, S., Stillman, R.A., Vabø, R., Visser, U., DeAngelis, D.L. 2006. A standard protocol for describing individual-based and agent-based models. *Ecological Modelling* 198: 115–126.
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D.L., Polhill, G., Giske, J., Railsback, S.F. 2010. The ODD protocol: a review and first update. *Ecological Modelling* 221: 2760–2768.
- Lertzman, K.P., Dorner, B., Fall, J. 1998. Three kinds of heterogeneity in fire regimes: at the crossroads of fire history and Paysage ecology. *Northwest Science* 72: 4–22.
- Parisien, M.-A., Kafka, V., Hirsch, K.G., Todd, J.B., Lavoie, S.G., Maczek, P.D. 2005. Mapping wildfire susceptibility with the BURN-P3 simulation model. Edmonton (AB): Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre. 36p.
- Parisien, M.-A., Miller, C., Ager, A.A., Finney, M.A.. 2010. Use of artificial Paysages to isolate controls on burn probability. *Paysage Ecology* 25: 79–93.
- Parisien, M.-A., Parks, S.A., Miller, C., Krawchuk, M.A., Heathcott, M., Moritz, M.A. 2011. Contributions of Ignitions, Fuels, and weather to the burn probability of a Boréal Paysage. *Ecosystems* 14: 1141–1155.
- Parisien, M.-A., Walker, G.R., Little, J.M., Simpson, B.N., Wang, X., Perrakis, D.D.B. 2013. Simulation modeling of burn probability in ecologically complex Paysages: a case study from the interior rainforest of British Columbia, Canada. *Natural Hazards (Online First)*
- Podur, J., Wotton, B.M. 2011. Defining fire spread event days for fire-growth modelling. *International Journal of Wildland Fire* 20: 497–507.
- Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L., Skinner, W.R. 2002. Large forest fires in Canada, 1959–1997. *Journal of Geophysical Research—Atmospheres* 108(D1): FFR5-1–12.
- Tymstra, C., Bryce, R.W., Wotton, B.M., Taylor, S.W., Armitage, O.B. 2010. Development and structure of Prometheus: the Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model. Information Report NOR-X-417. Edmonton (AB): Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre. 102p.
- Van Wagner, C.E. 1987. Élaboration et structure de l'Indice forêt-météo. Service canadien des forêts, Administration centrale, Ottawa (Ontario). Rapport technique de foresterie 35F. 34 p.

Section 2: Les composantes Burn-P3

Dans cette section les intrants destinés à chaque module ainsi que les fichiers de sortie sont décrits.

Ce symbole  annonce des informations supplémentaires et des astuces.

Intrants obligatoires

[Dictionnaire](#)

[Table de correspondance des combustibles de la méthode PCI](#)

[Combustibles de la méthode PCI](#)

[Fichier de projection](#)

[Nombre d'allumages par itération \(valeur unique ou distribution\)](#)

[Emplacement des allumages \(aléatoires, grilles, liste d'emplacements\)](#)

[Liste de météo-incendie](#)

[Durée de l'incendie \(valeur unique ou distribution\)](#)

[Nombre d'heures quotidiennes de brûlage \(valeur unique ou distribution\)](#)

Intrants facultatifs

[Altitude](#)

[Zones d'incendie](#)

[Zones météorologiques](#)

[Coupe-feux](#)

[Distribution du nombre d'allumages par saison, cause et zone d'incendies](#)

[Grilles des vents](#)

Fichiers de sortie

[Carte de probabilité d'incendie](#)

[Statistiques](#)

[Statistiques de la carte de PI](#)

[Fichier log](#)

Fichiers de sortie spécialisés

[Résultats de la méthode PCI](#)

[Périmètres d'incendies](#)

[Itérations brûlées](#)

Format de fichier

Texte binaire

[Prometheus](#)

[Grille ASCII](#)

Projection

Texte délimité par des virgules

Texte délimité par des virgules ou
[Grille ASCII](#)

Texte délimité par des virgules

Texte délimité par des virgules

Texte délimité par des virgules

Format de fichier

[Grille ASCII](#)

[Grille ASCII](#)

[Grille ASCII](#)

[Fichier de forme](#)

Texte délimité par des virgules

[Grille ASCII](#)

Format de fichier

[Grille ASCII](#)

Texte délimité par des virgules

Texte délimité par des virgules

Texte délimité par des virgules

Format de fichier

Texte délimité par des virgules ou
[Grille ASCII](#)

[Fichier de forme](#)

Texte délimité par des virgules

Extension

*.dic

*.lut

*.asc

*.prj

*.csv ou *.txt

*.csv ou *.asc

*.csv ou *.txt

*.csv ou *.txt

*.csv ou *.txt

Extension

*.asc

*.asc

*.asc

*.shp

*.csv ou *.txt

*.asc

Extension

*.asc

*.csv ou *.txt

*.csv

*.csv

Extension

*.csv ou *.asc

*.shp

*.csv

Dictionnaire

Le dictionnaire est un catalogue contenant les attributs de certains intrants de Burn-P3. Il spécifie les codes numériques des saisons et des causes qui sont utilisés dans différents modules du logiciel. Il est crucial que les valeurs numériques notées dans le dictionnaire correspondent à celles des intrants ([météo-incendie](#), [emplacements des allumages](#), [zones d'incendies](#) et [zones météorologiques](#)).

Le code numérique requis pour chaque élément, qu'il soit interactif ou importé d'un dictionnaire créé lors d'un projet antérieur, ne peut être modifié qu'à l'intérieur de Burn-P3.

Les éléments "saison" et "cause" doivent obligatoirement apparaître dans le dictionnaire, même s'il n'y a qu'une seule saison ou une seule cause, et doivent posséder un code numérique. Il est aussi possible d'ajouter au dictionnaire des [zones d'incendies](#) et des [zones météorologiques](#).

Le nombre d'éléments pouvant être contenus dans une catégorie est illimité. Par exemple, un projet peut présenter quatre saisons alors qu'un autre n'en utilisera que deux. Chaque élément, même unique dans sa catégorie, doit posséder un code numérique dans le dictionnaire.



La date médiane de chaque saison doit être incluse à des fins de calcul du taux d'humidité foliaire saisonnier, une composante de la méthode PCI.

Toutes les informations relatives au dictionnaire doivent être entrées directement dans Burn-P3, qui exporte ensuite un fichier texte binaire (*.dic) pouvant être importé subséquemment dans un projet Burn-P3. Il contient les informations suivantes:

| Intrant | Information | Format | Description |
|------------------------------|----------------|---------------|---|
| Saisons | nom | texte | Nom de la saison |
| | code numérique | nombre entier | Valeur numérique identifiant chaque saison |
| | date médiane | date (mm/jj) | Date située en plein milieu de la saison |
| Causes | nom | texte | Nom de la cause de l'allumage |
| | code numérique | nombre entier | Valeur numérique identifiant chaque cause d'allumage |
| Zones d'incendie | nom | texte | Nom de la zone d'incendie |
| | code numérique | nombre entier | Valeur numérique identifiant chaque zone d'incendie |
| Zones météorologiques | nom | texte | Nom de la zone météorologique |
| | code numérique | nombre entier | Valeur numérique identifiant chaque zone météorologique |

Paysage

La grille de [combustibles de la méthode PCI](#) est le seul intrant représentant le paysage qui soit essentiel au fonctionnement de Burn-P3. Les attributs de cet intrant sont notés dans la [table de correspondance des combustibles de la méthode PCI](#). Les intrants facultatifs tels l'[altitude](#), les [zones d'incendies](#), les [zones météorologiques](#) et les [coupe-feux](#) peuvent aussi être importés afin de compléter la représentation de l'aire d'étude. Les informations relatives à ces intrants sont résumées dans les [caractéristiques du paysage](#).

Table de correspondance des combustibles de la méthode PCI

La table de correspondance des combustibles de la méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI) contient les attributs de la grille de [combustibles de la méthode PCI](#). Ces attributs identifient les valeurs de la grille. Chaque valeur présente dans la grille de [combustibles de la méthode PCI](#) doit apparaître dans la table de correspondance des combustibles de la méthode PCI, sans quoi, il sera impossible de savoir quel type de combustible entre en jeu. À l'inverse, la table de correspondance des combustibles de la méthode PCI peut contenir d'avantage de valeurs que la grille utilisée.

Burn-P3 offre, par défaut, une table de correspondance des combustibles de la méthode PCI identique à celle fournie par [Prometheus](#). Dans cette table, les [combustibles de la méthode PCI](#) de type forêt mixte (M-1/2 et M-3/4) contiennent respectivement 50% de conifères et 50% de sapins baumiers morts. Plusieurs agences de gestion des incendies forestiers possèdent déjà leur propre table de correspondance des combustibles de la méthode PCI destinée au fonctionnement de [Prometheus](#). Cette table peut être incorporée telle quelle dans Burn-P3.



Il est essentiel que les codes numériques des combustibles reclassés de la table de correspondance des combustibles de la méthode PCI correspondent à ceux de la grille de [combustibles de la méthode PCI](#).

Puisqu'il est impossible de modifier la grille de [combustibles de la méthode PCI](#) directement dans Burn-P3, la table de correspondance des combustibles de la méthode PCI permet d'ajouter ou de modifier n'importe quel attribut. Cette version modifiée peut être sauvegardée dans le projet ou encore exportée en tant que fichier de format Prometheus (*.lut) afin d'être importée plus tard.

Essentiellement, la table de correspondance de la méthode PCI de format Prometheus (*.lut) est un fichier texte délimité par des tabulations ou des virgules, et dont l'extension doit être renommée afin d'être importée dans [Prometheus](#). Cette table est modifiable dans un logiciel de traitement de texte ou tableur.


Tous les codes numériques (en nombre entier) qui apparaissant dans la grille de [combustibles de la méthode PCI](#) doivent se trouver dans la table de correspondance des combustibles de la méthode PCI, laquelle contient les informations suivantes:

| Colonne | Nom | Type | Description |
|---------|----------------|---------------|--|
| 1 | val_grille | nombre entier | Code numérique identifiant le combustible de la méthode PCI dans la grille |
| 2 | val_grille_exp | nombre entier | Valeur du combustible de la méthode PCI lorsque la grille est exportée |
| 3 | comb_agence | texte | Nom descriptif du combustible de la méthode PCI |
| 4 | comb_PCI | texte | Code du combustible de la méthode PCI |
| 5 | r | nombre entier | Apparence de la couleur rouge |
| 6 | g | nombre entier | Apparence de la couleur verte |
| 7 | b | nombre entier | Apparence de la couleur bleue |
| 8 | h | nombre entier | Teinte |
| 9 | s | nombre entier | Saturation |
| 10 | l | nombre entier | Luminosité |

Données géospatiales

L'aire d'étude est représentée par des grilles contenant les données des [combustibles de la méthode PCI](#), de l'[altitude](#), des [zones d'incendie](#) et des [zones météorologiques](#), ainsi que par des fichiers de formes comportant les [coupe-feux](#).

 Les projection, résolution et étendue de toutes les grilles importées doivent être identiques.

 Afin de permettre aux incendies de débiter à l'extérieur de l'aire d'étude et de s'y propager à l'intérieur, et d'ainsi éviter l'effet de bordure, une zone tampon devrait être ajoutée au pourtour de l'aire d'étude.

