-

Mémoire de conseiller technique en risques chimiques

RCH 2020

LES MICROPARTICULES EMISES LORS D'UN INCENDIE PRESENTENT-ELLES UN RISQUE POUR LA SANTÉ DES POPULATIONS ET COMMENT LES QUANTIFIER ?

Référents :

- Monsieur François POICHOTTE — Expert SDIS 51
- Lieutenant-Colonel Erwan MAHE — SDIS 76

Rédacteurs :

- Capitaine Christophe COFFOURNIC — SDIS 17
- Capitaine David DORN — SDIS 85

Formation de spécialité

ENSOSP
Service des risques technologiques et naturels



LES MICROPARTICULES EMISES LORS D'UN INCENDIE PRESENTENT-ELLES UN RISQUE POUR LA SANTÉ DES POPULATIONS ET COMMENT LES QUANTIFIER?



RCH4

Auteurs

Capitaine Christophe COFFOURNIC
Capitaine David DORN

COLLECTION PROVISOIRE DE L'ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES OFFICIERS DE SAPEURS-POMPIERS



ENSOSP

Directeur de publication
Contrôleur Général Hervé ENARD, Directeur de l'ENSOSP

Direction des documents pédagogiques de l'ENSOSP
Contrôleur Général Hervé ENARD, Directeur de l'ENSOSP

Auteurs
Capitaine Christophe COFFOURNIC (SDIS 17)
Capitaine David DORN (SDIS 85)

Référents
Monsieur François POICHOTTE (SDIS 51)
Lieutenant-Colonel Erwan MAHE (SDIS 76)

Il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement la présente publication sans autorisation de l'éditeur ou du centre français d'exploitation du droit de copie (CFC) 3, rue Hautefeuille 75006 Paris.

En effet, la législation sur les droits d'auteur codifiée par la loi n° 92-597 du 1er juillet 1992 relative au code de la propriété intellectuelle, interdit expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit - photographie, photocopie, bande magnétique, disque ou autre, - sans le consentement de l'auteur et de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du code pénal.

Les actes publiés dans cet ouvrage ne représente pas une opinion de l'ENSOSP
et n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs

© ENSOSP, 2008
Diffusion et vente de droits

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES OFFICIERS DE SAPEURS-POMPIERS

Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?

RCH4 2020

Table des matières

Remerciements 5
Préface 6
Résumé / Abstract 7
Introduction 8

A. Caractéristiques des microparticules 9
A1. Présentation des microparticules 9
A2. Les microparticules émises lors des incendies 11
A3. Le comportement des microparticules dans l'environnement atmosphérique 17

B. L'impact sanitaire des microparticules. 20
B1. Parcours des microparticules 20
B2. L'effet sanitaire des microparticules sur les populations 22
B3. L'effet sanitaire selon le niveau d'exposition 24

C Mesure des microparticules 25
C1. Métrologie des particules 25
C2. Valeurs seuils 28
C3. Approche opérationnelle 31

D Etat des lieux dans les SIS 33

Conclusion 35
Définitions 36
Liste des figures 37
Bibliographie 39
Annexes 41

Remerciements

Nous remercions tout particulièrement nos référents de mémoire, Monsieur François POICHOTTE (expert au SDIS 51) et le Lieutenant-Colonel Erwan MAHE (SDIS 76), pour la confiance et le soutien qu'ils nous ont apporté durant notre étude.

Nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont accordé de leur temps afin de répondre à nos interrogations et partager leurs expériences :

- Monsieur Jean Ulrich MULLOT, pharmacien en chef du LASEM de TOULON
- Monsieur Éric GUILLAUME, directeur général d'EFFECTIS France
- Monsieur Bruno GALLAND, département ingénierie des procédés à l'INRS
- Monsieur Xavier SIMON, département métrologie des polluants à l'INRS
- Madame Jessica QUERON, responsable de l'unité caractérisation du milieu air à l'INERIS
- Monsieur Yves LEVY, professeur de santé publique et santé environnementale aux hôpitaux publiques de Paris
- Monsieur Sébastien HULO, docteur et maitre de conférences des universités de Lille, praticien Hospitalier
- Commandant Benoit FRADIN, SDIS 77
- Capitaine YVON STORTZ, chef de section formation à la DGSCGC
- Enseigne de vaisseau Xavier FONTAINE, adjoint au responsable du laboratoire de chimie du BMPM
- Lieutenant Anthony SALVADORI, chef du groupe analyse et identification à l'UIISC n°1
- Monsieur Franck GAVIOT-BLANC, chef du service lutte contre l'incendie d'EFFECTIS France
- Monsieur Thierry PIGEANNE, pneumologue aux Sables d'Olonne

Enfin, nous remercions plus généralement toutes celles et tous ceux qui ont porté un intérêt particulier à notre étude.

Préface

Depuis plusieurs années les conséquences directes et indirectes d'un sinistre sont prises en compte par les services incendies. En 2019, des interventions marquantes comme l'incendie de notre Dame de Paris, ont mis en avant la nécessité pour les directeurs des opérations et commandants des opérations de secours de prendre en compte les conséquences directes ou indirectes d'un sinistre. Au-delà de l'extinction d'un incendie, l'impact possible sur les populations ou l'environnement doit être une préoccupation des autorités. Cette préoccupation est d'autant plus marquée de par l'exigence croissante de la population à obtenir des réponses rapides quant aux risques sur leurs santés, relayée par les médias ou les organisations sur les autorités.

Les services d'incendie et de secours ont déjà lancé différentes études sur ce sujet afin de fournir aux COS et aux DO des outils permettant de répondre à ces demandes. Après l'incendie de l'usine LUBRIZOL cette problématique a été accentuée et est devenue un enjeu majeur.

De ce postulat, le 1er RCH4 de l'année 2020-2021 a reçu plusieurs mandats de différents SDIS ou de la BSPP afin de traiter cette thématique traitant des accidents technologiques. Ainsi, cinq mémoires traitent en particuliers de ce sujet ayant pour conséquences de nombreux points communs.

Ces sujets sont :

- Plus-value de l'engagement des CMIC sur les grands feux (NDDP 2019, Lubrizol 2019). Les spécialistes des risques chimiques en appui à l'extinction des incendies et à la préparation du post-accidentel.
- Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?
- Comment limiter les impacts écologiques et économiques des eaux d'extinction incendie sur les opérateurs de traitement d'eau usée et de captage d'eau potable.
- Evaluation opérationnelle de l'impact des panaches de fumée – du réseau de mesures terrains à l'exploitation opérationnelle des résultats - Comment répondre aux attentes d'un DO?
- Rôle des SP dans la préparation et l'accompagnement des autorités dans la phase post-accidentelle d'un événement technologique.

Nous pouvons nous apercevoir que ces différents mémoires s'intéressent à l'impact d'un incendie sur l'environnement immédiat et/ou l'expertise qui peut être apporté aux DO dans le cadre de ces interventions majeures.

De ce fait, les différents candidats de la promotion RCH4-1-2020 ont demandé sur les conseils de plusieurs tuteurs la possibilité de rédiger une préface commune permettant à chacun de mieux définir et argumenter leur choix de développement du mémoire.

Ainsi, les différents sujets traiteront avec des points de vue différents d'une problématique commune. Certains mémoires aborderont donc des thèmes proches et certains mêmes pourront se chevaucher afin de proposer des solutions différentes avec une autre approche.

Outre cette préface commune, les différents mémoires apporteront dans leurs analyses de sujets, les limites qu'ils se sont données compte tenu des travaux réalisés par les autres binômes.

Résumé

L'ampleur du risque de tout incendie, incident majeur pour les populations, est multifactorielle. On retrouve notamment : l'intensité de l'incendie, la composition de sa source de combustible, la durée et la température du brûlage, les conditions de ventilation, les méthodes de lutte contre l'incendie utilisées, la proximité des populations humaines et les caractéristiques de dispersion du panache, influencé par les conditions météorologiques dominantes. Selon la source de l'incendie, le panache des émissions d'incendie comprendra un mélange complexe de substances toxiques en suspension dans l'air, notamment des particules qui sont également produites et peuvent contenir des métaux adsorbés et des contaminants organiques. Les effets à court, moyen et long termes sur les populations civiles plus ou moins sensibles, dépendront de leur pénétration dans l'organisme directement corrélé à leurs diamètres aérodynamiques.

