



les différences entre la nature des particules provenant des incendies de forêt et celle des particules de source urbaine vis-à-vis des impacts potentiels sur les populations exposées et les mesures à mettre en place.

## INTRODUCTION

On observe depuis quelques décennies au Québec, ainsi qu'à l'échelle mondiale, une hausse des températures (IPCC, 2007). Dans ce contexte, les risques d'apparition de phénomènes météorologiques extrêmes partout sur la planète entraînent une vulnérabilité des écosystèmes ayant pour conséquences des effets défavorables. On anticipe notamment une augmentation des sécheresses, des vagues de chaleur ainsi que des inondations (IPCC, 2007).

Un climat chaud et sec pourrait donc engendrer une augmentation des incendies de forêt de même que de la superficie brûlée dans les forêts boréales au cours du XXI<sup>e</sup> siècle (McLaughlin et Percy, 1999). Il faut noter toutefois que certaines incertitudes demeurent encore quant à ces augmentations.

Les incendies de forêt constituent déjà, en tant que tels, un risque naturel important aux répercussions diverses, notamment économiques et environnementales. Il est donc légitime de s'interroger sur les impacts sanitaires y étant liés. À ce niveau, la distinction de deux volets s'impose quant aux effets sanitaires associés aux incendies de forêt. Il y a, dans un premier temps, les effets sanitaires ressentis près des lieux de l'incendie. Il s'agit principalement des risques d'incendies et d'intoxications (au monoxyde de carbone surtout). Ces aspects sont du ressort de la sécurité civile, et des mesures de protection existent à cet effet comme l'évacuation des zones proches des sites de feux (EPA, 2008). Hormis ces effets locaux, on abordera ici un second volet qui concerne les effets des particules des fumées engendrées par ces feux.

Les particules issues des incendies de forêt représentent un impact mesurable sur la santé des populations, non seulement locales, mais aussi situées à des centaines de kilomètres de la source de combustion. Par exemple, les polluants émis lors des incendies de forêt de juillet 2002 dans le nord du Québec ont été associés à une hausse importante de la quantité de particules fines à Baltimore aux États-Unis, ville située à plus de 1 000 kilomètres du site des feux (Sapkota et collab., 2005). Lors de cet épisode, les fumées ont traversé d'autres villes comme Montréal où des concentrations journalières moyennes trois fois plus élevées qu'en temps normal ont été notées; ces concentrations dépassaient  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec des maxima horaires au-delà de  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les panaches provenant des aires de combustion influencent également les concentrations d'autres polluants que les particules près des sites de feux, tels le monoxyde de carbone et l'ozone dans l'air (Wotawa et Trainer, 2000). Les concentrations des polluants qui engendrent en partie le smog urbain, tel l'ozone, peuvent aussi augmenter en aval des sites de feux et loin de ces derniers.

Il est important donc de mieux comprendre quels sont les enjeux sanitaires liés aux fumées générées par les incendies de forêt, principalement en ce qui concerne les particules, et ce, même à des kilomètres des sites de feux, par exemple dans des villes où ces polluants sont déjà présents en raison d'autres sources d'émissions (par exemple industrielles).

Ce feuillet vient compléter un précédent document produit par l'INSPQ portant sur les indicateurs aux fins de vigie et de surveillance des troubles de la santé liés à la foudre et aux incendies de forêt (Bustinza et collab., 2010). Cet écrit avait pour objectif de proposer un ensemble d'indicateurs sanitaires à intégrer aux systèmes de vigie et de surveillance, tout en dressant un portrait rapide des initiatives déjà mises en place au Canada dans le contexte d'une plateforme technologique pour la vigie et la surveillance applicable aux changements climatiques, notamment aux événements météorologiques extrêmes.

Le présent document approfondit celui de Bustinza et collab. (2010), en particulier les études épidémiologiques ayant trait aux feux de végétation. À cet effet, il se concentre sur les particules provenant des feux de végétation. Ainsi, sont décrites ici les études épidémiologiques qui ont porté sur les effets sanitaires des fumées, causés par les particules en suspension issues de ces feux de végétation (c'est-à-dire, incendies de forêt, de brousse ou d'autres types de biomasse). Les études épidémiologiques sur les effets de l'exposition aux particules issues de la combustion de la biomasse utilisée comme combustible (par exemple pour la cuisson) ne seront pas résumées ici. Toutefois, les interventions à envisager pour limiter les effets de ces particules seront brièvement discutées.

## MÉTHODOLOGIE

Les études épidémiologiques originales (c'est-à-dire excluant les revues de littérature) ayant trait aux effets sanitaires des fumées provenant de feux de végétation ont été recherchées dans la base de données PubMed, à partir des mots-clés suivants : (*forest fire OR bushfire OR wildfire*) AND (*emergency OR hospital OR respir\**).

110 études ont été publiées en anglais entre janvier 2001 et avril 2012. Parmi ces études, celles effectuées chez des pompiers de même que les études expérimentales ont été exclues. Ainsi, 30 publications scientifiques ont été retenues pour analyse. Une synthèse de ces publications apparaît dans le tableau 1 à la fin de la section 3. Par ailleurs, pour les aspects généraux et contextuels concernant les feux de végétation, ainsi que pour les aspects toxicologiques, des revues déjà publiées traitant de ces éléments ont été utilisées (WHO, 1999; Fowler, 2003; Naeher et collab., 2007; EPA, 2008; Bustinza et collab., 2010; Dennekamp et Abramson, 2010; ANSES, 2012). Enfin, les sites Internet de l'OMS (Organisation mondiale de la Santé), de l'US EPA (US Environmental Protection Agency), d'Environnement Canada et du British Columbia Air Quality ont été consultés pour compléter les informations obtenues.

## LA FUMÉE PROVENANT DES INCENDIES DE FORÊT

La fumée provenant des incendies de forêt est un mélange complexe de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), de particules en suspension, de vapeur d'eau, de monoxyde de carbone (CO), de composés organiques (tels l'acroléine et le formaldéhyde), d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et de divers minéraux. La composition de cette fumée dépend de multiples facteurs, soient du type de bois ou de végétation, de l'humidité, de la température du feu, des vents et différentes conditions météorologiques (Mazzoleni et collab., 2007).

Les particules en suspension sont les principaux polluants d'intérêt pour une population qui est exposée à la fumée loin des sites d'incendies de forêt, puisque ces particules peuvent voyager sur de longues distances (Weinhold, 2011). De très grandes populations habitant à des centaines de kilomètres de la source de combustion peuvent y être

exposées. Comme il est mentionné ci-dessus, le présent document porte sur les risques associés à l'exposition aux particules contenues dans les panaches, issus des feux de végétation. Les particules en suspension peuvent être classées selon leur diamètre médian : on trouve, entre autres, des particules de moins de 10 micromètres (PM10) et des particules de moins de 2,5 micromètres (PM2,5). Ces particules fines peuvent pénétrer profondément dans les poumons, et, généralement, les particules provenant d'incendies de forêt sont de moins de 2,5 micromètres.

Les gaz, comme le CO, les NO<sub>x</sub> et les composés organiques, représentent un risque sanitaire surtout à proximité des sites de feux. Ainsi, en plus des populations locales, les travailleurs forestiers et les pompiers sont également exposés à ces contaminants. Ces groupes de travailleurs doivent se référer aux directives et aux mesures de protection édictées lors d'incendies de forêt (Bowman et Johnston, 2005). Ces contaminants sont moins préoccupants à une plus grande distance des feux parce qu'ils sont rapidement détruits ou transformés, entre autres, en particules fines (Athanasopoulou et collab., 2012). Les incendies de forêt sont aussi une source importante d'ozone qui se forme à partir des hydrocarbures et des oxydes d'azote que ces feux libèrent. Sous le vent de ces feux, sur de longues distances, les niveaux d'ozone peuvent aussi s'accroître (Ward et Smith, 2001; Ward et collab., 2006).