Dans Burn-P3, toutes les grilles importées et exportées sont de format ASCII (*.asc). Ce format standard de fichier est supporté par la majorité, voire toutes les applications de système d'information géographique (SIG). Les informations concernant le contenu du fichier et les coordonnées géographiques de la carte apparaissent dans l'entête. Puis, sous les entêtes se trouvent les valeurs qui représentent chaque pixel de la carte. Chacune de ces cellules est délimitée par une tabulation.

L'entête d'une grille ASCII contient l'information suivante:

| Header info | Description |
|--------------|---|
| ncols | nombre de colonnes contenues dans la grille |
| nrows | nombre de lignes contenues dans la grille |
| xllcorner | coordonnée x du coin en bas à gauche |
| yllcorner | coordonnée y du coin en bas à gauche |
| cellsize | taille des cellules, en mètre, pour l'ensemble des données = résolution |
| NODATA value | nombre assigné aux cellules dont la valeur est inconnue. La valeur 'no data' par défaut est -9999 |

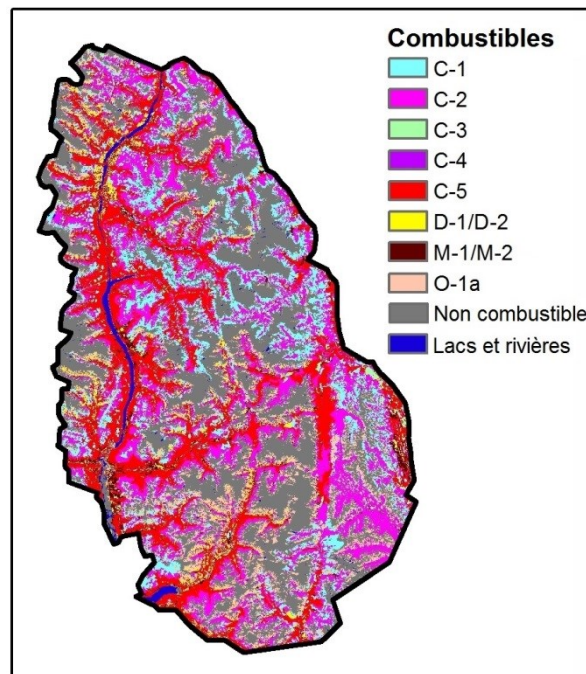
Les données de la grille apparaissent directement sous les entêtes et sont organisées en matrice, dont la première valeur du haut à gauche (ligne 1, colonne 1) correspond au pixel le plus au nord-ouest de la carte.

Combustibles de la méthode PCI

La grille de combustibles de la méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI) est le seul intrant géospatial essentiel au fonctionnement de Burn-P3. Il est incomplet sans le [fichier de projection](#) et la [table de correspondance des combustibles de la méthode PCI](#). Les valeurs de la grille, en nombres entiers, correspondent aux codes numériques de la [table de correspondance des combustibles de la méthode PCI](#), laquelle en détient les attributs. Le [fichier de projection](#), contient quant à lui, les données géo-référencées de la grille de combustibles de la méthode PCI.

Cette grille ne peut être modifiée directement dans Burn-P3, par contre par l'intermédiaire de la [table de correspondance des combustibles de la méthode PCI](#), il est possible d'en changer les attributs.

Les projection, résolution et étendue de toutes les grilles importées doivent être identiques. L'exemple ci-dessous correspond à une grille de combustibles de la méthode PCI:



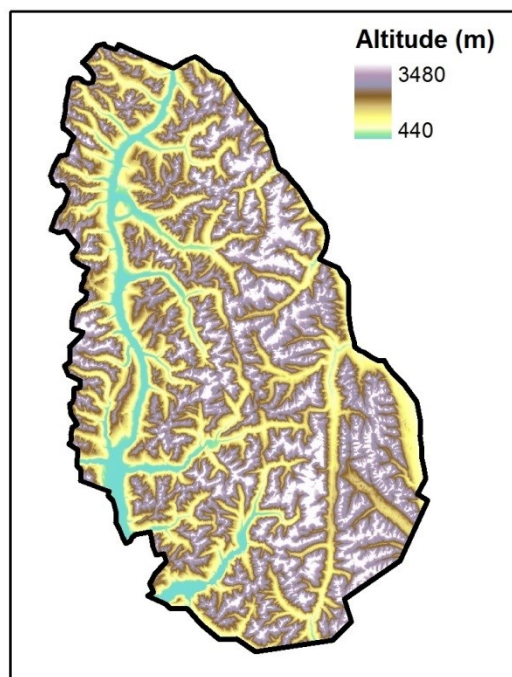
Fichier de projection

Le fichier de projection (*.prj) est typiquement créé lors de la production de grille ASCII par la plupart des logiciels de SIG. Il contient les informations de projection des [données géospatiales](#) entrées sous forme de grille ou de fichier vectoriel. Le fichier de projection doit être importé en même temps que la grille de [combustibles de la méthode PCI](#) puisqu'il en spécifie la projection, ainsi que celle des autres [données géospatiales](#) qui seront utilisées par Burn-P3. Ce fichier ne peut être modifié directement dans Burn-P3 mais il est modifiable dans un logiciel de traitement de texte ou tableur.

Altitude

Cet intrant représente la topographie de l'aire d'étude en une grille dont chaque pixel donne une valeur d'altitude (en mètre). L'altitude est utilisée aux fins de calcul du taux d'humidité foliaire selon la méthode PCI et à la modification des directions et vitesses des vents. L'altitude est un intrant facultatif quoique fortement recommandé puisqu'il affecte directement la propagation des incendies.

La grille d'altitude doit avoir une projection, une étendue et une résolution identique à celles des autres [données géospatiales](#). La grille d'altitude peut contenir des nombres réels. La figure ci-dessous est un exemple de grille d'altitude:

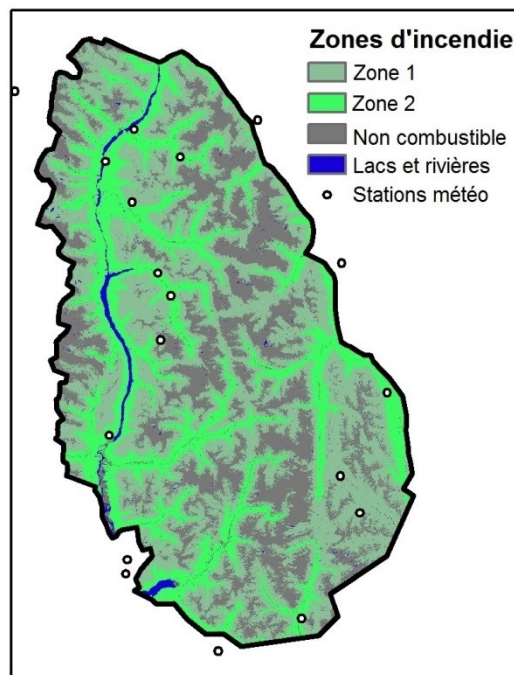


Zones d'incendie

Les zones d'incendie représentent des régions géographiques aux régimes de feux distincts. L'information contenue dans les grilles de zones d'incendie peut être utilisée conjointement à la [distribution du nombre d'allumages par saison, cause et zone d'incendie](#), afin de préciser les [emplacements des allumages](#). Les zones d'incendies font aussi partie des [restrictions des allumages](#), de la [journées de propagation différentes selon la zone d'incendie](#) et des [règles de la feuillaison](#), afin de mieux représenter les contraintes géographiques sur les allumages et la propagation.

! La grille des zones d'incendie est facultative, cependant elle permet de tenir compte des variations écologiques ou encore administratives lorsque, par exemple, les stratégies de suppression diffèrent d'une région à l'autre.

La grille des zones d'incendie doit avoir une projection, une étendue et une résolution identique aux autres [données géospatiales](#). La grille de zones d'incendie doit être construite uniquement de nombres entiers. La figure ci-dessous est un exemple de grille des zones d'incendie:

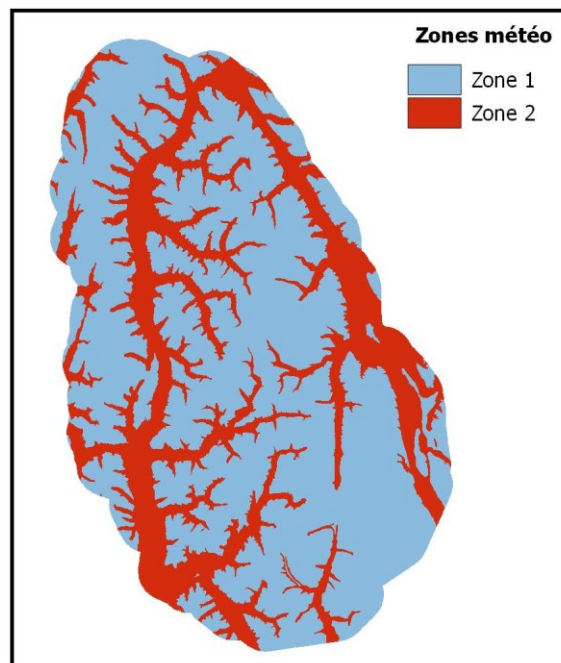


Zones météorologiques

Les zones météorologiques sont des aires géographiques dont les indices forêt-météo (IFM) (Van Wagner, 1987) sont distincts. Burn-P3 modélise les zones météorologiques et les saisons en fonction des variations temporelles des conditions météorologiques affectant les incendies.

La valeur numérique de chaque zone météorologique doit se retrouver dans le [dictionnaire](#), puisqu'elle relie directement les conditions de météo-incendie en provenance de la [météo-incendie](#) à l'[emplacement de l'allumage](#).

Les valeurs de la grille des zones météorologiques ne doit contenir que des nombres entiers et avoir la même projection, la même résolution ainsi que la même étendue que les autres [données géospatiales](#). La figure ci-dessous est un exemple de zones météorologiques:



Coupe-feux vectorisés

Les coupe-feux vectorisés sont des fichiers de forme (*.shp) de polygones représentant des structures linéaires du paysage qui limitent la propagation des incendies. La largeur des coupe-feux est spécifiée lors de l'importation, tous les coupe-feux d'un même fichier de forme ont la même largeur. Aussi, il est possible d'importer plus d'un fichier de coupe-feux vectorisé.

Lorsque sélectionnée, la fonction de percée dans les coupe-feux autorise [Prometheus](#) à appliquer la méthode de percée des coupe-feux selon la largeur des coupe-feux et la hauteur des flammes (Tymstra *et al.* 2010). En présence de coupe-feux, si cette fonction est inactive, les coupe-feux arrêteront systématiquement la propagation de l'incendie.