La dichotomie technologique disponible permet une approche en deux temps. La première, basée sur la méthodologie optique, permet une réponse pragmatique pour les premiers intervenants afin de préserver les populations au travers de valeurs seuils. Ces dernières pourront être affinées qualitativement dans un second temps par des analyses de laboratoires.

Faute de données scientifiques précises sur cette thématique, une réflexion pourrait être initiée au niveau national pour analyser et affiner les valeurs seuils et définir une conduite opérationnelle. Basée sur des études de terrain cette étude consisterait à compiler des données scientifiques en fonction des différents sinistres auxquels les intervenants auront à faire face.

Abstract

The extent of the risk of any major fire incident for the population is multi-factorial. These include : the scale of the fire, the composition of its fuel source, the duration and temperature of the burning, the ventilation conditions, the fire-fighting methods used, the proximity of human population and the dispersion characteristics of the plume, influenced by the prevailing weather conditions. Depending on the source of the fire, the fire emission plume will include a complex mixture of airborne toxic substances, including particles that are also produced and may contain adsorbed metals and organic contaminants. The short, medium and long-term effects on more or less sensitive civilian population will depend on their penetration into the body directly correlated to their aerodynamic diameters.

The available technological dichotomy allows for a two-step approach. The first, based on optical methodology, allows a pragmatic response for first responders in order to preserve population through threshold values. The latter will be qualitatively refined in a second stage by laboratory analyses.

In the absence of precise scientific data on this theme, a reflection could be initiated at the national level to analyse and refine the threshold values and define an operational approach. Based on field studies, this study would consist of compiling scientific data according to the various disasters that the operators will have to deal with.

Introduction

Les incendies d'ampleur, tel celui de Buncefield en 2005 en Angleterre, des grands espaces nord-américains, de Lubrizol ou encore la cathédrale de Notre Dame de Paris en France en 2019, frappent l'esprit collectif. Que ce soit de par leurs côtés dévastateurs tant sur les plans humain, économique que sociétal, ils sont remarquables à plus d'un titre.

Comme évoqué dans la préface, notre mémoire intitulé « les microparticules émises lors d'un incendie, présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier » va aborder une des conséquences des incendies aux regards des populations civiles exposées.

Compte tenu de l'ouverture d'analyse très large de notre sujet, nous avons défini des champs d'exclusion qui seront explicités aux prémices de notre mémoire.

Dans un premier temps, nous nous attarderons sur une présentation des caractéristiques des microparticules. De leurs origines, à leurs caractéristiques physico-chimiques, en passant par leurs classifications et leurs morphologies, nous évoquerons leurs comportements dans l'environnement atmosphérique.

Cette présentation rappelant une démarche analytique « source – flux – cibles » nous conduira par la suite à leurs impacts sur les populations. Cette partie traitera du parcours dans l'organisme des microparticules en prenant en compte les propriétés physico-chimiques. Les effets sur les populations seront listés en prenant en considération plusieurs critères (temps, durée, répétition de l'exposition, concentration et la typologie des populations, à court, moyen et long termes).

La troisième partie exposera tout d'abord les principes de métrologie. Nous ferons une dichotomie entre l'analyse de terrain privilégiant la technologie optique à celle des laboratoires. Nous évoquerons les différentes valeurs de référence admises avec leurs limites opérationnelles et scientifiques et nous proposerons une réflexion sur une approche opérationnelle.

Enfin, nous conclurons notre analyse par un tour d'horizon national sur la prise en compte des microparticules par les SDIS et unités militaires.



Photos de grands feux en 2019 (Feux de forêt en Californie, Incendie de Lubrizol-Normandie Logistique, Feu de la Cathédrale de Notre Dame de Paris

A. Caractéristiques des microparticules

Un incendie interagit avec son environnement en provoquant de nombreux effluents (Figure A.1). Ces effluents nuisent à l'environnement par :

- Des émissions gazeuses et des particules directement dans l'atmosphère
- La propagation d'émissions atmosphériques
- Le dépôt d'émissions atmosphériques
- La pollution des sols
- La pollution des eaux souterraines et de surface

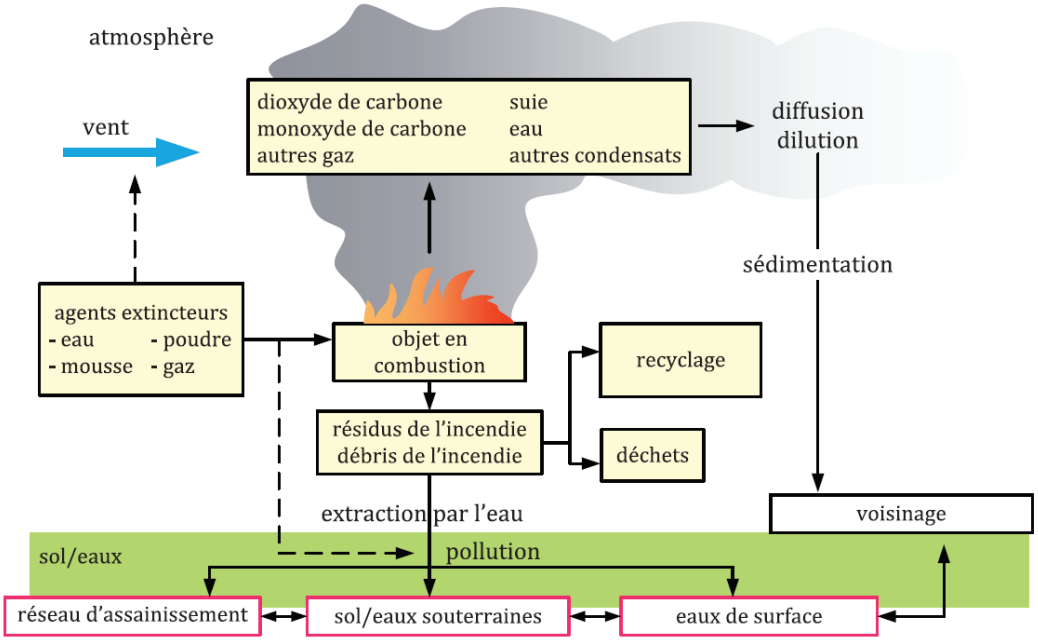


Figure A.1 - Voies d'émission des incendies (Norme NF ISO 26367-1 : Lignes directrices pour déterminer l'impact environnemental des effluents du feu)

Afin de délimiter le contour de notre travail, nous avons fait le choix de nous focaliser sur les microparticules qui sont présentes uniquement dans l'environnement atmosphérique et pendant l'incendie. De ce fait, nous excluons les sujets suivants :

- Emissions dans l'environnement terrestre
- Emissions dans l'environnement aquatique
- Emissions de particules radioactives

A1. Présentation des microparticules

A1.1 Leurs origines

Outres les gaz, l'atmosphère contient des matières en suspension en phase liquide et solide, représentant un mélange complexe de substances chimiques organiques et inorganiques, que l'on regroupe sous le terme général de l'abréviation PM qui provient de l'anglais « Particulate Matter ». Les particules présentes dans l'air ambiant sont constituées d'une part de particules « primaires » et d'autre part de particules dites « secondaires ».

Les particules primaires sont émises soient par des sources naturelles ou anthropiques :

- Les particules d'origine naturelle peuvent être minérales (volcanisme, embruns et aérosols marins, érosion éolienne, combustion naturelle de biomasse et feux de forêts, etc.) ou organiques (bactéries, acariens, pollen, fibres végétales, etc.), détaillé an annexe 1.
- Les particules d'origine anthropique sont issues de la combustion (industriel, feux de cheminée, incinérateurs, …), de l'agriculture, des transports, …

Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?