### **Les effets sur la santé des particules en suspension dans l'air en milieu urbain**

Depuis plusieurs années, de nombreuses études ont été menées afin d'étudier les associations entre les particules de l'air ambiant en milieu urbain et la santé des populations (EPA, 2009). Cependant, un nombre relativement limité d'études a évalué les associations entre les particules issues de feux de végétation et les effets sanitaires.

Les études épidémiologiques réalisées en milieu urbain ont rapporté plusieurs effets sur la santé reliés à une exposition de courte durée (heures, jours) aux particules fines qui sont issues de multiples sources (comme les carburants fossiles brûlés). Ces effets sanitaires incluent l'augmentation de symptômes respiratoires (par exemple toux, symptômes d'asthme), la diminution des fonctions pulmonaires, l'augmentation de l'utilisation de services médicaux (c'est-à-dire visites aux urgences, hospitalisations) et l'augmentation de la mortalité en raison de problèmes respiratoires et cardiovasculaires. Toutefois, de nombreuses incertitudes demeurent quant à ces effets et, selon l'US EPA (2009) – United States Environmental Protection Agency/Agence américaine de protection de l'environnement, une relation causale existerait seulement pour l'association avec les mortalités en raison de problèmes cardiovasculaires. L'association avec les mortalités en raison de problèmes respiratoires serait plausible, mais il y aurait encore peu de cohérence entre les études sur la morbidité respiratoire et l'exposition aux particules, ce qui ne permet pas d'appuyer une relation causale.

Ainsi, les principaux symptômes qui seraient parfois associés à une exposition de quelques minutes à quelques jours aux particules fines sont :

- une irritation des voies respiratoires (irritation du nez, toux, irritation de la gorge, crachat);
- une respiration sifflante;
- une sensation de serrement à la poitrine;
- une douleur associée à la respiration profonde;
- de la difficulté à respirer.

### **Les effets des particules générées par les fumées d'incendies de forêt**

Il existe peu d'études toxicologiques ou épidémiologiques ayant trait spécifiquement aux effets des particules issues des incendies de forêt. Peu d'évidences peuvent donc soutenir l'hypothèse selon laquelle les effets associés à ces particules sont différents de ceux associés aux particules retrouvées en milieu urbain et émises de multiples sources.

Quelques études toxicologiques ont porté sur les effets d'une exposition aux fumées de bois par inhalation à proprement parler. Les études, entre autres celles effectuées chez des pompiers, montrent des effets tels que l'altération des mécanismes de défense immunitaire des poumons (Naehler et collab., 2007). Ces effets ont des conséquences importantes via la diminution de la résistance aux infections par l'induction au niveau pulmonaire d'un stress oxydatif (Park et collab., 2004) et l'augmentation d'une réponse inflammatoire (Swiston et collab., 2008) de même que l'altération modérée des fonctions pulmonaires (Tesfaigzi et collab., 2005; Adetona et collab., 2011; Jacquin et collab., 2011).

Les fumées de bois présentent par ailleurs un caractère mutagène pouvant augmenter le risque de cancer. Toutefois, selon le Centre international de Recherche sur le Cancer (IARC, 2010), le niveau de preuve du caractère carcinogène est « limité » pour les émissions de combustion de bois, et « suffisant » pour les extraits de fumées de bois (études animales). Sur le plan de la toxicologie, les connaissances sont donc insuffisantes, à ce jour, pour identifier les effets toxiques selon différents types de biomasse. Dans tous les cas, l'exposition aux fumées serait de courte durée pour la population en général et le risque mutagène/cancérigène serait peu préoccupant; ce risque pourrait toutefois être plus préoccupant pour les pompiers ou les travailleurs forestiers.

À partir de la littérature épidémiologique, il semble plus difficile de déterminer le potentiel toxique plus ou moins élevé des particules engendrées par les fumées de feux de végétation que celui des particules fines provenant de l'air urbain, pour lesquelles beaucoup plus d'études ont été effectuées (ANSES, 2012). Cependant, la majorité des études épidémiologiques suggère que les particules issues de feux de végétation induiraient surtout des effets respiratoires à court terme et peu d'effets cardiovasculaires. Il est ardu d'affirmer toutefois que les effets respiratoires des particules issues de la combustion de la végétation sont plus importants que ceux associés aux particules urbaines.

La section suivante résume les études épidémiologiques réalisées depuis 2001 traitant des effets de l'exposition de courte durée aux fumées, notamment aux particules en suspension issues des feux de végétation (voir la méthode de sélection des études présentée ci-dessus).

## **ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES CONCERNANT LES EFFETS DES PARTICULES ISSUES DES FEUX DE VÉGÉTATION**

Les études épidémiologiques portant sur les effets des fumées, notamment des particules en suspension issues de feux de combustion de végétaux, sont de deux types. Quelques études ont traité de l'association entre les niveaux journaliers de particules lors d'épisodes de feux et des événements de santé (par exemple visites aux urgences, mortalité). Ces études font état des associations par augmentation de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de particules. Quant aux autres types d'études, ils ont comparé les événements de santé observés lors d'incendies de forêt avec ceux attendus lors de périodes données ou dans des régions témoins.

Certaines de ces études de comparaison incluent aussi des analyses effectuées en catégorisant des jours ou des régions en fonction de leurs concentrations de particules, plutôt que des associations rapportées par unités de particules. D'autres travaux sont plus rigoureux, car leurs auteurs ont utilisé des modèles statistiques pour contrôler des facteurs, telles les variations temporelles des effets de santé, qui peuvent influencer les comparaisons. Toutefois, contrairement aux études d'association entre niveaux de particules et événements de santé, la plupart des études de comparaison ne permettent pas d'établir de relation entre les effets de santé et les niveaux de particules, puisque ces derniers varient d'un épisode de feux à l'autre et selon la proximité des populations aux sites de feux. Les études d'association sont néanmoins imparfaites à ce propos étant donné que les niveaux de particules sont corrélés à ceux des autres polluants présents dans la fumée.

### **Études sur les associations avec les niveaux de particules**

Deux études ont porté sur l'association entre mortalité et particules lors d'épisodes de feux de végétation. L'une de ces études a été réalisée en Finlande (Hänninen et collab., 2008). En 2002, un panache de fumée de 2 500 km de long et de presque 1 000 km de large s'est étendu de la zone d'incendies de forêt en l'Europe de l'Est (Russie, Ukraine) à plusieurs villes finlandaises. Hänninen et collab. (2008) ont rapporté un accroissement statistiquement non significatif des mortalités toutes causes dans 11 provinces de la Finlande, avec une augmentation des PM<sub>2,5</sub> lors de cet épisode de particules associé aux incendies de forêt de l'Europe de l'Est (avec une augmentation des niveaux de particules moyens de 15,7 µg/m<sup>3</sup>). L'association entre particules et mortalité était du même ordre que celle rapportée pour les niveaux de particules en milieu urbain (EPA, 2009). De leur côté, Morgan et collab. (2010) n'ont pas observé d'association entre la mortalité en raison de problèmes cardiorespiratoires et les niveaux journaliers de PM<sub>10</sub> générées par des feux de brousse à Sydney en Australie (niveaux moyens de PM<sub>10</sub> > 42 µg/m<sup>3</sup>).