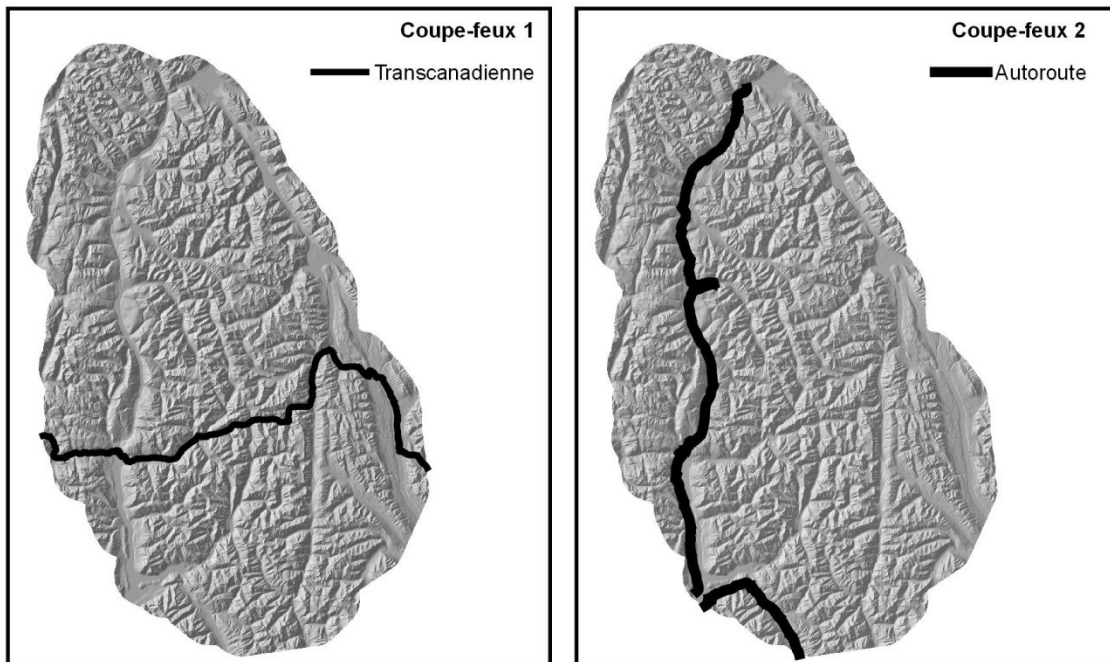


Les non-combustibles de la grille de [combustibles de la méthode PCI](#) peuvent aussi agir en tant que coupe-feux. Cependant, les coupe-feux vectorisés représentent plus adéquatement les structures linéaires telles les routes et rivières, puisqu'une largeur plus fine que celle des pixels de la grille peut-être spécifiée.



Les coupe-feux vectorisés sont des intrants facultatifs. Ils sont les seuls fichiers de forme que Burn-P3 importe et ne peuvent y être modifiés. La projection et l'étendue des coupe-feux vectorisés doivent être identiques à celles des autres [données géospatiales](#).

L'exemple suivant présente deux coupe-feux vectorisés dont la largeur diffère:



Le fichier de forme, de l'anglais «shapefile», est un format de fichier de type vectoriel initialement développé par ESRI. Il se constitue de 3 à 6 fichiers dont les 3 principaux sont: le fichier contenant les formes (points, lignes, polygones) dont l'extension est *.shp, le fichier *.dbf qui contient les attributs de ces formes et le fichier *.shx qui contient les informations géographiques.

Caractéristiques du paysage

Les caractéristiques du paysage résument les propriétés des intrants matriciels et vectoriels composants l'aire d'étude, soit les informations relatives aux grilles (dimensions d'une cellule, nombre de colonnes et lignes et dimensions de la grille), la position du coin en bas à gauche, l'altitude par défaut et le fuseau horaire.

Grille

Dimensions d'une cellule

Les dimensions d'une cellule représentent la résolution des intrants cartographiques, en mètre. Cette information provient des grilles importées dans le projet Burn-P3.

Colonnes et lignes

Ceci indique l'étendue des intrants matriciels, en nombre de colonnes et de lignes de données. Ces informations proviennent des grilles importées dans le projet Burn-P3.

Dimensions de la grille

Cette donnée est obtenue en multipliant le nombre de colonnes et de lignes par la dimension des cellules. Elle permet de mesurer l'étendue de la grille, en mètres.

Position du coin en bas à gauche

Les données de latitude et longitude du coin gauche inférieur des intrants matriciels sont indiqués en degrés. Si ces valeurs s'avèrent erronées, un problème dans le [fichier de projection](#) est à envisager.

Altitude par défaut

Cette valeur est calculée automatiquement, en mètres, à partir de l'intrant [altitude](#). Sans l'importation d'une grille d'[altitude](#), cette donnée peut être entrée interactivement, la valeur par défaut est de 0. L'altitude affecte l'humidité foliaire saisonnière, composante de la méthode PCI.

Fuseau horaire

Afin de calculer les paramètres du comportement des incendies, il est nécessaire de sélectionner le fuseau horaire dans laquelle se trouve l'aire d'étude.

Module des allumages

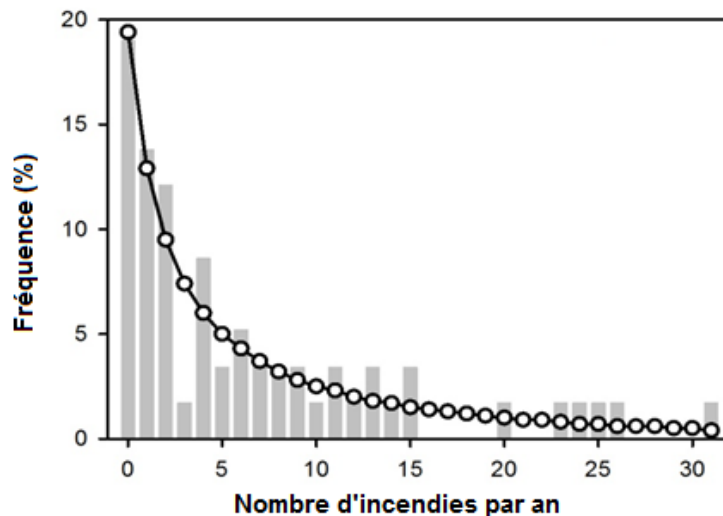
Ce module détermine l'emplacement, le nombre et la saison des allumages.

Nombre d'allumages par itération

Lors d'une analyse Burn-P3, le nombre d'allumages par itération représente seulement les allumages qui mènent à des incendies hors de contrôle suite à l'attaque initiale. Pour être comptabilisé, un allumage doit atteindre la [superficie minimale de l'incendie](#), superficie prédéterminée par l'utilisateur dans les options de [simulation](#). Le nombre d'allumages par itération peut être constant et déterminé interactivement.

Distribution du nombre d'allumages

Le nombre d'allumages peut être tiré d'une distribution de fréquences du nombre d'allumages par itération. De cette distribution importée dans Burn-P3, un nombre d'allumages sera pigé pour chaque itération.



Distribution de fréquences du nombre d'allumages par itération (points) lissée à partir des données brutes (barres).

La distribution du nombre d'allumages doit se présenter en un fichier texte délimité par des virgules (*.csv) et contient les informations suivantes:

| Colonne | Nom | Type | Description |
|---------|------------|---------------|--|
| 1 | all_par_it | nombre entier | Nombre d'allumages par itération |
| 2 | pct | nombre réel | Probabilité (en %) d'obtenir n allumages par itération |

Emplacements des allumages

La répartition spatiale des allumages dans l'aire d'étude correspond aux emplacements des allumages. Burn-P3 permet de déterminer les emplacements des allumages, soit de manière aléatoire, soit tiré d'une grille de densité de probabilités (grille des allumages), ou encore, directement spécifiés à même une liste d'emplacements des allumages (coordonnées x-y).

Emplacements aléatoires des allumages

Par défaut, l'emplacement de chaque allumage est sélectionné au hasard dans l'aire d'étude. Lorsque le nombre d'allumages par itération est déterminé, pour chacun de ces allumages, un emplacement est attribué aléatoirement. Lorsqu'un allumage résulte en un feu plus petit que la [superficie minimale de l'incendie](#), un nouvel emplacement est tiré jusqu'à ce que l'allumage mène à un incendie atteignant le seuil prédéterminé.

Grilles des allumages

Une grille des allumages représente le schéma spatial des allumages selon la saison et la cause tel que spécifié dans le [dictionnaire](#). Les valeurs de la grille peuvent être relatives les unes par rapport aux autres sans être des probabilités réelles. Par exemple, un pixel dont la valeur égale 3 subira trois fois plus d'allumages qu'un pixel dont la valeur est de 1.

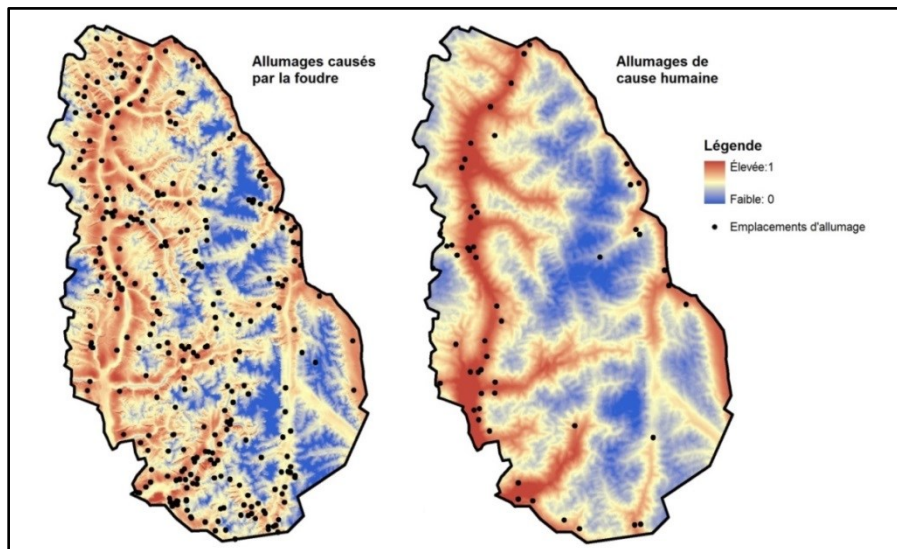
Il est possible de spécifier interactivement des [restrictions des allumages](#) par des combinaisons de saisons, causes et [zones d'incendie](#) rendant impossible l'allumage d'un incendie. Le nombre maximal de grilles des allumages est le produit du nombre de saisons et de causes; s'il y a deux causes (humaine, foudre) et deux saisons (printemps, été), quatre grilles des allumages peuvent être spécifiées. Si une grille n'est pas spécifiée pour une combinaison donnée de saison et de cause, Burn-P3 tire un emplacement aléatoire pour cette combinaison.

La proportion de feux à simuler par cause et saison peut ensuite être en sélectionnant la [distribution du nombre d'allumages par saison, cause et zone d'incendie](#).



Les grilles des allumages doivent avoir la même projection, résolution et étendue que les autres [données géospatiales](#).

La figure ci-dessous présente deux exemples de grilles des allumages sur lesquelles ont été ajoutés des emplacements d'allumages que ces grilles pourraient produire:



Liste d'emplacements des allumages

La liste d'emplacements des allumages comporte les coordonnées x-y des allumages. Cet intrant détermine la répartition spatiale des allumages et leur nombre, c'est pourquoi les [grilles des allumages](#) ainsi que les options du [nombre d'allumages par itération](#) et de [distribution du nombre d'allumages par saison, cause et zone d'incendie](#) sont désactivées lorsqu'une liste d'emplacements des allumages est importée. Lorsqu'un allumage de la liste n'atteint pas la [superficie minimale de l'incendie](#), cet allumage est omis et Burn-P3 passe à l'emplacement de l'allumage suivant dans la liste jusqu'à ce qu'elle ait été lue en entier, déterminant ainsi, la [durée de la simulation](#).



Lorsque la liste d'emplacements des allumages est spécifiée, Burn-P3 assigne la première saison apparaissant au [dictionnaire](#) lors de la simulation, par conséquent il est nécessaire de simuler séparément chaque saison.