Les particules dites « secondaires » sont des particules formées dans l'air par des processus chimiques complexes, à partir notamment de précurseurs gazeux tels que les oxydes de soufre (SO_2) et d'azote (NOx et nitrates), l'ammoniac (NH_3), et les composés organiques volatils (COV) présents dans l'air.

A1.2 Les principaux composés chimiques présents dans les particules

La composition chimique des particules présente une très grande variabilité, qui dépend à la fois de la nature, de la proximité des sources d'émission, et des transformations des particules subies dans l'atmosphère. De manière générale, la caractérisation chimique détaillée des particules demeurent un sujet très complexe en raison de la diversité des molécules et des composés présents.

Néanmoins, on définit deux grandes fractions de particules : la fraction inorganique (ou minérale) et la fraction organique. Le plus souvent, les particules en suspension dans l'air sont constituées de ces deux fractions.

La fraction minérale est composée essentiellement :

- du sulfate d'ammonium et du nitrate d'ammonium, formés dans l'atmosphère à partir de l'ammoniac et des acides sulfuriques et nitriques produits par oxydation des oxydes de soufre et d'azote,
- des composés minéraux et des sels (silicates d'aluminium, carbonate de calcium, chlorure de sodium, …) issus de phénomènes d'abrasion et d'envols de poussières,
- des métaux provenant de processus d'abrasion, d'émissions liées à des processus industriels et aux combustions,
- des composés d'origine biogène, comme les pollens, les spores et micro-organismes (virus, bactéries, champignons), constitués en général de grosses particules.

La fraction organique est composée de :

- Carbone élémentaire (EC), appelé carbone suie ou Black Carbon (BC). Il est constitué essentiellement d'atomes de carbone. Il est susceptible d'adsorber du carbone organique imbrûlé au cours de la phase de refroidissement de la combustion.
- Carbone organique (OC) qui est présent dans des composés organiques issus de combustions incomplètes (foyers fixes de combustions, feux de biomasse, etc.). La présence de plusieurs centaines de composés organiques différents a été identifiée dans les particules en suspension, dont notamment des espèces toxiques comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

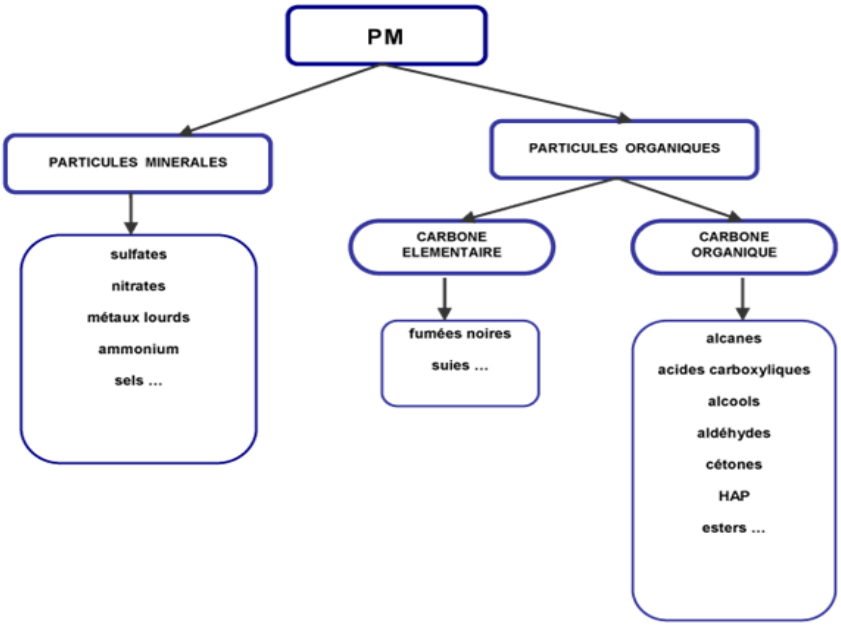


Figure A.2 – schéma sur la composition générale possible des microparticules présentes dans l'air

A1.3 Leurs classifications

Les particules sont communément réparties en fonction de leur taille. On les mesure selon leur diamètre aérodynamique et désignés de la sorte :

- PM $_{10}$: désigne les particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 10 µm
- PM $_{2.5}$: désigne les particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 2,5 µm, appelées « particules fines »
- PM $_{1}$: désigne les particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 1 µm, appelées « particules très fines »
- PM $_{0,1}$: désigne les particules de diamètre aérodynamique médian inférieur à 0,1 µm, appelées « particules ultra fines » ou « nanoparticules »

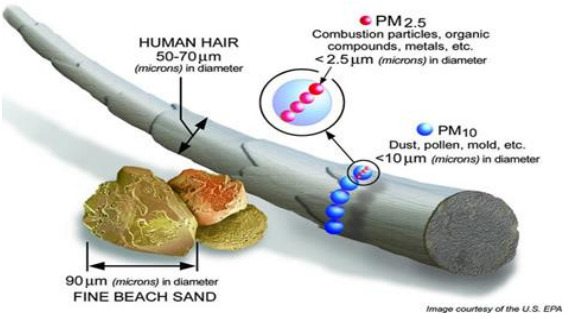


Figure A.3 – schéma sur la taille comparative d'un grain de sable, cheveux et PM

A ce jour, les PM $_{10}$ et les PM $_{2.5}$ sont suivis dans le cadre de la qualité de l'air en France et ont des valeurs recommandées liées à des expositions moyennes annuelles ou 24 heures.

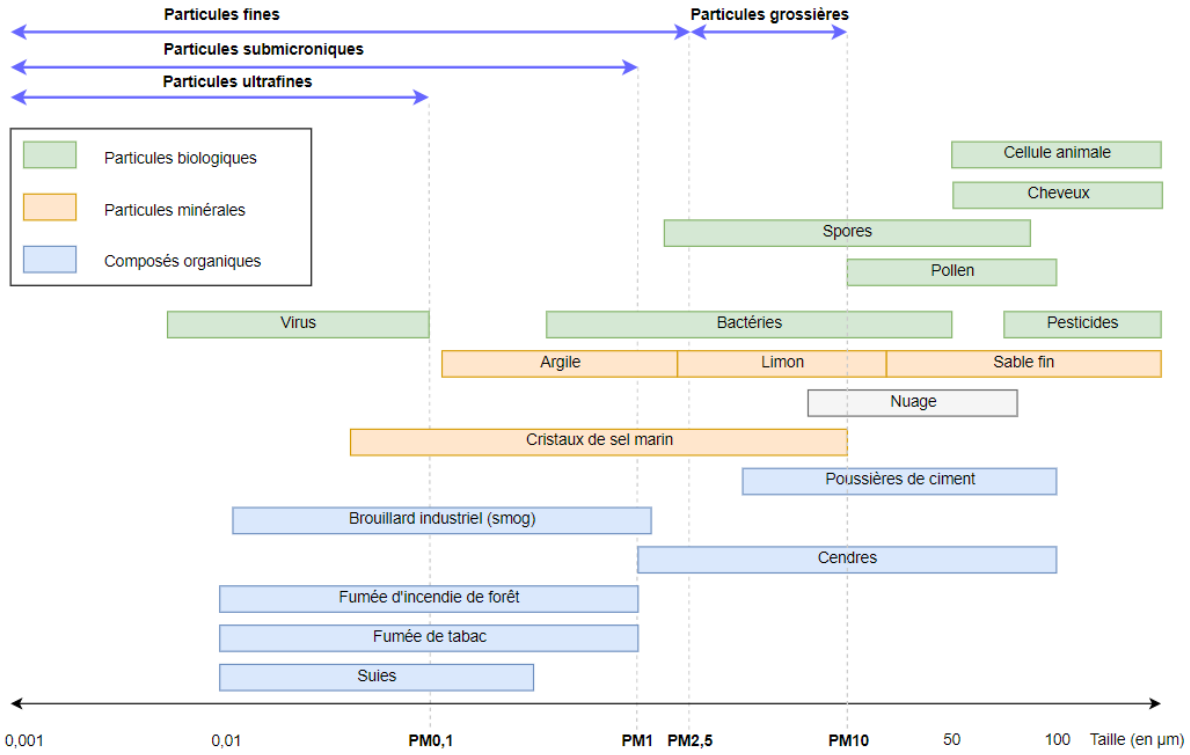


Figure A.4 – dimensionnement des différentes particules (www.notre-planete.info)

A2. Les microparticules émises lors des incendies

Les effluents d'incendie sont constitués de gaz et vapeurs de combustion, de gouttelettes d'eau et d'aérosols (solides et liquides formés pendant et après combustion). Ces aérosols comportent des particules organiques, inorganiques et des gouttelettes liquides de petite taille produites lors de la combustion incomplète des combustibles. Les particules de carbone présentes dans les fumées constituent un risque pour les personnes. La taille, la forme et la nature de ces particules, mais aussi le gaz dans lequel elles sont en suspension conditionnent leur toxicité. Les connaissances sur les aérosols issus de procédés de combustion sont en constante évolution depuis plusieurs décennies.