Les études sur l'association entre les particules issues de la combustion de végétaux et la morbidité sont un peu plus nombreuses que celles sur la mortalité. En effet, plusieurs de ces études montrent une association entre les visites aux urgences ou les hospitalisations en raison de problèmes respiratoires et les niveaux de particules lors d'épisodes de particules associés à la combustion de végétaux.

Récemment, Henderson et collab. (2011) ont examiné l'association entre les niveaux journaliers de PM<sub>10</sub> lors de la saison d'incendies de forêt de 2003, mesurés aux stations d'échantillonnage de la pollution (moyenne d'environ 29 µg/m<sup>3</sup>) ou estimés avec un modèle de dispersion, et le nombre de visites médicales et d'admissions à l'hôpital en raison de problèmes cardiorespiratoires au sud-est de la Colombie-Britannique. Des associations ont été notées pour ce qui est de l'utilisation de services médicaux en raison de problèmes respiratoires, mais pas en raison de problèmes cardiovasculaires. Tout comme Henderson et collab. (2011), Morgan et collab. (2010) ont aussi constaté des associations entre les niveaux journaliers de particules issues de la combustion de végétaux (dans ce cas provenant de feux de brousse) et les admissions hospitalières en raison de problèmes respiratoires à Sydney (Australie), mais pas en raison de problèmes cardiovasculaires. En accord avec ces deux études dont les résultats suggèrent que les particules issues de feux de végétation induisent surtout des effets respiratoires, Delfino et collab. (2009) ont rapporté une association plus prononcée entre l'exposition journalière aux PM<sub>2,5</sub> issues des incendies de forêt de 2003 au sud de la Californie (estimée à l'aide d'images satellitaires, niveaux moyens calculés pour les zones fortement touchées pendant les feux : 90 µg/m<sup>3</sup>) et le nombre d'hospitalisations journalières en raison de

problèmes respiratoires que celui en raison de problèmes cardiovasculaires, entre autres, dans le cas des individus de plus de 65 ans.

Plusieurs autres études effectuées en Australie mentionnent des associations entre les niveaux journaliers de PM<sub>10</sub>, et les visites aux urgences et les hospitalisations en raison de problèmes respiratoires (comme l'asthme et les maladies pulmonaires obstructives chroniques) lors de périodes de feux de brousse (Tham et collab., 2009; Johnston et collab., 2006, 2007; Hanigan et collab., 2008). Cançado et collab. (2006) de même qu'Arbex et collab. (2007) ont également relevé des associations positives entre les niveaux de particules en suspension lors de périodes de brûlage de canne à sucre et les admissions hospitalières en raison de problèmes respiratoires, alors qu'Arbex et collab. (2010), des augmentations du nombre d'hospitalisations pour des problèmes d'hypertension. Yadav et collab. (2003) ont noté des corrélations entre le nombre de visites aux hôpitaux en raison de maladies respiratoires et les niveaux de PM<sub>10</sub> lors d'épisodes d'incendies de forêt sur l'île de Bornéo. Toutefois, certaines divergences dans les résultats des études sur l'association entre particules issues de feux de végétation et morbidité ont été constatées. Par exemple, Hanigan et collab. (2008) de même que Johnston et collab. (2007) ont noté une diminution parfois non significative des infections et des visites en raison de problèmes cardiovasculaires avec l'augmentation des PM<sub>10</sub> lors des périodes de feux de brousse étudiées.

#### **Études de comparaison des événements de santé lors d'épisodes de particules versus ceux se produisant lors de périodes données ou dans des régions témoins**

Les évidences quant à l'augmentation des mortalités lors d'épisodes d'incendies de forêt comparativement aux mortalités notées lors de périodes données ou dans des régions témoins sont pour le moment peu concluantes. Johnston et collab. (2011) ont rapporté des hausses de la mortalité toutes causes et en raison de problèmes cardiorespiratoires (de 2 à 9 %), toutefois elles se sont avérées non significatives, surtout le jour suivant des événements extrêmes de poussières en Australie (en majorité des feux de brousse, niveaux de PM<sub>10</sub> > 47 µg/m<sup>3</sup>). Analitis et collab. (2012) ont observé des accroissements de la mortalité journalière à Athènes de plus de 50 %, les jours de feux importants (> 30 000 km<sup>2</sup>) comparativement aux jours sans épisode de feux. Ces accroissements étaient plus considérables pour les mortalités en raison de problèmes respiratoires. Cependant, l'ajout, dans les modèles statistiques utilisés (modèles additifs généralisés), de mesures de suie (*Black Smoke* ou BS) n'influçait pas l'effet des incendies de forêt, ce qui, selon les auteurs, laisse croire que les particules ne seraient pas associées aux excès de décès notés. Ces auteurs suggèrent que d'autres facteurs pourraient expliquer l'augmentation des mortalités, tels le stress post-traumatique et l'état de panique dans lequel se retrouve la population les jours de feux. Vedal et collab. (2006) ont constaté une hausse des mortalités en raison de problèmes cardiorespiratoires à Denver au Colorado lors d'un épisode de particules associé à des incendies de forêt s'étant déroulés en 2002, comparativement aux mortalités enregistrées lors d'une période témoin. Toutefois, des augmentations de mortalités ont aussi été observées dans d'autres villes non exposées aux fumées lors de cette même période. Les auteurs ont ainsi écarté l'hypothèse d'une association entre l'augmentation des mortalités remarquée et l'augmentation des niveaux de particules émanant des fumées. Ils avancent que la hausse de la température pendant ces feux pourrait être un facteur causal plus plausible. Finalement, Sastry et collab. (2002) rapportent une hausse des décès attribuables à des problèmes cardiovasculaires chez les personnes âgées de 65 à 74 ans lors d'un épisode de feu de même qu'une augmentation non significative des décès attribuables à des problèmes respiratoires chez les personnes

de ce même groupe d'âge. Pourtant, une diminution statistiquement non significative a été notée pour les autres groupes d'âge.

Pour ce qui est des évidences quant à la hausse de la morbidité lors d'épisodes d'incendies de forêt, comparativement à celle notée lors de périodes témoins, on retrouve dans la littérature plusieurs études traitant de ce sujet. Certaines concernent les hospitalisations en raison de problèmes respiratoires ou cardiovasculaires ou les visites à l'urgence, tandis que d'autres ont traité aux symptômes associés aux épisodes de feux de végétation ou encore à la prise de médicaments.

Mott et collab. (2002) ont remarqué un accroissement du nombre de visites médicales en raison de problèmes respiratoires, rapporté par un questionnaire, lors d'incendies de forêt s'étant produits dans une réserve indienne de Californie en 1999, comparativement au nombre de visites enregistrées lors de l'année témoin de 1998 (sans feux). Moore et collab. (2006) ont aussi observé des augmentations des visites médicales en raison de problèmes respiratoires lors des incendies de forêt de 2003 dans une ville de la Colombie-Britannique située en périphérie de sites de feux (maximum journalier de  $PM_{2,5}$  :  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), par rapport aux visites notées pour les années témoins. Par contre, cela n'était pas le cas dans une ville un peu plus éloignée, là où les niveaux de particules étaient moins élevés (maximum journalier de  $PM_{2,5}$  :  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Aucune hausse des visites médicales en raison de problèmes cardiaques ou de problèmes de santé mentale n'a été constatée dans cette étude.