La liste d'emplacements des allumages (coordonnées x-y) se présente en un fichier texte délimité par des virgules (*.csv) et contient les éléments suivants:

| Column | Name | Type | Description |
|--------|---------|-------------|---|
| 1 | coord_x | nombre réel | Coordonnée x de l'emplacement de l'allumage |
| 2 | coord_y | nombre réel | Coordonnée y de l'emplacement de l'allumage |

Restrictions des allumages

Le paramétrage interactif de restrictions des allumages permet d'interdire l'allumage lorsque certaines combinaisons de saisons, causes et [zones d'incendie](#) sont rencontrées. Cet intrant facultatif outrepassé les valeurs de la [grille des allumages](#). Lorsqu'un allumage est exclu, un autre emplacement d'allumage est pigé, et ce, jusqu'à ce que les conditions soient respectées.

Distribution du nombre d'allumages par saison, cause et zone d'incendie

Cette distribution détermine la proportion d'allumages à simuler à chaque combinaison de cause, saison et [zone d'incendie](#), afin de mieux représenter les schémas spatiaux-temporels connus des allumages.

Cette distribution est contenue en un fichier texte délimité par des virgules (*.csv) contenant les informations suivantes:

| Colonne | Nom | Type | Description |
|---------|------------|---------------|---|
| 1 | saison | nombre entier | Code numérique identifiant la saison |
| 2 | cause | nombre entier | Code numérique identifiant la cause |
| 3 | z_incendie | nombre entier | Code numérique identifiant la zone d'incendie |
| 4 | feux_echap | nombre réel | Distribution du nombre d'allumages par saison, cause et zone d'incendie |

Module de conditions de brûlage

Ce module détermine les conditions d'allumage et de propagation lors de la simulation.

Liste de météo-incendie

La météo-incendie correspond aux conditions météorologiques quotidiennes de température, humidité relative, vitesse et direction des vents, 24 heures de précipitation ainsi que les codes et indices de la méthode IFM (Van Wagner, 1987) relevés à midi heure normale locale (HNL). Ces informations sont habituellement enregistrées selon les mêmes standards par la plupart des agences canadiennes de gestion des incendies de forêt.

La liste de météo-incendie est l'intrant contenant les informations des conditions météorologiques dont dépendent les allumages et la propagation. Une ligne de la liste de météo-incendie représente une journée d'observations de météo-incendie. Afin d'assurer la variabilité, autant d'enregistrements de météo-incendie que possible doivent être inclus dans la liste. Aussi, la liste de météo-incendie ne doit contenir que les journées où la météo-incendie est propice à la propagation du feu, soit les journées où le danger d'incendie est élevé ou extrême selon la méthode IFM.

Ces journées de météo-incendie doivent être classées par saison et par [zones météorologiques](#) dans la liste de météo-incendie. Chaque saison et [zones météorologiques](#) requiert son code numérique, lequel doit être identifié préalablement dans le [dictionnaire](#). Même si un projet ne comporte qu'une seule saison, la colonne attribuée aux saisons dans la liste de météo-incendie doit demeurer ainsi que son code numérique. Les [zones météorologiques](#) sont facultatives et peuvent quant à elles être omises de la liste de météo-incendie.



Lorsqu'une valeur est erronée ou manquante dans la météo-incendie, Burn-P3 cesse la simulation.

La liste de météo-incendie se présente en un fichier texte délimité par des virgules (*.csv) et contient les informations suivantes:

| Colonne | Nom | Type | Description |
|---------|---------|---------------|---|
| 1 | z_meteo | nombre entier | Code numérique de la zone météorologique (facultatif) |
| 2 | saison | nombre entier | Code numérique de la saison |
| 3 | temp | nombre réel | Température (°C) |
| 4 | hr | nombre réel | Humidité relative (%) |
| 5 | vv | nombre réel | Vitesse du vent (km/h) |
| 6 | dv | nombre réel | Direction du vent (en degrés cardinaux) |
| 7 | prec | nombre réel | Précipitations (mm) |
| 8 | icl | nombre réel | Indice du combustible léger (ICL) |
| 9 | ih | nombre réel | Indice de l'humus (IH) |
| 10 | is | nombre réel | Indice de sécheresse (IS) |
| 11 | ipi | nombre réel | Indice de propagation initiale (IPI) |
| 12 | icd | nombre réel | Indice du combustible disponible (ICD) |
| 13 | ifm | nombre réel | Indice forêt-météo (IFM) |

Sélection de la météo-incendie quotidienne

La météo-incendie quotidienne peut être prélevée de la [liste de météo-incendie](#) suivant soit une méthode de sélection aléatoire, soit une méthode de sélection séquentielle.

Méthode aléatoire

La méthode aléatoire consiste à sélectionner au hasard, dans la [liste de météo-incendie](#), les conditions météorologiques qui serviront à simuler la propagation d'un incendie, et ce pour chaque combinaison de saison et de [zone météorologiques](#) lorsque celles-ci sont spécifiées.

Méthode séquentielle

Dans la méthode séquentielle, la météo-incendie de la première journée de propagation est sélectionnée au hasard dans la [liste de météo-incendie](#), pour une combinaison donnée de saison et de [zone météorologique](#), mais la séquence de météo-incendie des journées subséquentes de propagation est prélevée dans l'ordre selon lequel elle apparaît dans la [liste de météo-incendie](#). Cette méthode produit des résultats plus réalistes seulement lorsque les enregistrements de météo-incendie sont classés en ordre chronologique dans la [Liste de météo-incendie](#).

Informations complémentaires: [Processus permettant de relier les conditions météorologiques quotidiennes aux journées de propagation selon la méthode séquentielle.](#)

Durée de l'incendie

La durée de l'incendie correspond au nombre de jours au cours desquels le feu se propage de manière significative proportionnellement à sa superficie finale.

Toujours simuler un nombre constant de journée(s) de propagation par incendie.

Par défaut, il est possible d'entrer une valeur constante (nombre entier) représentant le nombre de journées de propagation à simuler pour chaque incendie.

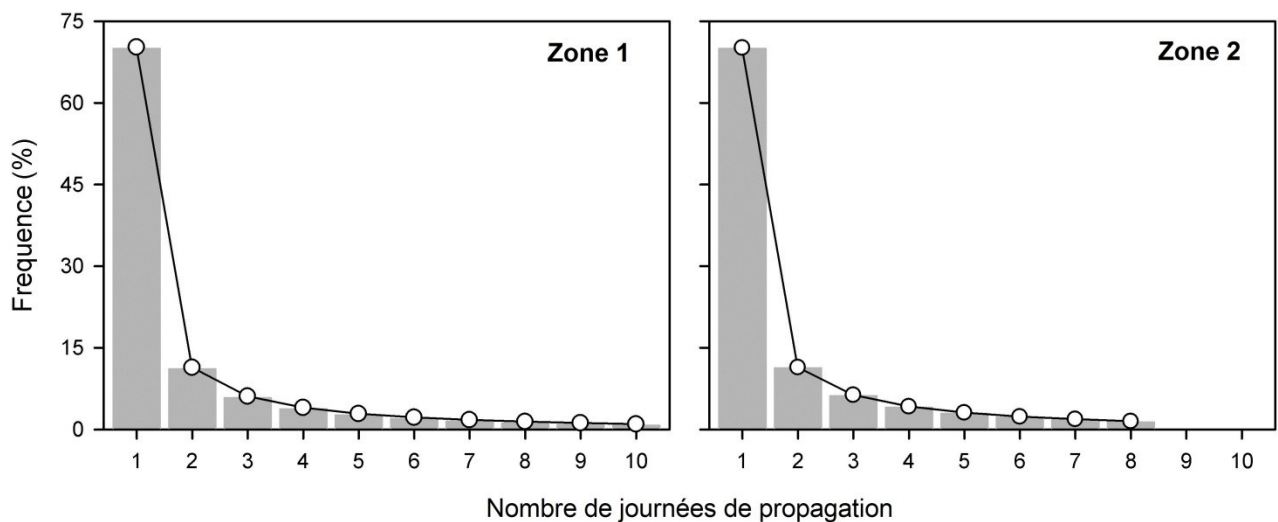


Comme une valeur constante n'est habituellement pas réaliste, cette option peut mener à des résultats erronés sur les cartes de PI.

Distribution des journées de propagation

Habituellement les incendies d'une aire d'étude ont une durée variable, il est essentiel que cette variabilité se reflète dans la distribution des journées de propagation. Il existe plusieurs manières de produire une distribution de journées de propagation. Par exemple, Parisien *et al.* (2005) définissent une journée de propagation comme étant une journée où un feu atteint ou dépasse 4% de sa superficie totale, et ce, à partir d'une base de données de progression quotidienne de 130 incendies de grande envergure.

L'exemple ci-dessous représente une distribution de journées de propagation dérivée des détections quotidiennes de feu MODIS (<https://fsapps.nwcg.gov/afm/>).



Distribution des journées de propagation (points) lissée à partir des données brutes (barres).

La distribution de journées de propagation, importée en un fichier texte délimité par des virgules (*.csv) contient l'information suivante:

| Colonne | Nom | Type | Description |
|---------|--------|---------------|---|
| 1 | j_prop | nombre entier | Nombre de journées de propagation |
| 2 | pct | nombre réel | Probabilité (en %) d'obtenir n journées de propagation par incendie |

Journées de propagation différentes selon la zone d'incendie

Cette option est à privilégier lorsque la durée des incendies est variable d'une [zone d'incendie](#) à l'autre. Elle permet de choisir pour chaque [zone d'incendie](#) soit un nombre constant de journées de propagation ou encore, d'importer une distribution de journées de propagation.

Météo-incendie spécialisée

Grilles des vents

En général, les directions et vitesses des vents sont grandement affectées par la topographie. Afin de compenser pour cette influence, il est possible d'importer des grilles de vitesse et de direction des vents. Ces grilles peuvent être créées avec le logiciel WindNinja (Forthofer et Butler 2007) disponible sur le site de USDS Forest Service (www.firelab.org/project/windninja).

Les grilles des vents doivent être construites pour 8 points cardinaux (N, N-E, E, S-E, S, S-O, O, N-O), produisant ainsi 8 grilles de direction des vents et 8 grilles de vitesse des vents. L'option 'Importation massive' permet d'importer le contenu d'un dossier dans Burn-P3. Il est possible d'apporter des changements aux grilles importées ainsi qu'à la vitesse des vents en utilisant le bouton 'Modifier'.

Pour que Burn-P3 choisisse une grille de direction des vents, il suffit que la direction du vent de la [météo-incendie](#) se situe entre $\pm 22.5^\circ$ d'un point cardinal donné. Par exemple, si une direction des vents se situe entre 337.5° et 22.5° , la grille de direction de vents du nord servira à simuler un incendie se propageant vers le sud.

La grille de vitesse des vents est sélectionnée selon le même processus. Burn-P3 transforme ensuite cette grille de vitesse des vents afin d'en obtenir des nombres multiplicateurs; par exemple, si un vent de 10 km/h augmente sous l'influence du relief jusqu'à 18 km/h, un multiplicateur de 1.8 sera calculé à cet endroit. Le multiplicateur sera par la suite appliqué aux vitesses des vents de la [météo-incendie](#). Il est par ailleurs essentiel de prendre en note la valeur de vitesse des vents utilisée pour produire la grille afin de l'indiquer lors de l'importation des grilles de vitesse des vents.