A2.1 Formation des aérosols dans les fumées

La figure A.5 illustre de façon schématique le processus de formation des suies lors de la combustion.

La première étape consiste en la pyrolyse du matériau en question et la production de molécules précurseurs des suies. A la suite de ce premier processus, les précurseurs de suies vont s'agglomérer, afin de former des nucléis de plusieurs centaines d'unités de masse atomique et dont le diamètre est de l'ordre d'une dizaine d'Angströms. Produites dans les zones les plus réactives des flammes, ces particules vont coaguler et adsorber des molécules à leurs surfaces, donnant lieu à la production des monomères constitutifs de suies.

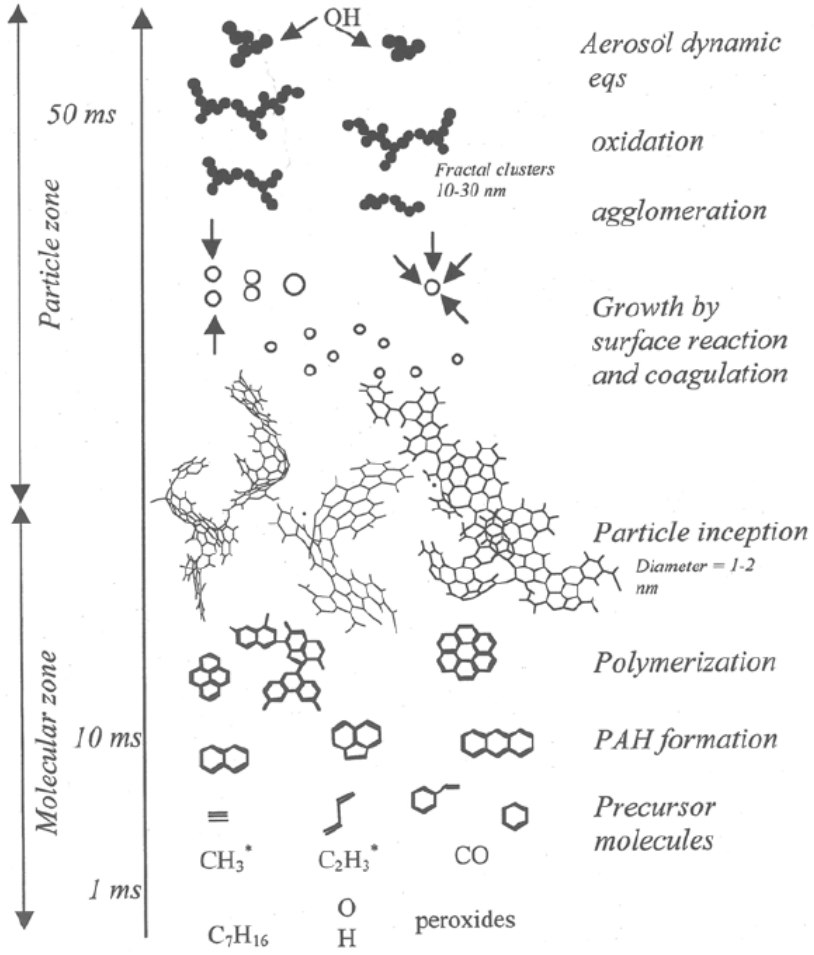


Figure A.5 – Illustration schématique des processus physico-chimique mis en jeu lors de la formation de particules de suie (Impact des aérosols émis lors d'un incendie – IRSN – François-Xavier OUF- 2016)

Les particules élémentaires vont s'agglomérer entre elles de manière désordonnée, et selon leur position dans la flamme, donner lieu à des agglomérats ou des agrégats de suies. En parallèle de ces processus producteurs de suies, l'oxydation des suies, par divers radicaux et molécules, vient contrebalancer l'augmentation de la masse totale de suies.

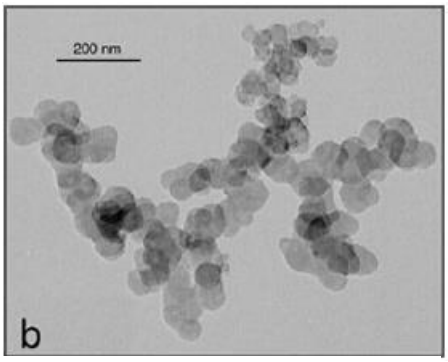


Figure A.6 – Image de particules de suie

Dans les feux d'hydrocarbures ou de polyoléfines, il est admis que les particules de suies sont presque exclusivement composées de carbone (au moins 90% en masse) et d'hydrogène. Les composés polyaromatiques formés s'agglomèrent en vésicules de carbone, qui se collent les unes aux autres.

A2.2 Facteurs de combustion liés à la production des particules

Les conditions de combustion sont à géométrie variable et beaucoup de facteurs différents vont modifier de manière plus ou moins significative la quantité des microparticules émises mais aussi leur toxicité. Les facteurs principaux sont les suivants :

- Caractéristiques thermocinétiques de l'incendie (débit de fumée, vitesse d'émission, hauteur d'émission et température),
- Composition des fumées (polluants gazeux asphyxiants, irritants, toxicité spécifique),
- Influence de la ventilation du foyer (modifie les caractéristiques thermocinétiques et la nature des produits formés).

Ces facteurs, d'importance variable, vont avoir pour effets :

- Une réduction de la visibilité humaine, de par l'opacité des aérosols émis qui reste un indicateur sur la quantité de particules émises,
- Une modification du rendement en suies modifiant les propriétés de rayonnement thermique des flammes et donc le transfert de chaleur par rayonnement,
- Un impact sur la santé des populations de par la fraction des aérosols inhalés (détaillé dans le chapitre B de la présente étude).

A2.3 Interaction des facteurs de combustion

La typologie des suies formées semble plutôt dépendre des conditions locales lors de la formation, que de la nature même des produits dégradés. La différence de production observée dans les feux libres dépend plus de la température de flamme du produit et des conditions d'oxydation ou de recombustion des particules que de la nature chimique propre du combustible.

A forte température (environ 1000°C), la nature des produits d'incendie est très peu liée au type de combustible, mais plus aux conditions de la combustion. Pour des températures plus basses (environ 250°C à 300°C), une publication européenne récente *[Atmospheric Chemistry ans Physics – juillet 2020]*, démontre que pour des conditions de ventilation identiques, le type de combustible influe de manière significative sur la quantité de PM_{10} et HAP produit, avec un facteur multiplicateur pouvant aller jusqu'à 25 - 30 entre du bois de chauffage et du polystyrène ou des polymères thermoplastiques (résultats en annexe 2).

Selon le combustible, la production de carbone émise sous forme de suies est plus ou moins importante. Plus les liaisons carbones sont nombreuses et plus le pouvoir fumigène est important. Les plus importants, sont ceux ayant des cycles aromatiques.