En accord avec l'étude de Moore et collab. (2006) qui suggère que les particules issues de feux de végétation induiraient surtout des effets respiratoires, Mott et collab. (2005) ont noté des hausses d'admissions hospitalières en raison de problèmes respiratoires, mais pas en raison de problèmes cardiaques à Kuching en Malaisie, lors d'une période d'incendies de forêt, comparativement aux admissions attendues lors d'une période sans feux. Chen et collab. (2006) ont aussi relevé des augmentations d'hospitalisations en raison de problèmes respiratoires en Australie lors de feux de brousse. D'autres auteurs rapportent également des accroissements de visites aux urgences (Viswanathan et collab., 2006; Johnston et collab., 2002) et même des accroissements du nombre d'appels d'ambulance en raison de problèmes respiratoires (Vilke, Smith et collab., 2006) lors d'épisodes de feux. Encore une fois dans certaines études, comme dans celle de Rappold et collab. (2011) effectuée dans des villes de la Caroline du Nord exposées à des fumées de feux de tourbière (maximums horaires journaliers de  $PM_{2,5}$  >  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), les augmentations de l'utilisation des services médicaux (visites aux urgences) étaient plus prononcées pour les problèmes respiratoires que pour les problèmes cardiovasculaires lors d'un épisode de feux par rapport à l'utilisation des services médicaux au cours d'une période sans épisode (modèles de Poisson avec contrôle pour tendances temporelles).

En plus de l'accroissement de l'usage des services médicaux (c'est-à-dire hospitalisations et visites aux urgences), des augmentations de symptômes ont été notés chez des populations exposées à des fumées de feux de végétation. Kunzli et collab. (2006) ont observé des augmentations de symptômes (telles l'irritation des yeux, la congestion nasale et la bronchiolite) de même que des hausses de prise de médicaments et des visites médicales (mesurées par des questionnaire adressés à des enfants et adolescents), avec l'augmentation de la durée d'exposition aux fumées lors d'incendies de forêt et avec l'augmentation des niveaux de  $PM_{10}$  sur 5 jours, dans 16 communautés de la Californie. Chez des individus asthmatiques, Johnston et collab. (2006) rapportent des hausses de symptômes d'asthme et d'utilisation de médicaments pour traiter l'asthme,

avec l'augmentation des niveaux journaliers de particules PM<sub>2,5</sub> et PM<sub>10</sub> issues de feux de végétation en Australie. Cette étude ne rapporte pas toutefois des augmentations du nombre de crises d'asthme ou du recours aux services médicaux. D'autres études ont aussi fait état des accroissements de symptômes chez des populations exposées à des fumées de feux de végétation (Kolbe et collab., 2009; Sutherland et collab., 2005; Golshan et collab., 2002).

De plus, les auteurs de quelques autres études récentes réalisées en 2011 ont effectué des comparaisons de consommation de médicaments. Ainsi, Camano-Isorna et collab. (2011) ont noté, après des incendies de forêt, une augmentation de la consommation de médicaments pour traiter les maladies obstructives chroniques dans des municipalités d'une province d'Espagne hautement exposées à des feux (plus de 10 incendies), comparativement à la consommation de ces mêmes types de médicaments dans des municipalités faiblement exposées aux feux (moins de 4 incendies). Vora et collab. (2011) ont également observé une augmentation de la prise de médicaments chez quelques individus asthmatiques lors d'incendies de forêt.

### **Résumé des résultats des études épidémiologiques**

Comme on peut le remarquer à la lumière des études publiées à ce jour, les épisodes de feux de végétation et les augmentations de particules issues de la combustion de la végétation ont été associés à des hausses de l'usage des services médicaux (c'est-à-dire visites aux urgences, hospitalisations, visites médicales) et de consultations médicales, surtout pour des problèmes respiratoires. De plus, il semble que les symptômes respiratoires et l'irritation des muqueuses augmenteraient aussi chez les populations exposées aux particules issues de feux de végétation. Peu d'études suggèrent des augmentations de la mortalité.

Il est impossible actuellement de conclure à une différence entre les effets respiratoires des particules issues de feux de combustion de végétation et ceux rapportés pour les particules présentes en milieu urbain. Cependant, contrairement aux études effectuées en milieu urbain, la plupart des études qui ont porté sur les effets des particules issues de feux de végétation n'ont pas rapporté d'associations avec l'usage de services médicaux pour des problèmes cardiovasculaires.

La majorité des études présentées ici a été effectuée auprès de la population générale, mais, dans certaines études, des analyses par groupes d'âge ou pour des groupes d'âge particuliers, comme les jeunes enfants et les personnes âgées, ont été réalisées (par exemple voir Analitis et collab., 2011; Rappold, 2010; Morgan et collab., 2010; Delfino et collab., 2009; Kunzli et collab., 2006; Mott et collab., 2005) de même que pour des personnes vulnérables en raison de leur état de santé (par exemple Sutherland, 2005). Les évidences sont encore limitées, et il est difficile de conclure à la plus grande vulnérabilité des personnes souffrant de problèmes respiratoires (asthme, emphysème, bronchite chronique, maladie pulmonaire obstructive chronique, etc.) et des personnes âgées aux effets des particules générées lors des feux de végétation spécifiquement.

### **Mesures de protection et interventions**

Des recommandations ont été édictées par divers organismes tel l'EPA (2008) afin de protéger les populations contre les effets des fumées d'incendies de forêt. Ces recommandations visent notamment les personnes vivant à proximité des sources de combustion et consistent, par exemple, à limiter le temps passé à l'extérieur ou à

restreindre les activités physiques intenses. Elles touchent à la fois les personnes sensibles et les personnes en bonne santé incommodées par la fumée (par exemple irritation des yeux, toux, etc.). Par ailleurs, l'exposition à la fumée d'incendies de forêt pourrait aggraver chez des personnes potentiellement vulnérables un problème de santé déjà présent et mener, dans des cas graves, à une hospitalisation ou à un décès. Ainsi, des recommandations particulières concernent, par exemple, les établissements de santé lors d'incendies de forêt, notamment dans les zones avoisinant des sites de feux. Pour ce qui est des zones urbaines lointaines, les mesures de protection devraient être semblables à celles prises lors d'épisodes particuliers<sup>1</sup> (HCSP, 2012).

Il faut noter toutefois qu'il existe aujourd'hui peu de données sur lesquelles baser de telles recommandations de mesures efficaces pour réduire l'exposition de la population générale lors d'épisodes de particules ou les effets de cette exposition sur ladite population. Kunzli et collab. (2006) ont noté les effets bénéfiques du port du masque, de la réduction du temps passé à l'extérieur ou de l'usage de la climatisation lors des épisodes de feux. En effet, les effets de santé rapportés dans des questionnaires étaient moins prononcés lorsque les individus indiquaient utiliser ces mesures.

Une autre étude a investigué l'efficacité de différentes stratégies d'intervention pour réduire l'exposition et possiblement la morbidité de la population durant des incendies de forêt (Mott et collab., 2002). Les auteurs ont évalué rétrospectivement l'efficacité de plusieurs actions de santé publique visant à réduire les symptômes : distribution gratuite de masques avec et sans filtre, bons pour se loger gratuitement dans des hôtels situés à des endroits éloignés des fumées afin de faciliter l'évacuation de la population, et distribution d'épurateurs d'air avec filtres HEPA<sup>2</sup> à très haute efficacité pour un usage résidentiel. Ces auteurs ont rapporté des résultats concluants en ce qui concerne l'utilisation de filtres épurateurs, mais comme l'indiquent Naeher et collab. (2007), et contrairement à Kunzli et collab. (2006), les résultats étaient partagés pour ce qui est de l'utilisation de masques.

Un besoin en termes de recherche existe pour ce type d'études afin que, parallèlement à l'amélioration de la compréhension des effets sanitaires des fumées de feux de végétation, il soit également possible de savoir quelles mesures sont efficaces, notamment pour les populations vulnérables avoisinant les sites de feux.