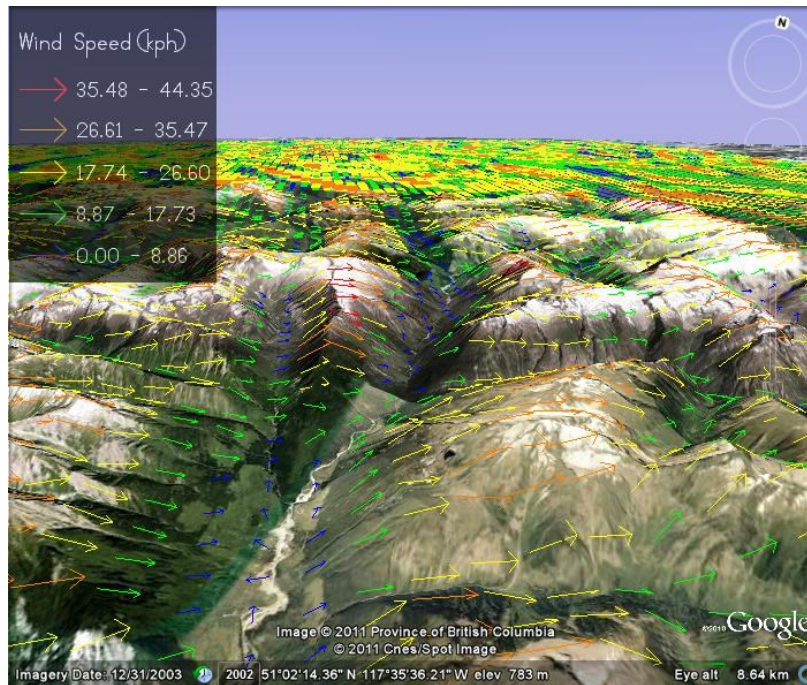
Il est possible de n'utiliser qu'un type de grille des vents, quoi qu'il soit préférable d'importer les deux lorsque le terrain présente une topographie irrégulière.



Les grilles des vents ne peuvent être utilisées en l'absence de la grille d'[altitude](#).



Les grilles des vents doivent avoir la même projection, résolution et étendue que les autres [données géospatiales](#).



Exemple des vitesses et directions des vents modifiées par la topographie. Les grilles des vents ont été produites à l'aide du logiciel WindNinja (Forthofer and Butler 2007).

Créations de grilles des vents à l'aide du logiciel WindNinja

WindNinja offre de produire plusieurs grilles de vitesse et de direction des vents à partir d'une grille d'[altitude](#) et des valeurs constantes de vitesse et de direction des vents. Cette production est très intensive d'un point de vu informatique et pour cette raison, il est recommandé d'utiliser une résolution moins élevée que celle de la grille d'[altitude](#). Par exemple, des grilles des vents d'une résolution de 100 mètres seront impossibles à produire avec WindNinja par la majorité des ordinateurs. L'astuce consiste donc à utiliser une taille des mailles (mesh size) de 1000 mètres lors du traitement de ces fichiers. Toutefois, il est essentiel que les fichiers de sortie de WindNinja aient la résolution originale (100 mètres dans cet exemple) des autres grilles importées dans Burn-P3.

Il est important de prendre en note que WindNinja recommande des résolutions par défaut qui sont en nombres réels, c'est à dire, qui comportent des décimales. Si l'utilisateur omet de spécifier des nombres entiers, la grille résultante n'aura plus la même étendue que la grille d'[altitude](#) originale, ce qui cause un problème dans Burn-P3. Afin de s'assurer que les grilles produites par WindNinja gardent la même étendue que la grille d'[altitude](#), il suffit d'inscrire un facteur de taille des mailles (mesh size) en nombre entier. Par exemple, un ouvrage dont la taille des mailles est de 1000 mètres pourra être divisé par 100 mètres lors du changement de résolution.

Module de propagation

Ce module contrôle les paramètres de propagation modélisés par [Prometheus](#).

Paramètres de Prometheus

Nombre d'heures quotidiennes de brûlage en conditions extrêmes

Ce paramètre représente le nombre d'heures par jour au cours desquelles le feu sera simulé. Le nombre d'heures de brûlage peut soit être un nombre constant qui s'applique à tous les feux, un nombre constant pour chaque saison, ou encore, un nombre tiré d'une distribution de fréquences. Par défaut, une valeur constante de 6 heures de brûlage par jour est utilisée.

Distribution des heures quotidiennes de brûlage

Avec cet intrant, le nombre d'heures quotidiennes de brûlage est tiré d'une distribution de fréquences afin de prendre en compte la variabilité de la durée de l'incendie d'une journée à l'autre.

La distribution des heures quotidiennes de brûlage, téléchargée à partir d'un fichier texte délimité par des virgules (*.csv) contient les informations suivantes:

| Colonne | Nom | Type | Description |
|---------|---------|------------------------|--|
| 1 | hours | nombre entier naturel | Nombre d'heures de brûlage par jour |
| 2 | pct | nombre réel ≥ 0.0 | Probabilité d'atteindre n heures de brûlage par jour |
| 3 | pct_cum | nombre réel | Pourcentage cumulé de la colonne des pourcentages (facultatif) |

Heures quotidiennes de brûlage différentes selon la saison

Le nombre d'heures quotidiennes de brûlage peut être spécifique à chacune des saisons. Cette option devrait mettre l'emphase sur des paramètres non pris en compte dans les [combustibles de la méthode PCI](#) et la [liste de météo-incendie](#) tel la durée d'ensoleillement, les conditions climatiques et l'état des combustibles.

La propagation de l'incendie cesse en bordure de l'aire d'étude

Cette option permet d'interrompre la propagation d'un incendie en simulation lorsque son périmètre touche la limite de la grille. Si la zone tampon n'est pas suffisamment large en comparaison de la superficie des incendies simulés, il est recommandé d'éviter cette fonction et de laisser le feu s'étendre. Par défaut, cette option n'est pas sélectionnée.

État saisonnier de la végétation

Herbe fanée

Le comportement du feu varie significativement dans le combustible O-1 (herbe) au cours des saisons, en fonction du pourcentage d'herbes sèches et de la charge combustible.

Charge combustible (fuel load)

La charge combustible indique la quantité d'herbes fanées disponible en tonnes par hectares. La valeur par défaut est de 3,5 t/ha.

Pourcentage d'herbes fanées

Puisque Burn-P3 tient compte des saisons, il est important d'identifier le pourcentage d'herbes fanées pour le combustible de la méthode PCI de type O-1. Les paramètres par défaut sont à 60% d'herbes fanées au printemps ainsi qu'à l'été. Il est par contre assez rare que ces valeurs soient représentatives de l'aire d'étude.

Règles de la feuillaison

La feuillaison correspond à la transition des arbres sans feuilles vers un feuillage complet. Cette fonction affecte les combustibles D-1/2, M-1/2 et M-3/4. Ce paramètre est évidemment spécifié en fonction des saisons mais peut être aussi ajusté selon la [zone d'incendie](#) afin de représenter les gradients nord-sud ou encore les variations topographiques pouvant influencer la feuillaison. Par défaut, il est considéré que ces combustibles ont leurs feuilles.

Simulation

Durée de la simulation

Ce paramètre détermine la longueur d'une simulation de Burn-P3 en nombre d'itérations. Afin de produire une carte de PI stable, c'est-à-dire dont les mêmes intrants produiront des résultats similaires, un nombre assez important d'itérations doit être choisi. Il n'y a aucune limite au nombre d'itérations, qui devrait varier en fonction de la taille de l'aire d'étude, de la superficie des incendies, de la configuration du paysage et des caractéristiques du régime de feu.



Un nombre élevé d'itérations contribue à la durée et à l'intensité du traitement informatique.

Superficie minimale de l'incendie

Ce paramètre détermine la taille minimale (en hectares) qu'un incendie simulé doit atteindre afin d'être compilé dans les fichiers de sortie, et du même coup, définit la superficie d'un incendie ayant échappé à l'attaque initiale (feu échappé).

Sauvegarde automatique des fichiers de sortie

Lorsque cette fonction est sélectionnée, Burn-P3 sauvegarde automatiquement les fichiers de sortie après un nombre prédéterminé d'itérations. Le nom de fichier donné aux fichiers de sortie est utilisé lors des sauvegardes qui sont réécrites à mesure que progresse la simulation.

Contrôle de la randomisation

En tant que modèle stochastique, Burn-P3 utilise un processus de Monté Carlo lors de la pige d'intrants. De ce fait, aucune [carte de PI](#) produite par Burn-P3 n'aura le même résultat, et ce, malgré la présence d'intrants identiques. Le contrôle de la randomisation force Burn-P3 à reproduire un scénario identique au précédent. Cette fonction permet aussi de reproduire une simulation en choisissant les intrants qui pourront varier.

Nouvelle simulation

Par défaut, Burn-P3 simule aléatoirement afin de produire des [cartes de PI](#) uniques.

Répéter la dernière simulation

Cette option permet de reproduire de manière exacte la simulation précédente. Si tous les intrants et paramètres demeurent les mêmes, Burn-P3 produira un grille de probabilité d'incendie identique à celle produite lors de la simulation précédente.



Cette fonction demeure imprévisible et devrait être utilisée avec précaution.

Malgré l'obligation de piger les mêmes intrants dans le même ordre, des changements apportées à certain de ces intrants provoqueront des résultats non anticipés. Si par exemple, les [emplacements des allumages](#) sont identiques mais que les [combustibles de la méthode PCI](#) ont été modifiés par l'utilisateur, il est possible que certains allumages résultent en un feu de taille inférieure à la [superficie minimale de l'incendie](#) et ainsi, annule la réplique d'un incendie présent dans la simulation précédente.

Contrôle des flux de données aléatoires

Cette option contraint la variabilité stochastique d'une ou de plusieurs composantes. L'utilisateur peut choisir d'utiliser les mêmes intrants que lors de la simulation précédente ou d'utiliser de nouvelles valeurs du nombre d'incendies par itération, d'[emplacements des allumages](#), de la [liste de météo-incendie](#) et de [journées de propagation](#).

Fichiers de sortie

Trois types de fichiers de sortie sont produits systématiquement lors de la simulation d'un projet Burn-P3: une carte de probabilité des incendies (*.asc), un tableau des statistiques sur les incendies (*.csv) et un fichier log (*.log). En supplément, il est aussi possible d'extraire des produits plus spécialisés tels les résultats de la méthode PCI, les périmètres d'incendies et les itérations brûlées.

Carte de probabilité d'incendie

La carte de probabilité d'incendie (PI) est le principal produit de Burn-P3. Elle correspond à une évaluation quantitative des probabilités de brûler d'un territoire donné pour une année. Chaque valeur de la grille peut s'exprimer en pourcentage ou encore, en nombre de fois que le pixel a brûlé. Lorsque la simulation est complétée, la carte de PI s'ouvre automatiquement dans Burn-P3. Le fichier ASCII de la carte peut être visualisé dans un logiciel SIG.



Une carte de PI fiable provient d'intrants représentatifs du paysage et dont la variabilité est importante. Aussi, un nombre suffisant d'itérations doit être simulé.