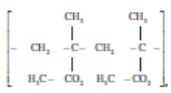
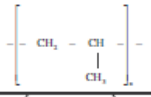
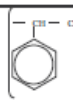
Combustibles	Motif	Carbone émis sous forme de suies
Polyoxyméthylène (POM)	$-(CH_2-O)_n-$	0,0 %
Poly (méthacrylate de méthyle) (PMMA)		0,3 %
Polypropylène (PP)		5,5 %
Polystyrène (PS)		18,0 %

Figure A.7– Pouvoir fumigène des matériaux en fonction du motif des molécules (Effet du feu sur les personnes)

Lors de la combustion des hydrocarbures, il est généré des produits aromatiques complexes : hydrocarbures polyaromatiques et particules, qui constituent la cause principale de l'opacité des fumées.

De plus, les conditions de ventilation modifient également la nature des produits de combustion. Par exemple, un feu sous-ventilé va produire de nombreux produits toxiques qui auront la particularité de s'adsorber sur les particules.

A2.4 Morphologie des particules dans les fumées

La morphologie des aérosols qui sont émis lors des incendies peut contribuer de manière non négligeable à la toxicité des fumées. Trois « familles » morphologiques ont été identifiées :

- Particules de morphologie fractale : représentent le terme source au plus proche de la flamme,
- Particules de morphologie compacte : dans le cas d'incendie à grande échelle et mettant en jeu des combustibles divers et complexes, des interactions fortes engendrant de fortes modifications de la structure des particules, la rendant compacte,
- Particules fractales présentant une phase organique/inorganique adsorbée : résultent de l'interaction de COV, de composés inorganiques, de vapeur d'eau.



Figure A.8 – Représentation respectivement d'une particule fractale, d'une particule compacte et d'une particule fractale avec une phase adsorbée (Impact des aérosols émis lors d'un inendie – IRSN – François-Xavier OUF- 2016)

La figure A.9 ci-dessous illustre les principaux phénomènes d'évolution physico-chimique des aérosols d'incendie et les modifications potentiellement occasionnées à la structure morphologique des particules et à leurs compositions. Il est important de relever, qu'à ce jour, les aérosols issus d'un incendie souffrent encore d'un manque patent de connaissances.

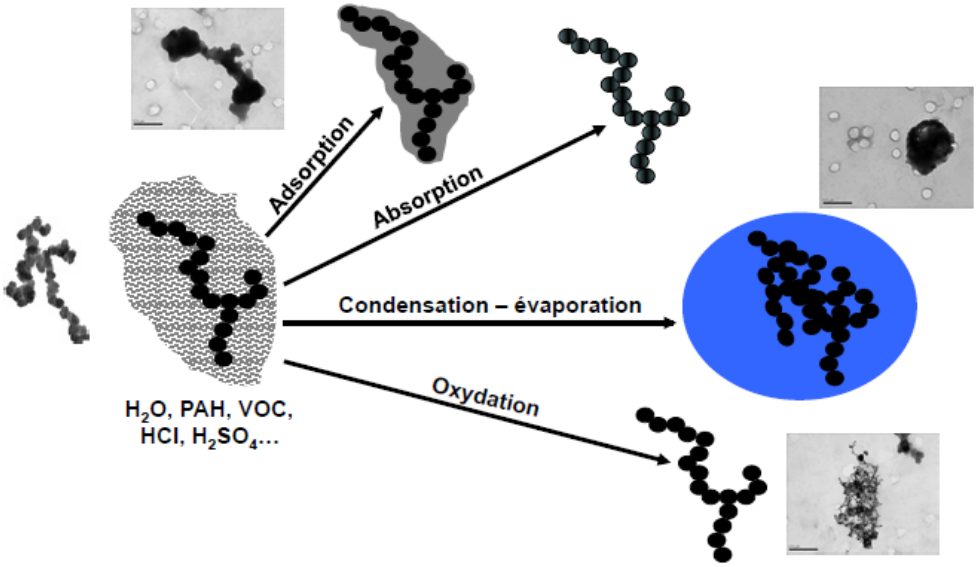


Figure A.9 – Illustration schématique des différents phénomènes d'interaction physico-chimique pouvant engendrer une modification de la morphologie des particules émises en situation d'incendie (Impact des aérosols émis lors d'un incendie – IRSN – François-Xavier OUF- 2016)

La morphologie atypique de ces particules offre une surface d'échange avec les produits de combustion relativement importante, ce qui renforce la dangerosité du volet adsorption et constitue par la même occasion un vrai cheval de Troie pour les personnes qui les inhalent !

A2.5 Adsorption des gaz – Le Cheval de Troie ! (1)

Le principe de l'adsorption repose sur la propriété qu'ont les solides (adsorbant) à fixer sur leurs surfaces certains gaz. Ainsi, lors d'un incendie, les gaz de combustion toxiques sont adsorbés à la surface des particules. L'inhalation de ces particules fournit un mécanisme de transport des substances toxiques au-delà des défenses de l'organisme, tel un vrai « cheval de Troie ».

Les particules de suie carbonée ont un comportement similaire à celui du charbon actif, qui est largement utilisé comme adsorbeur de gaz /vapeur. La structure de ces particules est poreuse, avec une grande surface souvent composée principalement de cycles aromatiques. En raison de la surface relativement importante de ces particules, les quantités de gaz de combustion qui peuvent être adsorbées sont considérables !

La force de la liaison qui lie les particules aux gaz dépend de la température et de la pression (cf. figure A.10). Les espèces adsorbées initialement peuvent être relâchées facilement si la température augmente, si la pression diminue, ou en présence d'un solvant ayant une plus grande affinité pour les espèces adsorbées que la suie.

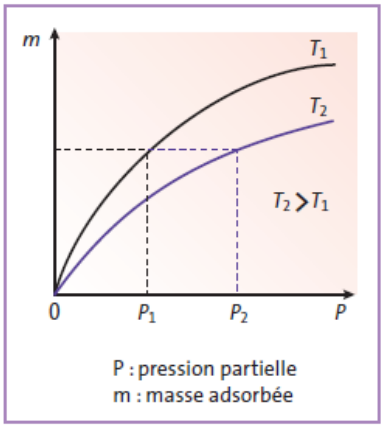


Figure A.10 – Isothermes d'adsorption (INRS)

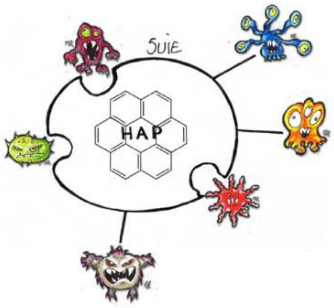


Figure A.11 – Schéma d'adsorption (DGSCGC- GDO Toxicité des fumées)

Les recherches récentes sur les émissions des incendies montrent que si des gaz asphyxiants, comme le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO_2), le cyanure d'hydrogène (HCN), ou irritants, tel que les oxydes d'azote (NOx), le dioxyde de soufre (SO_2) sont particulièrement importants en termes de toxicité aiguë (HCl, HF, …). Les espèces organiques de masse moléculaire élevée et les aérosols, comme les matières particulaires, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les dioxines, ont un impact considérable du point de vue environnemental. Effectivement, les molécules adsorbées sur des particules peuvent avoir des effets importants, même à distance de l'incendie.

Les particules émises lors d'un incendie contiennent du noir de carbone et des espèces qui sont adsorbées. Les valeurs relevées pour le noir de carbone vont du milligramme au gramme par m^3, lorsque l'on sait que la VLEP (Valeur Limite d'Exposition Professionnelle) est située à 3,5 mg/m^3 en France.

De plus, les espèces organiques carbonées représentent 90% à 10% des particules qui sont émises, donc la majeure partie du carbone n'est pas forcément sous forme de graphite (noir de carbone) mais peut se trouver sous forme de composés complexes, comme les HAP et divers polluants, tel le phosphore, le soufre ou tout autre produit de combustion.