Des études effectuées dans d'autres contextes peuvent aussi guider des interventions de santé publique. Selon certaines études, en l'absence de sources intérieures de particules (par exemple consommation de cigarettes), les niveaux intérieurs de particules seraient plus faibles que les niveaux extérieurs. Ainsi, en période de feux de végétation, on pourrait proposer de rester à l'intérieur et de fermer les fenêtres, ou de réduire les activités physiques à l'extérieur. Toutefois, les recommandations doivent être nuancées afin de ne pas accroître l'exposition à d'autres dangers pour la santé, comme la chaleur extrême qui pourrait s'accumuler à l'intérieur des résidences ou les niveaux de polluants émis par des sources intérieures. Par ailleurs, des études menées dans des secteurs où le chauffage au bois est très utilisé ont rapporté l'efficacité de filtres HEPA pour réduire les niveaux de particules (Henderson, Milford et collab., 2005).

---

<sup>1</sup> Lorsque de fortes concentrations de PM, entraînant des dépassements de valeurs limites/cibles sont observées en raison de la conjonction entre les activités anthropiques et naturelles, dont météorologiques, favorables à la formation et à l'accumulation de particules.

<sup>2</sup> *High Efficiency Particulate Air Filter.*

TABLEAU 1

Résumé des études sur les effets sanitaires des feux de végétation et sur l'association entre particules issues de feux de végétation et événements de santé de 2001 à 2012<sup>1,2,3,4</sup>

| ÉTUDE  | PAYS                            | EXPOSITION  | EFFET DE SANTÉ, POPULATION   | RÉSULTATS  |
|--|---------------------------------|---|--|--|
| <b>Associations entre niveaux de particules et événements de santé, rapportées par <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> de particules</b> |                                 |   |  |  |
| Yadav et collab. (2003)  | Île de Bornéo (Asie du Sud-Est) | Incendies de forêt; niveaux de PM10 horaires journaliers moyens $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (pires valeurs autour de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), avec des maxima journaliers atteignant $1\ 800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ | Cas de maladies respiratoires (asthme, bronchites, infections respiratoires aiguës) rapportés par les hôpitaux; tous âges                                    | - Corrélation entre les niveaux de PM10 et les maladies respiratoires lors de l'épisode de feux et absence de corrélation lors de la période témoin  |
| Cançado et collab. (2006)  | Brésil                          | Brûlage de cannes à sucre, PM10 journaliers moyens lors de brûlage : $88 \mu\text{g}/\text{m}^3$  | Admissions hospitalières pour des problèmes respiratoires; groupes d'âge   | - -Association (+)   |
| Johnston et collab. (2006)   | Australie                       | Feux de brousse, PM10 journaliers moyens : $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  | Asthmatiques (251); symptômes, prise de médicaments, crises d'asthme et utilisation de services médicaux recensés par des questionnaires; adultes et enfants | - Associations (+) avec symptômes d'asthme et utilisation de médicaments<br>- Pas d'association avec crise d'asthme ou avec utilisation de services médicaux   |
| Arbex et collab. (2007)  | Brésil                          | Brûlage de cannes à sucre, PST journaliers moyens : $57 \mu\text{g}/\text{m}^3$   | Hospitalisations pour asthme; tous âges  | - Association (+)  |
| Johnston et collab. (2007)   | Australie                       | Feux de brousse, PM10 journalier médian : $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$   | Hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires; aborigènes ou non, tous âges  | - Association (+) avec hospitalisations pour des maladies pulmonaires obstructives chroniques (MPOC) et asthme<br>- Association (-) parfois statistiquement non significative avec infections et visites pour des problèmes cardiovasculaires<br>- Effets plus prononcés pour sous-groupe d'aborigènes |
| Hanigan et collab. (2008)  | Australie                       | Feux de brousse, PM10 journaliers moyens : $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  | Hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires, aborigènes ou non, tous âges  | - Association (+) avec hospitalisations pour des problèmes respiratoires (asthme et MPOC)<br>- Association (-) parfois statistiquement non significative avec infections et problèmes cardiovasculaires<br>- Effets plus prononcés pour les aborigènes   |
| Hanninen et collab. (2009)   | Finlande                        | Incendies de forêt, PM2,5, la pire concentration horaire : $> 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$   | Décès toutes causes; tous âges   | - Association (+) statistiquement non significative  |

TABLEAU 1

Résumé des études sur les effets sanitaires des feux de végétation et sur l'association entre particules issues de feux de végétation et événements de santé de 2001 à 2012<sup>1,2,3,4</sup> (suite)

| ÉTUDE  | PAYS       | EXPOSITION  | EFFET DE SANTÉ, POPULATION   | RÉSULTATS   |
|--|------------|---|--|---|
| <b>Associations entre niveaux de particules et événements de santé, rapportées par <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math> de particules (suite)</b>   |            |   |  |   |
| Delfino et collab. (2009)  | États-Unis | Incendies de forêt, PM <sub>2,5</sub> le pire jour > 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$     | Hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires, groupes d'âges  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Associations (+), surtout pour problèmes respiratoires</li> <li>- Indications qu'effet pas uniquement associé aux PM<sub>2,5</sub></li> </ul>  |
| Tham et collab. (2009)   | Australie  | Feux de brousse, PM <sub>10</sub> le pire jour : > 288 $\mu\text{g}/\text{m}^3$       | Visites médicales, hospitalisations pour des problèmes respiratoires et visites à l'urgence; groupes d'âge   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Associations (+) mais statistiquement significatives seulement pour les visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires</li> </ul>  |
| Arbex et collab. (2010)  | Brésil     | Brûlage de canne à sucre, PST journaliers moyens : 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$        | Hospitalisations pour hypertension; tous âges  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Association (+)</li> </ul>   |
| Morgan et collab. (2010)   | Australie  | Feux de brousse, PM <sub>10</sub> journaliers > 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$           | Décès et hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires; tous âges  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Associations (+) avec hospitalisations pour des problèmes respiratoires</li> <li>- Pas d'association statistiquement significative avec la mortalité ou les hospitalisations pour des problèmes cardiovasculaires, parfois même (-)</li> </ul> |
| Henderson et collab. (2011)  | Canada     | Incendies de forêt, PM <sub>10</sub> journaliers moyens : 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Visites médicales, hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires, groupes d'âge  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Associations (+) avec services médicaux pour des problèmes respiratoires</li> <li>- Pas d'association avec des problèmes cardiaques sauf pour les personnes âgées de 40-50 ans et de &gt; 80 ans</li> </ul>                                    |
| <b>Comparaison d'événements de santé lors d'un ou de plusieurs épisodes avec les événements lors de périodes habituelles ou dans des régions témoins – les études d'association chez des individus, avec des catégories d'exposition sont incluses ici</b> |            |   |  |   |
| Mott et collab. (2002)   | États-Unis | Incendies de forêt, PM <sub>10</sub> le pire jour >500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$       | Habitants d'une réserve indienne dont plusieurs souffrant de maladies; visites médicales pour des problèmes respiratoires rapportés par un questionnaire; groupes d'âges | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentations</li> </ul>   |