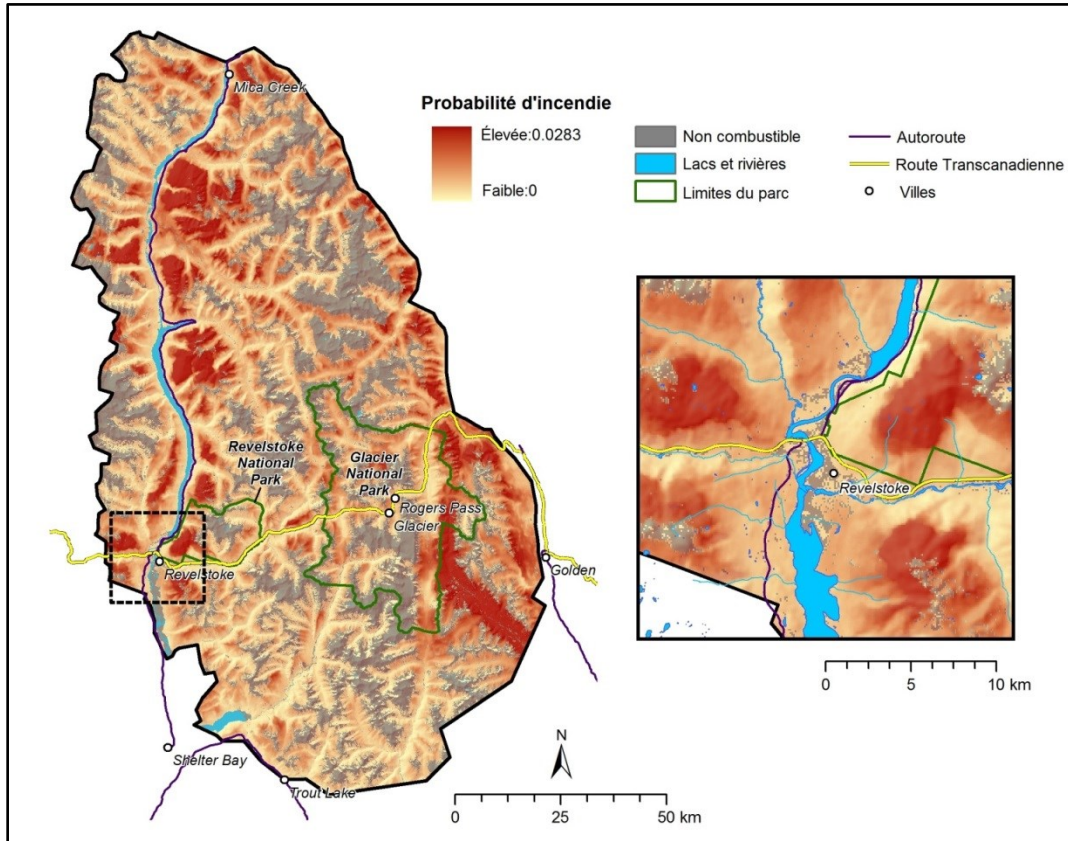
Pourcentage

Cette option, par défaut, permet de créer la carte de PI à partir du calcul du pourcentage; le nombre de fois que le pixel a brûlé est divisé par le nombre total d'itérations, puis multiplié par 100.

Nombre entier

En choisissant ce paramètre, la carte de PI est enregistrée en nombres entiers représentant le nombre de fois que chaque pixel a brûlé lors de la simulation.

Un exemple de carte de PI apparaît ci-dessous:



Statistiques

L'autre produit de Burn-P3 consiste en une table contenant à chaque ligne les informations de chaque incendie simulé. La comparaison entre ces distributions statistiques avec les données historiques permet d'évaluer le calibrage du model.

Ce fichier de sortie en format texte délimité par des virgules (*.csv) contient les données statistiques concernant chaque incendie simulé. Les informations de ce fichier sont décrites ci-dessous:

| Colonne | Nom | Type | Description |
|---------|------------|---------------|---|
| 1 | feu | nombre entier | Numéro identifiant chaque feu simulé |
| 2 | iteration | nombre entier | Itération lors de laquelle l'incendie a eu lieu |
| 3 | coord_x | nombre entier | Coordonnée x de l'emplacement de l'allumage |
| 4 | coord_y | nombre entier | Coordonnée y de l'emplacement de l'allumage |
| 5 | cause | nombre entier | Cause |
| 6 | saison | nombre entier | Saison |
| 7 | z_incendie | nombre entier | Zone d'incendie |
| 8 | z_meteo | nombre entier | Zone météorologique* |
| 9 | prop | nombre entier | Nombre de journées de propagation |
| 10 | hrs_prop | nombre entier | Nombre total d'heures de propagation |
| 11 | comb_allu | nombre entier | Combustible dans lequel l'incendie a débuté |
| 12 | ai_tot | nombre réel | Superficie totale incendiée (ha) |
| 13 | D-1/D-2 | nombre réel | Superficie incendiée (ha) dans le combustible D-1/D-2 |
| 14 | M-1/M-2 | nombre réel | Superficie incendiée (ha) dans le combustible M-1/M-2 |
| 15 | O-1a | nombre réel | Superficie incendiée (ha) dans le combustible Oa-1 |
| 16 | <i>n</i> | nombre réel | ... |

*Ici, les zones météorologiques ne servent pas à déterminer les emplacements des allumages mais à lier les informations des emplacements des allumages au module des conditions de brûlage.

Dès la treizième colonne du tableau de statistiques, le nombre de combustibles de la méthode PCI peut varier; seuls les [combustibles de la méthode PCI](#) présents dans la grille seront inclus dans ce fichier de sortie.

Fichier log

Le fichier log est un résumé du projet qui contient tous les paramètres sélectionnés et intrants importés dans le projet ainsi que les informations sur le déroulement de la simulation. Il se crée automatiquement dès le début de la simulation et prend le nom ainsi que l'emplacement de la carte de PI.

Fichiers de sortie spécialisés

Résultats de la méthode PCI

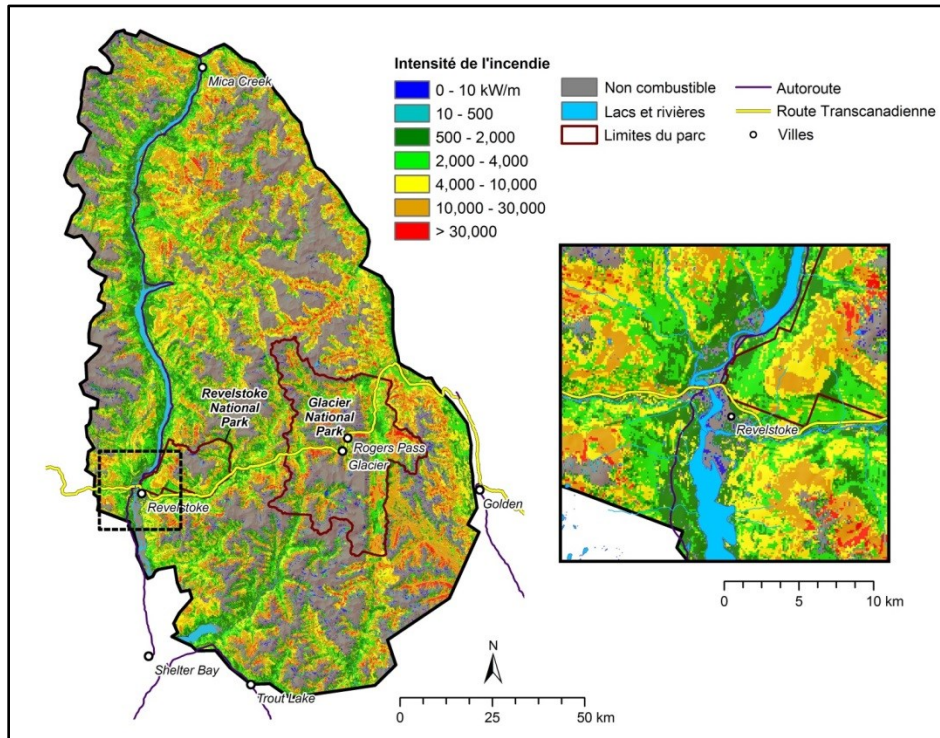
À chaque fois qu'un pixel brûle, les résultats de la méthode PCI sont enregistrés. Pour chaque pixel, ce procédé conduit à une distribution de valeurs de laquelle des statistiques sommaires (moyenne, minimum, maximum, médiane, percentile) peuvent être extraites. Le tout est résumé en une grille de résultats de la méthode PCI spécifiée par l'utilisateur.

Il est aussi possible d'obtenir les données brutes dans une table de coordonnées d'emplacements x-y suivis d'un vecteur ou d'une valeur sélectionnée parmi les résultats de la méthode PCI.



L'extraction de ces résultats exige un traitement informatique intensif causant des délais supplémentaires lors du processus de modélisation. Par conséquent, seuls les fichiers de sortie spécialisés requis devraient être prélevés.

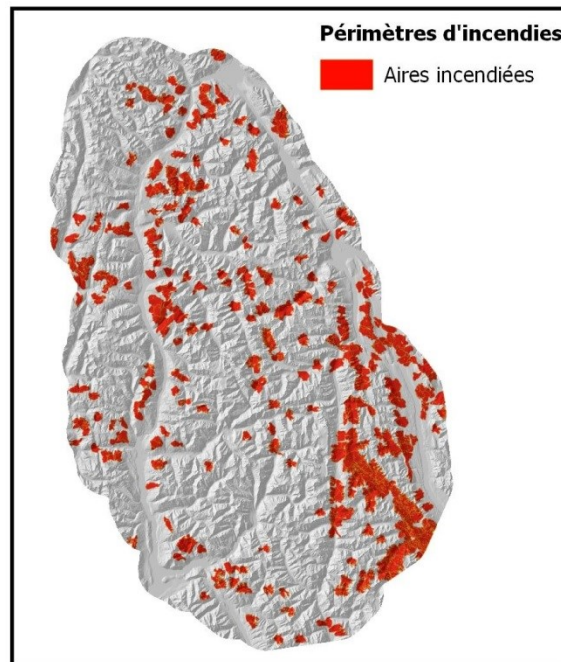
Voici l'exemple d'une grille d'intensité de l'incendie:



Périmètres d'incendies

En sélectionnant ce fichier de sortie, le périmètre de chaque incendie simulé ainsi que les statistiques concernant l'incendie sont compilés en un [fichier de formes](#) (*.shp). Les lacs et autres non-combustibles sont exclus laissant l'apparence de trous à l'intérieur des aires incendiées.

Voici un exemple de périmètres d'incendies:



Itérations brûlées

Ce fichier de sortie spécialisé consiste en une liste de chaque itération lors de laquelle un pixel a brûlé nombre de fois. Ces données peuvent être utilisées pour le calcul des mesures de fréquence des incendies.

Les données brutes des itérations brûlées sont sauvegardées dans un fichier texte délimité par des virgules (*.csv).

| Colonne | Nom | Type | Description |
|---------|--------------------|---------------|----------------------------------|
| 1 | colonne | nombre réel | Numéro de colonne |
| 2 | ligne | nombre réel | Numéro de ligne |
| 3 | Itérations brûlées | nombre entier | Nombre de fois qu'un pixel brûle |

Transcription des emplacements des allumages (Replay ignition list)

Lorsque ce fichier de sortie est sélectionné, Burn-P3 exporte une liste, en format CSV, qui répertorie chaque emplacement d'allumage produit lors de la simulation en cours. Cette liste exclue les allumages tombés sur un non-combustible mais enregistre ceux n'ayant pas atteint la [superficie minimale de l'incendie](#). Ceci explique l'occurrence d'un plus grand nombre d'allumages répertoriés dans le fichier de sortie que le [nombre d'allumages par itération](#) choisi pour cette simulation.