<u>Ordre de grandeur</u> :



En situation d'incendie, il y a plusieurs centaines de m^2 de suies par grammes. A titre d'exemple, lorsqu'une personne respire 1 g/m^3 de suie (ou 1 000 $\mu g/m^3$) avec un débit respiratoire classique de 15 L/min, cela équivaut à respirer 1 m^2 de surface par minute qui peut contenir beaucoup de polluants différents !

Fort de ces éléments, et sachant qu'à ce jour il très difficile de connaitre la nature des gaz de combustion qui sont réellement adsorbés, il est important d'associer la démarche des microparticules à celles de la toxicité aigüe des fumées de combustion.

(1) : Expression entendue lors d'une Visio avec M. Eric Guillaume

A2.6 Toxicité des fumées d'incendie

Nous savons que les gaz produits lors d'un incendie sont dépendants de la nature du combustible et de son environnement immédiat, notamment pour les feux couvert ou semi-ouvert. Le guide de doctrine opérationnelle relatif à la prévention des risques liés à la toxicité des fumées liste les substances toxiques les plus fréquemment émises lors d'incendies, à savoir :

- Dioxyde de carbone
- Monoxyde de carbone
- Monoxyde d'azote, dioxyde d'azote
- Dioxyde de soufre
- Fluorure d'hydrogène
- Bromure d'hydrogène
- Chlorure d'hydrogène
- Cyanure d'hydrogène
- Acrylonitrile
- Ammoniac
- Formaldéhyde
- Phénol
- Benzène
- Styrène
- Chlorobenzène
- Toluène
- Sulfure d'hydrogène
- Acide formique
- Sulfure de carbone
- Acroléine
- Acétaldéhyde
- Éthylbenzène
- Furfural
- 1,3,5-Triméthylbenzène
- Xylène
- Cumène
- Benzonitrile
- Propylbenzène
- 1-Éthyl-4-méthylbenzène

A titre d'exemple, les niveaux des principaux polluants toxiques sur des incendies de logements sont des gaz inorganiques tel que le CO_2 et l'HCl, des COV, du benzène, des HAP et des dioxines (détail en annexe 3). Des travaux menés ont mis en relation la nature des principaux produits de combustion probables en fonction de la nature d'activité d'un établissement. Cette liste peut être une aide dans la recherche des gaz à détecter. La liste des produits est en annexe 4.

De plus, la norme portant chimie de la combustion mentionne que, pour les particules les plus grosses, l'adsorption de gaz de combustion peut réduire la concentration des gaz et vapeurs toxiques de manière significative. Cela peut donc influencer les relevés de mesures, notamment pour les acides comme l'acide nitrique (HNO_3), l'acide sulfurique (H_2SO_4) ou l'acide phosphorique (H_3PO_4) qui se transforment en nitrates, sulfates et phosphates. L'ammoniac (NH_3) se transforme aussi souvent en ammonium (NH_4^+).

Aussi, bien que nous n'avons pas trouvé de relation scientifique entre la nature des produits de combustion et les gaz adsorbés sur les particules, la connaissance des gaz émis peut constituer une première approche pragmatique de « terrain » sur l'éventuelle nature des gaz adsorbés par les particules.

De ce fait, les gaz dit à effet « court terme » en terme d'impact environnemental pourront être préférentiellement recherchés, à savoir :

- Monoxyde de carbone (CO),
- L'ammoniac (NH_3),
- Dioxyde d'azote (NO_2),
- Dioxyde de soufre (SO_2),
- Acide chlorhydrique (HCl), Cyanure d'hydrogène (HCN),
- Composés Organiques Volatils (COV) avec le benzène pour référence (le plus présent).

L'annexe 5 présente une synthèse des seuils toxicologiques. Dans ce document, nous avons choisi de retenir uniquement les AEGL (Acute Exposure Guideline Level), car ces valeurs concernent une population générale incluant les individus sensibles et sont plus cohérentes sur des durées d'exposition des fumées pour des grands feux, à savoir 1 et 4 heures. De plus, l'INERIS mentionne que les VSTAF (Valeurs Seuils de Toxicité Aiguë Française) concernent les études de dangers pour les installations classées et non les situations d'urgence.

A3. Le comportement des microparticules dans l'environnement atmosphérique

Après le dioxyde de carbone et le monoxyde de carbone, les particules (PM_{10}) sont probablement le troisième produit de combustion le plus important en masse dans l'air. Les particules fines ($PM_{2,5}$) sont également produites en quantité importantes.

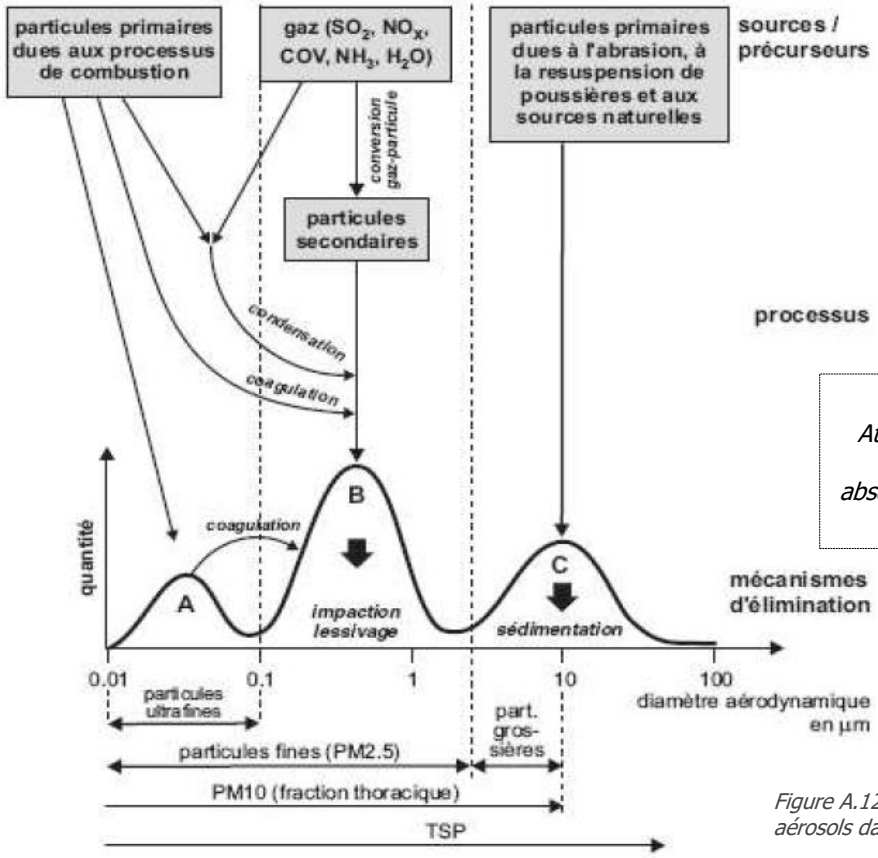
A3.1 Comportement général des particules dans l'air

La taille de ces diverses particules est l'une de leurs caractéristiques importantes car elle détermine leur temps de séjour dans l'air qui dépend de plusieurs facteurs (taille, réactivité chimique, solubilité, etc.) ainsi que de leur aptitude à pénétrer et demeurer plus ou moins profondément dans l'appareil respiratoire. On distingue ainsi classiquement les trois classes granulométriques suivantes :

- Les particules dites ultra fines ($PM_{0.1}$) : elles résultent notamment de processus de nucléation (formation de particules solides ou liquides à partir de précurseurs gazeux, en phase homogène ou hétérogène). Leur durée de vie est brève car elles disparaissent en grossissant par coagulation entre elles ou avec des particules plus grosses.

- Les particules fines ($PM_{2.5}$) : elles proviennent notamment de phénomènes de coagulation par suite de chocs entre particules plus petites formées par nucléation, et aussi de condensation de gaz sur les particules. Ces particules ont une vitesse de sédimentation plus faible et peuvent donc rester en suspension dans l'atmosphère pendant plusieurs jours, voire plusieurs semaines. De ce fait, ce sont les particules qui ont les durées de vie les plus élevées et peuvent transporter des composés toxiques sur de très longues distances.