TABLEAU 1

Résumé des études sur les effets sanitaires des feux de végétation et sur l'association entre particules issues de feux de végétation et événements de santé de 2001 à 2012<sup>1,2,3,4</sup> (suite)

| ÉTUDE  | PAYS       | EXPOSITION  | EFFET DE SANTÉ, POPULATION   | RÉSULTATS   |
|--|------------|---|--|---|
| <b>Comparaison d'événements de santé lors d'un ou de plusieurs épisodes avec les événements lors de périodes habituelles ou dans des régions témoins – les études d'association chez des individus, avec des catégories d'exposition sont incluses ici (suite)</b> |            |   |  |   |
| Sastry (2002)  | Malaisie   | Incendies de forêt, PM10 le pire jour >400 µg/m <sup>3</sup>  | Décès toutes causes et pour des problèmes cardiorespiratoires; groupes d'âge   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentations toutes causes, pour des problèmes cardiovasculaires et respiratoires (augmentations pour des problèmes respiratoires, statistiquement non significatives) chez les personnes âgées de 65 à 74 ans</li> <li>- Diminutions non statistiquement significatives chez les autres groupes d'âge</li> </ul> |
| Golshan et collab. (2002)  | Iran       | Brûlage de rizières, niveaux journaliers moyens de particules respirables lors d'épisodes : 2,3 mg/m <sup>3</sup> | Symptômes, fonctions pulmonaires; habitants d'un village (n = 994)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution des fonctions pulmonaires</li> <li>- Augmentation des symptômes</li> </ul>  |
| Sutherland et collab. (2005)   | États-Unis | Incendies de forêt, PM2,5 le pire jour : 63 µg/m <sup>3</sup>   | Individus souffrant de MPOC (n = 21); symptômes; moyenne d'âge 69 ans  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation des symptômes</li> </ul>  |
| Mott et collab. (2005)   | Malaisie   | Incendies de forêt  | Hospitalisation pour problèmes des cardiorespiratoires; groupes d'âge  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentations des problèmes respiratoires, surtout pour le groupe des 40-64 ans</li> <li>- Pas de différences significatives pour les problèmes cardiaques</li> </ul>  |
| Vedal et collab. (2006)  | États-Unis | Incendies de forêt, PM10 le pire jour : 91 µg/m <sup>3</sup>  | Décès pour des problèmes cardiorespiratoires; tous âges  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentations dans des villes exposées et non exposées</li> </ul>  |
| Chen et collab. (2006)   | Australie  | Feux de brousse, le pire jour > 50 µg/m <sup>3</sup>  | Hospitalisations pour des problèmes respiratoires; tous âges   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentation</li> </ul>  |
| Moore et collab. (2006)  | Canada     | Incendies de forêt, PM2,5 le pire jour : 200 µg/m <sup>3</sup> dans la ville proche du site de feux               | Visites médicales pour des problèmes cardiorespiratoires et de santé mentale; tous âges  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentations des visites pour des problèmes respiratoires seulement dans la ville située en périphérie de sites de feux</li> <li>- Pas d'augmentation des visites pour des problèmes cardiaques ou de santé mentale</li> </ul>  |
| Kunzli et collab. (2006)   | États-Unis | Incendies de forêt, PM10 moyenne pour 5 jours pour la pire région : 252 µg/m <sup>3</sup>                         | Symptômes, prise de médicaments et visites médicales recensés par un questionnaire; enfants (n = 873) et adolescents (n = 5 551) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Augmentations</li> </ul>   |

TABLEAU 1

Résumé des études sur les effets sanitaires des feux de végétation et sur l'association entre particules issues de feux de végétation et événements de santé de 2001 à 2012<sup>1,2,3,4</sup> (suite)

| ÉTUDE  | PAYS       | EXPOSITION  | EFFET DE SANTÉ, POPULATION  | RÉSULTATS   |
|--|------------|---|---|---|
| <b>Comparaison d'événements de santé lors d'un ou de plusieurs épisodes avec les événements lors de périodes habituelles ou dans des régions témoins – les études d'association chez des individus, avec des catégories d'exposition sont incluses ici (suite)</b> |            |   |   |   |
| Viswanathan et collab. (2006)  | États-Unis | Feux de brousse, les pires niveaux journaliers de PM10 : 294 µg/m <sup>3</sup>  | Visites à l'urgence pour de l'asthme, des problèmes respiratoires, des irritations des yeux et inhalation de fumée; tous âges | - Augmentation des visites pour des problèmes respiratoires (asthme, autres problèmes respiratoires) mais pas pour des douleurs à la poitrine; les visites totales n'ont pas augmenté |
| Vilke et collab. (2006)  | États-Unis | Feux de brousse   | Appels d'ambulance, tous âges   | - Augmentations des appels, surtout pour des problèmes respiratoires (la majorité des gens transportés à l'hôpital)   |
| Kolbe et collab. (2009)  | Australie  | Incendies de forêt, PM10 le pire jour : 415 µg/m <sup>3</sup>                   | Symptômes recensés par un sondage (n = 389); tous âges  | - Augmentation de symptômes   |
| Johnston et collab. (2011)   | Australie  | Feux de brousse, PM10 journaliers > 47 µg/m <sup>3</sup>                        | Décès toutes causes et pour des problèmes cardiorespiratoires, tous âges  | - Augmentations statistiquement non significatives, sauf pour toutes causes   |
| Rappold et collab. (2011)  | États-Unis | Feux de tourbières, maximum horaire journalier de PM2,5 > 200 µg/m <sup>3</sup> | Visites à l'urgence pour des problèmes cardiorespiratoires  | - Augmentations plus prononcées pour les visites à l'urgence en raison de problèmes respiratoires qu'en raison de problèmes cardiovasculaires   |
| Analitis et collab. (2011)   | Grèce      | Incendies de forêt  | Décès toutes causes et pour problèmes cardiorespiratoires; groupes d'âges   | - Augmentations (surtout pour des problèmes respiratoires) qui ne sont pas influencées par l'ajout des niveaux de de suie ( <i>black smoke</i> ) dans les modèles statistiques        |
| Caamano-Isorna et collab. (2011)   | Espagne    | Incendies de forêt  | Retraités; consommation de médicaments pour MPOC  | - Augmentation  |
| Vora et collab. (2011)   | États-Unis | Incendies de forêt, PM2,5 le pire jour : 72 µg/m <sup>3</sup>                   | Asthmatiques (petit n de 8); fonctions pulmonaires et prise de médicaments;   | - Pas de diminution des fonctions pulmonaires<br>- Augmentation de la prise de médicaments  |

<sup>1</sup> Ici on rapporte les niveaux de PM10 lorsqu'ils sont disponibles, puisque ce sont les plus utilisés. Les n (nombre de personnes à l'étude) ne sont pas présentés pour les études de populations effectuées avec les bases de données répertoriant les décès ou les bases de données médico-administratives.

<sup>2</sup> Deux études (Jalaludin et collab., 2004 et Schranz et collab., 2010) n'ont pas été incluses ici, car seuls les résumés étaient accessibles.

<sup>3</sup> Une étude de Kunii et collab. (2002) n'a pas été incluse étant donné que les auteurs ne procèdent pas par comparaison mais seulement par enquête transversale durant un épisode.

<sup>4</sup> Une étude de Ovadnevaite et collab. (2006) effectuée en Lituanie rapporte des augmentations de visites médicales en raison de problèmes respiratoires durant un épisode de feux. Toutefois, elle n'a pas été incluse, car les méthodes ne sont pas suffisamment décrites dans l'article. L'étude de Lee et collab. (2009) n'a pas été incluse pour les mêmes raisons.

## CONCLUSION

Les incendies de forêt constituent de par leur nature une menace réelle à de nombreux niveaux, qu'ils soient écologiques ou économiques. Il est donc légitime de s'interroger, dans le contexte des changements climatiques où l'on s'attend possiblement à une augmentation de ce type d'événements, sur les effets sanitaires y étant reliés. Il importe donc de distinguer l'exposition des populations avoisinantes et des professionnels de la lutte contre les incendies de celle des populations habitant dans des zones lointaines. Dans les zones lointaines où parviennent les fumées des feux forêts, les inquiétudes portent surtout sur les impacts sanitaires des particules fines.