La transcription des emplacements des allumages contient les informations suivantes:


| Colonne | Nom | Type | Description |
|---------|---------|---------------|--|
| 1 | coord_x | nombre réel | coordonnée x de l'emplacement de l'allumage |
| 2 | coord_y | nombre réel | coordonnée y de l'emplacement de l'allumage |
| 3 | wseed | nombre entier | valeur aléatoire de la météo-incendie |
| 4 | sseed | nombre entier | valeur aléatoire de la durée et du nombre d'heures quotidiennes de brûlage |
| 5 | season | nombre entier | identifiant de la saison tel que définie dans le dictionnaire |

Mis à part les colonnes wseed, sseed et season, ce fichier équivaut à une [liste d'emplacements des allumages](#) et a pour but d'être utilisé à cette fin, en tant qu'intrant lors d'une simulation subséquente, où les mêmes emplacements des allumages seront réutilisés alors que les autres intrants et paramètres pourront être modifiés.

Seuls les emplacements des allumages sont directement sauvegardés dans cette liste. La [météo-incendie](#), la [durée de l'incendie](#), le [nombre d'heures quotidiennes de brûlage](#) et la saison son sauvegardés en référence à leur intrants respectifs (la [liste météo-incendie](#), la [distribution de journées de propagation](#), la [distribution des heures quotidiennes de brûlage](#) et le [dictionnaire](#)). Les saisons sont sauvegardées selon leur ordre d'apparition dans le [dictionnaire](#).

Lorsque la transcription des emplacements des allumages est importée pour une reprise de la simulation, Burn-P3 relie chaque emplacement d'allumage aux conditions météorologiques, saisonnières et de propagation, sauvegardées dans les colonnes wseed et sseed, et réutilise les mêmes valeurs que lors de la simulation initiale.

 Si la [liste de météo-incendie](#) fait partie des intrants modifiés, il est essentiel de s'assurer de la correspondance entre les identifiants des saisons dans la transcription des emplacements des allumages, le [dictionnaire](#) et la [liste de météo-incendie](#). Si la transcription des emplacements des allumages contient une saison absente du [dictionnaire](#) ou de la [liste de météo-incendie](#), la simulation cesse, accompagnée d'un message d'erreur, alors qu'une saison supplémentaire dans la [liste de météo-incendie](#) sera ignorée lors de la simulation.

 Il est important de tenir compte du fait que les allumages sur du non-combustible ne sont pas compilés, donc malgré l'importation de nouveaux combustibles de la méthode PCI, aucun allumage n'aura lieu dans ces cellules, même si le combustible y est devenu propice au feu. Lors d'une telle situation, Burn-P3 abandonne cette information et passe à l'emplacement d'allumage suivant.

Ici, tout comme dans la [liste d'emplacement des allumages](#), le concept d'itération est absent, puisque le nombre d'allumages dans la liste détermine la [durée de la simulation](#).

Mis à part cette caractéristique, importer une transcription des emplacements des allumages lors de simulations subséquentes se compare à sélectionner la fonction [répéter la dernière simulation](#), si tous les intrants sont identiques, les résultats seront identiques. La fonction [répéter la dernière simulation](#) se régule par le [nombre d'allumages par itération](#) et la [durée de la simulation](#), alors que l'utilisation du répertoire d'emplacements des allumages cesse la simulation lorsque chaque emplacement d'allumage a été lu et testé, peu importe le nombre d'allumages ayant atteint la [superficie minimale de l'incendie](#).

L'utilisation de la transcription des emplacements des allumages et la fonction [répéter la dernière simulation](#) diffèrent de l'outil [reproduire la simulation](#), qui quant à lui, permet de reproduire une simulation à maintes reprises en utilisant les mêmes intrants et paramètres, et leur caractère aléatoire, afin de mesurer la variabilité des résultats d'une simulation à l'autre.

Section 3: Items de la barre de menus

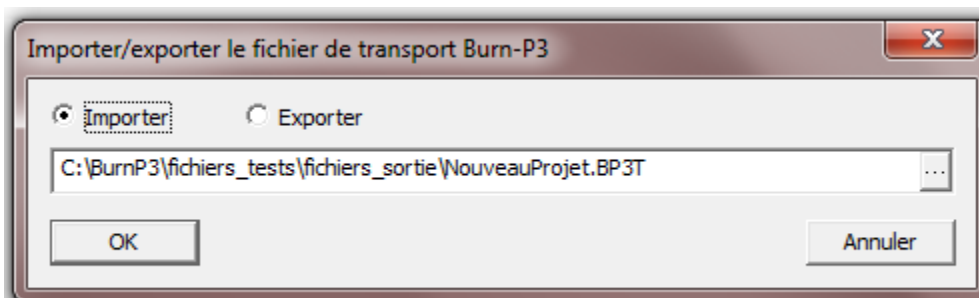
Menu fichier

Importer/exporter BP3T

Il existe deux manières de sauvegarder un projet dans Burn-P3.

La première consiste à sauvegarder le projet dans un fichier *.bp3, qui contient seulement les liens vers les dossiers où se trouvent les fichiers importés au projet. Ce type de sauvegarde produit un fichier léger mais difficilement transportable d'un ordinateur à l'autre. Ce qui est toutefois possible à la condition que la structure interne des dossiers des ordinateurs concernés soit identique.

La deuxième alternative, le *.bp3T, consiste en une exportation massive du projet dans un objectif de transport, d'où le 'T' additionnel. Ce type de fichier sauvegarde tous les fichiers importés dans le projet et par conséquent peut s'implanter facilement d'un ordinateur à un autre. Par contre, ce type de sauvegarde génère un fichier de taille plus imposante.

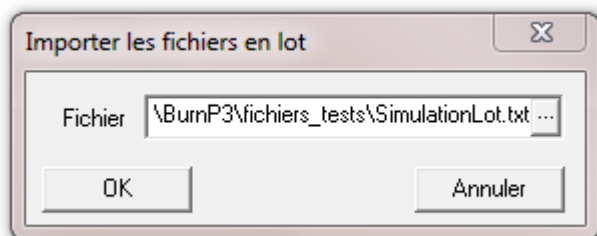


Simulation en lot

Certaines applications de Burn-P3 nécessitent la production de plusieurs cartes de PI. Afin de satisfaire à la demande, Burn-P3 possède la capacité de simuler en lot une liste de projets.

Lors de la simulation en lot, chaque projet de la liste est simulé indépendamment afin de générer une carte de PI unique. Chaque projet de la liste, sauvegardé en un fichier texte, doit inclure son emplacement tel que présenté dans l'exemple suivant:

```
C:\BurnP3\MesProjets\Projet_1.bp3  
C:\BurnP3\MesProjets\Projet_2.bp3  
C:\BurnP3\MesProjets\Projet_3.bp3  
C:\BurnP3\MesProjets\Projet_4.bp3  
C:\BurnP3\MesProjets\Projet_5.bp3
```



L'importation de la liste de projets Burn-P3 se fait à partir du menu Fichier / Simulation en lot...

Lorsque la simulation d'un des projets est interrompue, la simulation en lot se poursuit et enclenche directement la simulation du projet suivant. Il est fortement recommandé d'utiliser la fonction de [sauvegarde automatique](#) afin de récupérer la partie exécutée de simulations interrompues.

Burn-P3 ne montre aucun message d'erreur lorsqu'un ou plusieurs projets subissent une interruption lors de la simulation en lot, il revient à l'utilisateur de s'assurer, en étudiant les [fichiers log](#), que les projets ont été assidûment complétés.

Menu outils

Contrôle des processus

Cet outil offre à l'utilisateur l'option d'augmenter ou de diminuer le nombre de fils d'exécutions utilisés lors d'une simulation Burn-P3. Par défaut, le Burn-P3 [utilise le nombre normal de processus](#).

Utiliser moins de processus

Cette option indique qu'un seul fil d'exécution est utilisé lors de la simulation Burn-P3 et qu'aucun traitement multifil n'est alloué à Prometheus.

Utiliser le nombre normal de processus

Ce type de traitement (paramètre par défaut) alloue 2 Go de mémoire par fil d'exécution. Si d'avantage de processeurs que de fils sont disponibles, Prometheus bénéficiera du traitement multifil pour simuler la propagation des incendies.

Utiliser plus de processus

Cette option permet à Burn-P3 d'utiliser un fil d'exécution par Go de mémoire. Si le nombre de processeurs excède celui de fils, les processeurs en surplus serviront au traitement multifil des processus de Prometheus pour simuler la propagation des incendies. Même si la majorité des ordinateurs actuels ont le potentiel d'atteindre une telle performance, il est toutefois conseillé de vérifier les températures du processeur lors d'une simulation utilisant ce type de traitement puisqu'une température excessive risque d'endommager l'ordinateur.



Certains logiciels permettent de mesurer la température du processeur: <http://www.alcpu.com/CoreTemp/>

Reproduire la simulation

Cet outil permet de reproduire une simulation plusieurs fois. Les résultats seront différents d'une simulation à l'autre puisqu'un certain nombre de valeurs aléatoires sont utilisées au cours du processus contrairement à l'option [répéter la dernière simulation](#). L'intérêt de cet outil est de mesurer la variation entre les valeurs et les patrons de PI produits en utilisant des intrants identiques.

Chaque reproduction génère un groupe de fichiers individuels dont le nom est identifié au fichier de sortie. Par exemple, reproduire la simulation pour une carte de probabilité nommée pi.asc produira des cartes nommées pi_1.asc, pi_2.asc, et ainsi de suite pour le nombre de reproductions déterminées. Ceci s'applique pour tous les fichiers de sorties tels les [fichiers log](#), [statistiques](#), [statistiques de la carte PI](#) et des [fichiers de sorties spécialisés](#).