- Les particules grossières (PM_{10}) : elles sont le plus souvent issues de processus mécaniques (remises en suspension, érosions, etc.) et leur composition est en général celle du matériau d'origine. En raison de leur masse, les PM_{10} les plus grosses sont évacuées de l'atmosphère en principe dans les quelques heures qui suivent leur émission, soit par sédimentation, soit sous l'effet des précipitations.



Attention sur la lecture de ce schéma qui est en échelle logarithmique sur son abscisse, pour une meilleure compréhension

Figure A.12 – schéma du comportement des aérosols dans l'air (AFSSET – 2009)

Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?

A3.2 Dispersion des particules

La dispersion des particules émises lors d'un incendie est variable selon les facteurs météorologiques du moment (vent, stabilité thermique, inversion de température …) qui vont modifier le transport et la diffusion des particules. Néanmoins, selon les facteurs cités, il se peut que la distribution des particules ne soit par uniforme, comme illustré ci-après.



Figure A.13 – Exemple de panaches de fumée des incendies de bâtiments (fumée grise) et des feux de pétrole (fumée noire) et de l'impact régional du panache de feu au-dessus de Londres, incendie du dépôt de pétrole de Buncefield de 2005.

Dans le panache d'un incendie, les particules sont entraînées et transportées initialement vers le haut, au-dessus du feu. La thermophorèse (mouvement des particules dû à un gradient de température) est un paramètre important qui régit le mouvement des aérosols dans un feu (chaud) et leur dépôt sur toute surface relativement froide. Le mouvement thermophorétique peut être considéré comme le mécanisme par lequel les aérosols sont repoussés par un corps chaud et attirés vers un corps plus frais résultant dans un mouvement de particules et de gouttelettes des zones chaudes vers les zones froides.

De plus, les particules en suspension dans l'air interagissent avec la lumière entre autre, en l'adsorbant et donc en la chauffant. De fait, les particules s'éloignent de la lumière pour se diriger vers une région plus froide.

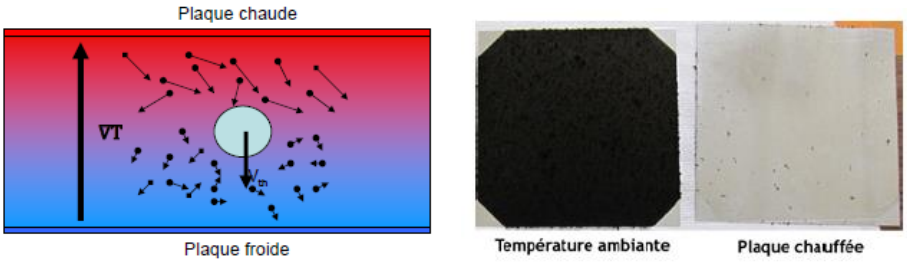


Figure A.14 – Illustrations schématique/photographique du phénomène de transport thermophorétique lors d'un dépôt de particules (Impact des aérosols émis lors d'un inendie – IRSN – François-Xavier OUF- 2016)

In fine, la sédimentation (mouvement descendant des particules) se produit. Le taux de sédimentation dépend de la propriété visqueuse de l'écoulement global, de la température et de la masse de l'aérosol. Grandes et lourdes, les particules se déposent rapidement, tandis que les particules fines de faible masse peuvent rester en suspension très longtemps. En présence d'un champ électrique, le mouvement des particules (en particulier les particules de carbone) sera modifié.

Les phénomènes d'agglomération et de coagulation, présents lors de la formation des aérosols, peuvent se poursuivre à des distances considérables de la source de l'incendie, bien que les effets diminuent à mesure que les aérosols deviennent dilués dans des volumes d'air croissants. Ainsi, à des distances relativement grandes du feu, des amas de particules peuvent se former et sédimenter rapidement. Pour illustrer l'importance du temps de décroissance de la concentration des particules par les effets de coagulation, la figure A.15, ci-après, démontre la relation entre les aérosols sur une plage de concentration initiale et les temps correspondants pour doubler le diamètre de l'aérosol et diviser par deux la concentration des particules.

Concentration initiale (particules/ml)	Temps pour doubler le diamètre moyen de l'aérosol	Temps pour réduire de moitié la concentration en masse
10^{14}	140 µs	20 µs
10^{12}	0,014 s	0,002 s
10^{10}	1,4 s	0,2 s
10^{8}	140 s	20 s
10^{6}	4 h	33 min
10^{4}	16 jours	55 h
10^{2}	4 ans	231 jours

Figure A.15 – Relation entre le temps pour doubler le diamètre moyen de l'aérosol et celui pour réduire de moitié la concentration en masse (Norme ISO 29904 – Chimie de la combustion – 2013)

Ainsi, dans des conditions de températures fixes, la distribution granulométrique des aérosols tend vers un état « d'auto-conservation », c'est-à-dire qu'un équilibre tend à exister entre la vitesse d'agglomération et la vitesse de séparation.

A3.3 Exemple de diffusion des particules au niveau du sol

Le département du commerce des USA a mené en 2011 des études en Alaska sur des feux de pétrole brut. Le modèle ALOFT (A Large Outdoor Fire plume Trajectory) a été utilisé pour prédire la concentration de particules de fumée ($PM_{2,5}$) au sol provenant de feux de pétrole, en fonction de conditions météorologiques différentes (vent et classe de stabilité). Les résultats du modèle présenté dans la figure A.16 sont des prédictions des étendues sous le vent des concentrations moyennes de $PM_{2,5}$ au niveau du sol pour une heure de 65 µg/m^3, 35 µg/m^3 et 25 µg/m^3.

Bien que cette approche ne soit que prédictive, liée à un seul type de feu (pétrole) et qu'il faut noter l'incertitude de ces prévisions, l'approche reste interessante, car elle rapporte sur une durée d'une heure des mesures en $PM_{2,5}$, quand les différentes recommandations ou réglementations portent les durées moyennes minimales à 24 heures (les différents seuils sont détaillés dans le chapitre C du présent mémoire). Les illustrations de ces différentes études sont en annexe 6.

Lieu	Classe de stabilité	Vitesse du vent (m/s)	Étendue $PM_{2,5}$ de 25 µg/m^3 (km)	Étendue $PM_{2,5}$ de 35 µg/m^3 (km)	Étendue $PM_{2,5}$ de 65 µg/m^3 (km)
Feu de pétrole d'un surface de 232 m²					
Cook Inlet	C	4	7	5	3
Cook Inlet	D	8	6	3	2
Cook Inlet	D	12	5	4	3
North Slope	C	4	<1	<1	<1
North Slope	D	8	<1	<1	<1
North Slope	D	12	1	1	1
Feu de pétrole d'un surface de 465 m²					
Cook Inlet	C	4	10	8	<1
Cook Inlet	D	8	10	8	<1
Cook Inlet	D	12	8	5	4
North Slope	C	4	<1	<1	<1
North Slope	D	8	<1	<1	<1
North Slope	D	12	<1	<1	<1
Feu de pétrole d'un surface de 930 m²					
Cook Inlet	D	8	10	10	<1
North Slope	D	8	<1	<1	<1

Figure A.16 – Tableau synthétique des prédictions des étendues sous le vent des concentrations moyennes de PM2,5 (National Institute of Standards and Technology – Technical note 1706 - US – 2011)

B. L'impact sanitaire des microparticules.

Précédemment nous avons présenté la genèse de ces microparticules, résultat d'une équation mettant en jeu, des matériaux initiaux, ainsi que des paramètres liés à la combustion (temps de combustion, la température de la flamme, l'apport de comburant). A présent, arrêtons-nous sur le devenir de ces microparticules et notamment leurs impacts sanitaires sur les populations.

Ces microparticules ont un poids si faible qu'elles se disséminent au grès des conditions météorologiques pour atteindre les populations. Le temps de vie dans l'air des particules dépend de plusieurs facteurs (taille, solubilité, réactivité chimique). Il est à noter que les PM_{10} sont amenées à disparaitre de l'air ambiant en se déposant sur les surfaces dans les heures qui suivent leurs émissions. En revanche les particules dites fines ($PM_{2.5}$) restent en suspension plusieurs jours, se comportant comme des gaz. Ces dernières pourront s'agglomérer soit par condensation autour d'un noyau composé par exemple d'un gaz peu volatil soit par collision, entre elles.