La majorité des études épidémiologiques suggère que les particules engendrées lors des feux de végétation induiraient surtout des effets respiratoires à court terme et peu d'effets cardiovasculaires. L'ensemble de la population, et notamment les personnes potentiellement vulnérables telles celles souffrant de problèmes respiratoires, devrait rester vigilant durant les épisodes d'incendies de forêt et adopter les mesures minimisant l'exposition afin d'éviter une aggravation des symptômes, une éventuelle hospitalisation, voire un décès.

Selon l'état des connaissances actuelles, les particules des fumées d'incendies de forêt peuvent être considérées comme au moins aussi toxiques pour la santé respiratoire à court terme que les particules de source urbaine. Il paraît donc raisonnable, dans les zones non avoisinantes, de considérer les épisodes de pollution particulaire en lien avec des fumées engendrées par des incendies de forêt (tels des pics classiques de pollution urbaine) et, dans ce cas, de se conformer aux mesures de protection d'ores et déjà recommandées (HCSP, 2012). De plus, la quantification des impacts populationnels (risques attribuables) des particules provenant des feux de végétation peut, pour le moment, se baser sur les risques notés dans des études effectuées en milieu urbain.

## RÉFÉRENCES

- Adetona, O., K. Dunn, et collab. (2011). Personal PM2.5 exposure among wildland firefighters working at prescribed forest burns in Southeastern United States, *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 8, n° 8, p. 503-51.0 1.
- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail – ANSES. (2012). *Effets sanitaires liés à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre*. Rapport d'expertise collective (Saisine n°« 2010-SA-0183 »). France : ANSES. [En ligne]. <http://www.anses.fr/Documents/AIR2010sa0183Ra.pdf>.
- Analtis, A., I. Georgiadis, et collab. (2012). Forest fires are associated with elevated mortality in a dense urban setting, *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 69, n° 3, p. 158-162.
- Arbex, M. A., Martins, L. C. et collab. (2007). Air pollution from biomass burning and asthma hospital admissions in a sugar cane plantation area in Brazil. *Journal of Epidemiology and Community Health*, vol. 61, n° 5, p. 395-400.
- Athanasopoulou, E., Giannakopoulos, C., et collab. (2012). Fire risk and air pollution assessment during the 2007 wildfire events in Greece using the COSMO-ART atmospheric model, *Geophysical Research Abstracts*, vol. 14, EGU2012-9558-1.
- Bowman, D. M. J. S. et Johnston, F. H. (2005). Wildfire smoke, fire management, and human health, *EcoHealth*, vol. 2, n° 1, p. 76-80.
- Bustinza, R., Tairou, F. O., et collab. (2010). *Proposition d'indicateurs aux fins de vigie et de surveillance des troubles de la santé liés à la foudre et aux incendies de forêt*. Institut national de santé publique du Québec [En ligne] <http://www.inspq.qc.ca/publications>.
- Caamano-Isorna, F., Figueiras, A., et collab. (2011). Respiratory and mental health effects of wildfires: an ecological study in Galician municipalities (north-west Spain), *Environmental Health*, vol.10, n° 1, p. 48-57.
- Cançado, J. E. D., Saldiva, P. H. N., et collab. (2006). The impact of sugar cane-burning emissions on the respiratory system of children and the elderly. *Environmental Health Perspectives*, vol. 114 n° 5, p. 725-729.
- Chen, L., Verrall, K., et collab. (2006). Air particulate pollution due to bushfires and respiratory hospital admissions in Brisbane, Australia. *International Journal of Environmental Health Research*, vol. 16, n° 3, p. 181-191.
- Delfino, R. J., Brummel, S., et collab. (2009). The relationship of respiratory and cardiovascular hospital admissions to the southern California wildfires of 2003. *Occupational and Environmental Medicine*, vol. 66, n° 3, p. 189.
- Dennekamp, M. et Abramson, M. J. (2011). The effects of bushfire smoke on respiratory health, *Respirology*, vol. 16 n° 2, p. 198-209.
- Fowler, C. T. (2003). Human health impacts of forest fires in the southern United States: a literature review. *Journal of Ecological Anthropology*, vol. 7, n° 1, p. 39-63.
- Golshan, M., Faghihi, M., et collab. (2002). Early effects of burning rice farm residues on respiratory symptoms of villagers in suburbs of Isfahan, Iran. *International Journal of Environmental Health Research*, vol. 12 n° 2, p. 125-131.
- Hanigan, I. C., Johnston, F. H., et collab. (2008). Vegetation fire smoke, indigenous status and cardio-respiratory hospital admissions in Darwin, Australia, 1996-2005: a time-series study. *Environmental Health*, vol. 7, n°1, p. 42-54.

- Hänninen, O. O., Salonen R. O., et collab. (2009). Population exposure to fine particles and estimated excess mortality in Finland from an East European wildfire episode. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, vol. 19, n° 4, p. 414-422.
- Haut Conseil de la santé publique – HCSP. (2012). *Pollution par les particules dans l'air ambiant. Synthèse et recommandations pour protéger la santé. Avis et Rapports.* France : Haut Conseil de la santé publique. [En ligne].  
[http://www.hcsp.fr/docspdf/avisrapports/hcspr20120413\\_ppaa.pdf](http://www.hcsp.fr/docspdf/avisrapports/hcspr20120413_ppaa.pdf).
- Henderson, S. B., Brauer, M., et collab. (2011). Three measures of forest fire smoke exposure and their associations with respiratory and cardiovascular health outcomes in a population-based cohort. *Environmental Health Perspectives*, vol. 119, n° 9, p. 1266-1273.
- Henderson, D. E., Milford, J. B., et collab. (2005). Prescribed burns and wildfires in Colorado: impacts of mitigation measures on indoor air particulate matter. *Journal of the Air & Waste Management Association*, vol. 55, n° 10, p. 1516-1526.
- Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. (2007). *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability.* Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Royaume-Uni : Cambridge University Press.
- International Agency for Research on Cancer – IARC. (2010). Painting, firefighting, and shiftwork. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans.* vol. 98, p. 395-559. [En ligne].  
<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol98/mono98.pdf>.
- Jacquín, L., Michelet, P., et collab. (2011). Short-term spirometric changes in wildland firefighters. *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 54, n° 11, p. 819-825.
- Jalaludin B, O'Toole, B., et collab. (2004). Acute effects of bushfires on respiratory symptoms and medication use in children with wheeze in Sydney. *Environmental Health*, vol. 4, n° 2, p. 20-29.
- Johnston, F., Bailie, R., et collab. (2007). Ambient biomass smoke and cardio-respiratory hospital admissions in Darwin, Australia. *BMC Public Health*, vol., 7 n° 1, p. 240-248.
- Johnston, F., Hanigan, I., et collab. (2011). Extreme air pollution events from bushfires and dust storms and their association with mortality in Sydney, Australia 1994-2007. *Environmental Research*, vol. 111, n° 6, p. 811-816.
- Johnston, F. H., Kavanagh, A. M, et collab. (2002). Exposure to bushfire smoke and asthma: an ecological study. *Medical Journal of Australia*, vol. 176, n° 11, p. 535-538.
- Johnston, D. F. H., Webby, R. J., et collab. (2006). Vegetation fires, particulate air pollution and asthma: a panel study in the Australian monsoon tropics. *International Journal of Environmental Health Research*, vol. 16, n° 6, p. 391-404.
- Kolbe, A. et Gilchrist, K. L. (2009). An extreme bushfire smoke pollution event: health impacts and public health challenges. *New South Wales Public Health Bulletin*, vol. 20 n° 2, p. 19-23.
- Kunii, O, Kanagawa, S., et collab. (2002). The 1997 haze disaster in Indonesia: its air quality and health effects. *Archives of Environmental Health*, vol. 57, n°1, p. 16-22.
- Künzli, N., Avol, E., et collab. (2006). Health effects of the 2003 Southern California wildfires on children, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 174, n° 11, p. 1221-1228.
- Lee, T. S., Falter, K., et collab. (2009). Risk factors associated with clinic visits during the 1999 forest fires near the Hoopa Valley Indian Reservation, California, USA. *International Journal of Environmental Health Research*, vol. 19, n° 5, p. 315-327.