Section 4: Dépannage

| Problème | Emplacement | Solution |
|---|--|--|
| Message d'erreur signalant des grilles dont la résolution ou l'étendue est inadéquate. | Paysage/ Données géographiques Module des allumages | Toutes les grilles importées dans Burn-P3 doivent s'imbriquer parfaitement, c'est à dire que leur résolution (taille des pixels), étendue et projection doivent être identiques. Cette erreur est l'une des plus fréquentes lors de l'élaboration d'un projet Burn-P3. |
| Message d'erreur signalant qu'une valeur de la grille de combustibles de la méthode PCI est absente de la table de correspondance des combustibles de la méthode PCI. | Paysage/ Données géographiques | Chaque valeur numérique apparaissant dans la grille de combustibles de la méthode PCI doit être identifiée dans la table de correspondance des combustibles de la méthode PCI. À l'inverse, la table de correspondance des combustibles de la méthode PCI peut contenir des valeurs absentes de la grille de combustibles de la méthode PCI. |
| Message d'erreur signalant une valeur erronée dans la zone d'incendie ou zone météorologique. | Paysage/ Données géographiques | Ce message indique qu'une valeur de la grille de zones d'incendie ou de zones météorologiques ne correspond à aucune des valeurs spécifiées dans le dictionnaire. |
| Les grilles des allumages n'ont pas été spécifiées pour chaque cause et saison. | Module des allumages | Lorsque sont choisies les grilles des allumages, il est nécessaire de leur associer une combinaison de cause et de saison. Si une combinaison de cause et de saison n'est pas reliée à une grille, cette combinaison sera traitée avec des allumages aléatoires, sans avertissement de la part de Burn-P3. |
| Message d'erreur signalant des valeurs erronées dans la distribution du nombre d'allumages par saison, cause et zone d'incendie. | Module des allumages | Il est essentiel que les codes numériques de la distribution du nombre d'allumages par saison, cause et zone d'incendie correspondent aux codes attribués aux saisons, causes et zones d'incendie indiqués dans le dictionnaire. |
| Message d'erreur signalant des valeurs erronées dans météo-incendie. | Module des conditions de brûlage | Tous les codes numériques attribués aux saisons et zones d'incendie de la météo-incendie doivent correspondre à ceux apparaissant dans le dictionnaire. Il est aussi essentiel d'éliminer de la météo-incendie toutes les lignes ayant des valeurs irréalistes (-9999) ou absentes. |
| Après quelques minutes de simulation, Burn-P3 annonce que le nombre maximal de tentatives pour l'obtention d'un nombre minimal d'incendies est excédé. | Module des conditions de brûlage | La météo-incendie ne doit contenir que les journées où les conditions météorologiques sont propices à l'allumage et à la propagation d'un incendie, c'est à dire les journées où l'indice de danger d'incendie est élevé ou extrême. Dans le cas contraire, Burn-P3 tentera en vain d'allumer des incendies dans des conditions impropres à la propagation et terminera avec ce message d'échec. |

| Problème | Emplacement | Solution |
|--|--------------------|--|
| La distribution des superficies des incendies simulés est considérablement différente de celle des incendies observés. | Fichiers de sortie | Pratiquement chaque intrant pourrait contribuer à ce problème. Les plus probables sont toutefois: le nombre d'heures de brûlage et la distribution des journées de propagation. La première étape afin de résoudre le problème consiste à ajuster ces deux intrants. |
| Les périmètres des incendies simulés sont considérablement différents de ceux des incendies observés. | Fichiers de sortie | Pratiquement chaque intrant pourrait contribuer à ce problème. Quoiqu'à ce niveau soit fort probable que la météo-incendie ait d'avantage d'influence. Afin d'obtenir des conditions de brûlage plus réalistes, il est préférable d'utiliser la méthode séquentielle lors de la sélection de la météo-incendie. |
| Malgré la présence d'intrants identiques, les simulations de Burn-p3 conduisent à des probabilités d'incendies considérablement différentes. | Fichiers de sortie | Ce problème est fort probablement attribuable à un nombre insuffisant d'itérations. Il est donc essentiel d'en augmenter le nombre jusqu'à l'obtention de résultats plus constants pour un ensemble précis d'intrants. |
| L'aire d'étude analysée présente un effet de bordure. | Fichiers de sortie | Afin d'éliminer l'effet de bordure, il est essentiel d'incorporer une zone tampon à tous les intrants importés en tant que données géospatiales. |
| Les patrons des probabilités d'incendies simulées ne correspondent en rien aux résultats anticipés pour cette aire d'étude. | Fichiers de sortie | L'unique manière de résoudre ce problème consiste à n'importer que des intrants qui reflètent correctement les patrons réalistes d'allumage et de propagation. Une erreur fréquente consiste à déterminer une superficie minimum des incendies trop élevée (ex; 200 ha) alors que des incendies d'une superficie moindre ont été utilisés lors de la création des patrons saisonniers et spatiaux des allumages. En général, au Canada, les endroits où d'avantage d'incendies s'allument, en l'occurrence les zones urbaines, expérimentent rarement, voire jamais, les plus grandes superficies brûlées. |
| Les probabilités d'incendies du combustible O-1 semblent surestimées. | Fichiers de sortie | Les terres agricoles sont souvent classées en tant que combustible O-1. Ceci est une erreur, puisqu'elles ne brûlent pratiquement jamais. Puisqu'il est impossible de modifier la grille de combustibles de la méthode PCI directement dans Burn-P3, une réduction du pourcentage d'herbes fanées permettra une rectification rapide. Malgré des valeurs artificielles d'herbes fanées, les propagations seront plus réalistes. |
| Il est compliqué de combiner les probabilités d'incendies obtenues des mêmes intrants mais de simulations dont le nombre d'itérations diffère. | Fichiers de sortie | Il est fortement recommandé d'utiliser la fonction nombre entier afin d'obtenir des cartes de probabilités d'incendies plus malléables. Il est plus simple de calculer les nombres entiers dans une grille de format ASCII que d'en évaluer les poids des pourcentages calculés à partir de nombres différents d'itérations. |

Références

Méthode canadienne de l'indice forêt-météo (IFM)

Van Wagner, C.E. 1987. Élaboration et structure de l'Indice forêt-météo. Service canadien des forêts, Administration centrale, Ottawa (Ontario). Rapport technique de foresterie 35F. 34 p.

Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt (PCI)

<http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/renseignements/sommaire/fbp>

Groupe de travail sur les dangers d'incendie de forêt au Canada. 1992. Développement et structure de la Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt. For. Can., Ottawa, ON. Rapp. inf. ST-X-3.

Hirsch, K.G. 1996. Méthode canadienne de prévision du comportement des incendies de forêt: guide de l'utilisateur. Ressources naturelles Canada, Service canadien des forêts, Centre de foresterie du Nord, Edmonton, Alberta. Rapport spécial no 7.

Logiciels de calcul des méthodes IFM et PCI

REDapp: The Universal Fire Behaviour Calculator: <http://redapp.org/>

The fwi.fbp R package: Fire Weather Index System and Fire Behaviour Prediction System Calculations: <https://cran.r-project.org/web/packages/fwi.fbp/index.html>

Base nationale de données sur les feux de végétation du Canada (BNDFFC)

Téléchargement: <http://cwfis.cfs.nrcan.gc.ca/ah/nfdb>

Parisien, M.A., Peters, V.S., Wang, Y., Little, J.M., Bosch, E.M., Stocks, B.J. 2006. Spatial patterns of forest fires in Canada 1980-1999. Int. J. Wildland Fire 15: 361-374.

Stocks, B.J., Mason, J.A., Todd, J.B., Bosch, E.M., Wotton, B.M., Amiro, B.D., Flannigan, M.D., Hirsch, K.G., Logan, K.A., Martell, D.L., Skinner, W.R. 2002. Large forest fires in Canada, 1959-1997. Journal of Geophysical Research 107: 8149 <doi:10.1029/2001JD000484>

Prometheus: model de propagation des incendies

Téléchargement: http://firegrowthmodel.ca/prometheus/overview_e.php

Tymstra, C., Bryce, R.W., Wotton, B.M., Taylor, S.W., Armitage, O.B. 2010. Development and structure of Prometheus: the Canadian Wildland Fire Growth Simulation Model. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Information Report NOR-X-417. 102 p.

Burn-P3: logiciel, documentation et fichiers tests

Téléchargement: http://firegrowthmodel.ca/burnp3/software_f.php
<https://www.ualberta.ca/~wcwfs/burn-p3-fr.html>

Burn-P3: revues scientifiques

- Beverly, J.L., Herd, E.P.K., Conner, J.C.R. 2009. Modeling fire susceptibility in west central Alberta, Canada. *Forest Ecology and Management* 258: 1465–1478.
- Braun, W.J., Jones, B.L., Lee, J.S.W., Woolford, D.G., and Wotton, B.M. 2010. Forest Fire Risk Assessment: An Illustrative Example from Ontario, Canada. *Journal of Probability and Statistics*, Article ID 823018, 26 pages <doi:10.1155/2010/823018>
- Parisien, M.-A., Junor, D.R., Kafka, V.G. 2007. Comparing Paysage-based decision rules for placement of fuel treatments in the Forêt boréale mixte of western Canada. *International Journal of Wildland Fire* 16: 664-672.
- Parisien, M.-A., Miller, C., Ager, A.A., Finney, M.A. 2010. Use of artificial Paysages to isolate factors controlling spatial patterns in burn probability. *Paysage Ecology* 25: 79-94.
- Parisien, M.-A., Parks, S.A., Miller, C., Krawchuk, M.A., Heathcott, M., Moritz, M.A. 2011. Contributions of Ignitions, Fuels, and weather to the burn probability of a Boréal Paysage. *Ecosystems* 14: 1141–1155.
- Parisien, M.-A., Walker, G.R., Little, J.M., Simpson, B.N., Wang, X., Perrakis, D.D.B. 2013. Simulation modeling of burn probability in ecologically complex Paysages: a case study from the interior rainforest of British Columbia, Canada. *Natural Hazards* 66: 439-462
- Parks, S.A., Parisien, M.-A., Miller, C. 2012. Spatial bottom-up controls on fire likelihood vary across western North America. *Ecosphere* 3:art12.
- Wang, X., Parisien, M.A., Taylor, S.W., Perrakis, D.D., Little, J., Flannigan, M.D., 2016. Future burn probability in south-central British Columbia. *International Journal of Wildland Fire*. *International Journal of Wildland Fire* 25(2): 200-212
- Whitman, E., Rapaport, E. and Sherren, K., 2013. Modeling fire susceptibility to delineate wildland–urban interface for municipal-scale fire risk management. *Environmental management*, 52(6), pp.1427-1439.

Burn-P3: rapports d'information du Service canadien des forêts

- Parisien, M.A., Hirsch, K.G., Lavoie, S.G., Todd, B.M., Kafka, V.G. 2004. Saskatchewan fire regime analysis. Canadian Forest Service Information Report NOR-X-394.
- Parisien, M.-A., Kafka, V.G., Hirsch, K.G., Todd, B.M., Lavoie, S.G., and Maczek, P.D. 2005. Mapping fire susceptibility with the Burn-P3 simulation model. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta, Information Report NOR-X-405.
- Williamson, T.B., Price, D.T., Beverly, J., Bothwell, P.M., Frenkel, B., Park, J., Patriquin, M.N. 2008. Assessing potential biophysical and socioeconomic impacts of climate change on forest-based communities: a méthodeological case study. Natural Resources Canada, Canadian Forest Service, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Information Report NOR-X-415E.

Burn-P3: actes de conférence

- Miller, C., Parisien, M.-A., Ager, A.A., Finney, M.A. 2008. Evaluating spatially-explicit burn probabilities for strategic fire management planning. *Wessex Institute of Technology Transactions on Ecology and the Environment*. 19: 245-252.
- Parisien, M.-A., Junor, D.R., Kafka, V. 2006. Using Paysage-based decision rules to prioritize locations of fuel treatments in the Forêt boréale mixte of western Canada. 2006. Pages 221-236 in P.L. Andrews and B.W. Butler, compilers. *Proceedings RMRS-P-41: Fuels Management-How to Measure Success*, March 28-30, 2006, Portland, Oregon, USA. USDA Forest Service, Fort Collins, Colorado, USA.
- Parisien, M.-A., Kafka, V.G., Todd, B.M., Hirsch, K.G., Lavoie, S.G. 2003. The peripheral reduction in burn probability around recent burns in the Boréal forest. The 2nd international wildland fire ecology and management congress. Orlando, FL, November 2003. (extended abstract)

Burn-P3: autres rapports

- Parisien, M.-A., Junor, D.R. 2006. The relationship between burn probability and fuel type dominance in the boreal forest of western Canada. Prince Albert Model Forest, Prince Albert, Saskatchewan. <http://www.pamodelforest.sk.ca/pub.html>
-