- Mazzoleni, L. R., Zielinska, B., et collab. (2007). Emissions of levoglucosan, methoxy phenols, and organic acids from prescribed burns, laboratory combustion of wildland fuels, and residential wood combustion. *Environmental Science and Technology*, vol. 41, n° 7, p. 2115-2122.
- McLaughlin, S. et Percy, K. (1999). Forest health in North America: some perspectives on actual and potential roles of climate and air pollution, *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 116, n° 1, p. 151-197.
- Moore, D., Copes, R., et collab. (2006). Population health effects of air quality changes due to forest fires in British Columbia in 2003: estimates from physician-visit billing data. *Canadian Journal of Public Health*, vol. 97, n° 2, p. 105-108.
- Morgan, G., V. Sheppard, et collab. (2010). Effects of bushfire smoke on daily mortality and hospital admissions in Sydney, Australia. *Epidemiology*, vol. 21, n° 1, p. 47-55.
- Mott, J. A., D., Mannino, M., et collab. (2005). Cardiorespiratory hospitalizations associated with smoke exposure during the 1997 Southeast Asian forest fires. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, vol. 208, n° 1-2, p. 75-85.
- Mott, J. A., Meyer, P., et collab. (2002). Wildland forest fire smoke: health effects and intervention evaluation, Hoopa, California, 1999. *Western Journal of Medicine*, vol. 176, n° 3, p. 157-162.
- Naeher, L. P., Brauer, M., et collab. (2007). Woodsmoke health effects: a review, *Inhalation Toxicology*, vol. 19, n° 1, p. 67-106.
- Park, M. S., Cancio, L. C., et collab. (2004). Assessment of oxidative stress in lungs from sheep after inhalation of wood smoke. *Toxicology*, vol. 195, n° 2, p. 97-112.
- Rappold, A. G., Stone, S. L., et collab. (2011). Peat bog wildfire smoke exposure in rural North Carolina is associated with cardiopulmonary emergency department visits assessed through syndromic surveillance. *Environmental Health Perspectives*, vol. 119, n° 10, p. 1415-1420.
- Sapkota, A., Symons, J. M., et collab. (2005). Impact of the 2002 Canadian forest fires on particulate matter air quality in Baltimore City. *Environmental Science and Technology*, vol. 39, n° 1, p. 24-32.
- Sutherland, E., Make, B. J., et collab. (2005). Wildfire smoke and respiratory symptoms in patients with chronic obstructive pulmonary disease, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, vol. 115, n° 2, p. 420-422.
- Swiston, J. R., Davidson, W., et collab. (2008). Wood smoke exposure induces a pulmonary and systemic inflammatory response in firefighters. *European Respiratory Journal*, vol. 32, n° 1, p. 129-138.
- Tesfaigzi, Y., McDonald J. D., et collab. (2005). Low-level subchronic exposure to wood smoke exacerbates inflammatory responses in allergic rats. *Toxicological Sciences*, vol. 88, n° 2, p. 505-513.
- Tham, R., Erbas, B., et collab. (2009). The impact of smoke on respiratory hospital outcomes during the 2002–2003 bushfire season, Victoria, Australia. *Respirology*, vol. 14, n° 1, p. 69-75.
- US EPA (2008). *Wildfire smoke: a guide for public health officials*. Rapport révisé en juillet 2008. Washington : US Environmental Protection Agency [En ligne]. [http://oehha.ca.gov/air/risk\\_assess/wildfirev8.pdf](http://oehha.ca.gov/air/risk_assess/wildfirev8.pdf).
- US EPA (2009). *Integrated science assessment for particulate matter (final report)*. EPA/600/R-08/139F. Washington, DC : US Environmental Protection Agency.

- Vedal, S. et Dutton, S. J. (2006). Wildfire air pollution and daily mortality in a large urban area. *Environmental Research*, vol. 102, n° 1, p. 29-35.
- Vilke, G. M., Smith, A. M., et collab. (2006). Impact of the San Diego county firestorm on emergency medical services. *Prehospital and Disaster Medicine*, vol. 21, n° 5, p. 353-362.
- Viswanathan, S., Eria, L., et collab. (2006). An analysis of effects of San Diego wildfire on ambient air quality. *J Air & Waste Manag Ass*, 56(1): 56-67.
- Vora, C., Renvall, M. J., et collab. (2011). 2007 San Diego wildfires and asthmatics. *Journal of Asthma*, vol. 48, n° 1, p. 75-78.
- Ward, T. J., Hamilton, R. F., et collab. (2006). Characterization and evaluation of smoke tracers in PM: results from the 2003 Montana wildfire season. *Atmospheric Environment*, 40, n° 36, p. 7005-7017.
- Ward, T. J. et Smith, G. C. (2001). *Air sampling study of the 2000 Montana wildfire season*. Proceedings of the Air and Waste Management Association. 94<sup>th</sup> Annual Conference and Exhibition, Orlando, FL.
- Weinhold, B. (2011). Fields and forests in flames: vegetation smoke and human health, *Environmental Health Perspectives*, vol. 119, n° 9, p. a386-a393.
- Wotawa, G. et Trainer, M. (2000). The influence of Canadian forest fires on pollutant concentrations in the United States. *Science*, vol. 288 n° 5464, p. 324-328.
- WHO/UNEP/WMO. (1999) *Health guidelines for vegetation fire events – Teachers' guide*. D. Schwela, L. Morawska, Abu Bakar bin Jaafar (Éd.), United Nations Environment Programme, Nairobi, World Health Organization, World Meteorological Organization, Institute of Environmental Epidemiology et WHO Collaborating Centre for Environmental Epidemiology et Ministry of the Environment, Singapore.
- Yadav, A. K., Kumar, K., et collab. (2003). Visibility and incidence of respiratory diseases during the 1998 haze episode in Brunei Darussalam. *Pure and Applied Geophysics*, vol. 160, n° 1, p. 265-277.

## AUTEURS

Tarik Benmarhnia  
Département de santé environnementale et santé au travail  
Faculté de médecine, Université de Montréal

Fatma Mathlouthi  
Département de santé environnementale et santé au travail  
Faculté de médecine, Université de Montréal

Audrey Smargiassi  
Institut national de santé publique du Québec (INSPQ)  
Chaire sur la pollution de l'air, les changements climatiques et la santé  
Faculté de médecine, Université de Montréal

Cette étude est financée par le Fonds vert dans le cadre de l'Action 21  
du Plan d'action 2006-2012 sur les changements climatiques du  
gouvernement québécois.

N° de publication : 1679

*Ce rapport est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de  
l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.*

*Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de  
l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une  
autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété  
intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande  
au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à  
l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante :  
<http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à :  
[droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca](mailto:droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca).*

*Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la  
source.*

DÉPÔT LÉGAL – 3<sup>e</sup> TRIMESTRE 2013  
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES NATIONALES DU QUÉBEC  
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES CANADA  
ISBN : 978-2-550-68441-1 (VERSION IMPRIMÉE)  
ISBN : 978-2-550-68442-8 (PDF)

©Gouvernement du Québec (2013)