De plus, le temps d'exposition des populations et la régularité engendrera des effets dits à court et long terme. Dans la littérature, il est acté que les portes de pénétrations prédominantes d'un toxique sont respectivement :

- L'inhalation,
- L'ingestion,
- Les voies percutanées,
- La voie oculaire.

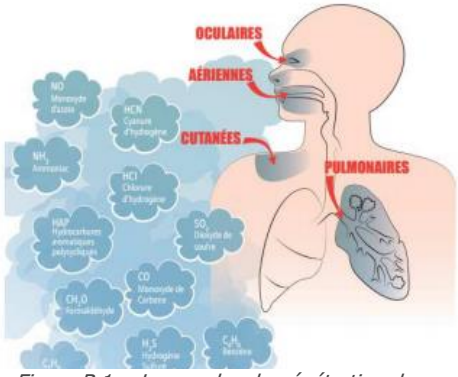


Figure B.1 - Les modes de pénétration dans l'organisme (DGSCGC- GDO Toxicité des fumées)

Considérant que l'inhalation est le principal mode de pénétration des microparticules dans l'organisme, arrêtons-nous tout d'abord sur les parcours de ces particules, puis sur leurs effets.

B1. Parcours des microparticules

Les microparticules, pénétreront plus profondément dans le système respiratoire dans la mesure que leurs diamètres aérodynamiques se réduiront. D'après Mahaffey & Miller et Peterson, les PM_{10} (inférieures à 10 µm) franchiront le filtre mécanique de l'appareil respiratoire humain. Elles impacteront en premier, les voies respiratoires supérieures, l'arbre bronchique, puis les sacs alvéolaires. La fraction alvéolaire, la plus dangereuse, se retrouvent piégée dans les alvéoles. Faute de pouvoir être évacuée mécaniquement par les cils, ces dernières ne peuvent qu'être éliminées par digestion cellulaire.

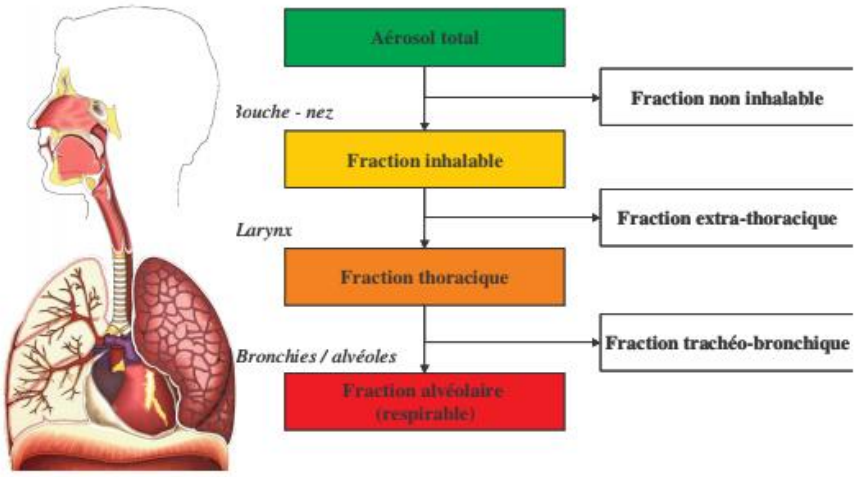


Figure B.2 - Définition des fractions de pénétration des particules dans l'organisme

Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?

La pénétration de ces microparticules dans le poumon profond est susceptible d'induire 2 types de réaction, soit une inflammation locale qui peut induire un phénomène d'obstruction bronchique périphérique, soit une inflammation systémique qui peut impliquer des problèmes vasculaires voire neuro vasculaires.

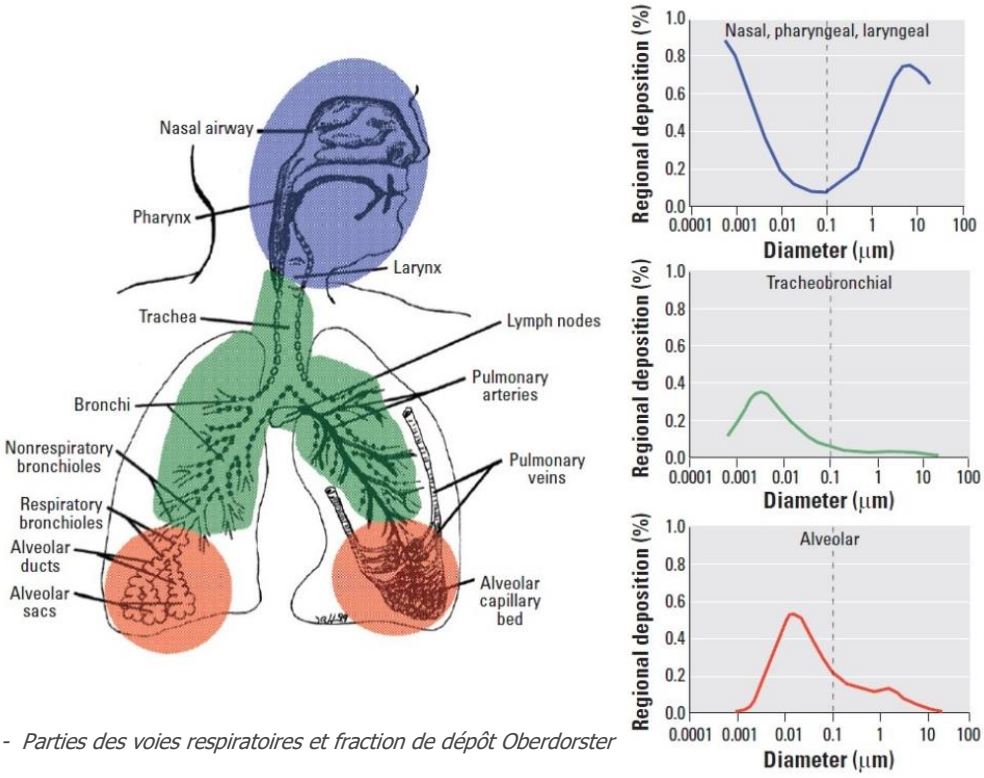


Figure B.3 - Parties des voies respiratoires et fraction de dépôt Oberdorster

Les particules très fines, voisines de 0.1µm, voire encore plus fines, de l'ordre du nanomètre, ont un mode de diffusion lié aux mouvements thermiques des molécules inhalées et exalées. Cette propriété conduit à une déposition massique moins importante au niveau alvéolaire et plus importante au niveau du nasopharinx et de l'arbre bronchique résultant d'un « double passage » à l'inspiration et l'expiration. Cette notion est réprésentée par la courbe bleue du graphique situé en haut et à droite de la figure précédente.

Les courbes verte et bleue retranscrivent les éléments mentionnés précedement, à savoir que les particules les plus fines pénètrent le plus profondement dans le système respiratoire. Le décalage visible au voisinage de 1 nanomètre, s'explique par la continuité des mouvements thermiques mentionnés dans le paragraphe précèdent.

Le pic de la courbe rouge représente les particules de 0.01 µm. Ces dernières sont suffisament fines pour pénétrer au plus profond de l'appareil respiratoire, sans pour autant avoir un diamètre suffisament petit pour suivre les mouvements expiratoires.

Des courbes dites conventionnelles ont été réalisées donnant la probabilité pour qu'une particule atteigne les différents niveaux de l'arbre respiratoire (cf. Figure B.4). Pour exemple : une particule de 2.5 µm a respectivement :

- 93% de chance d'atteindre le larynx
- 93% de chance d'atteindre la zone entre le larynx et les bronchioles
- 85% de chance d'atteindre l'espace alvéolaire de sujets sains et 50% de sujets à risques

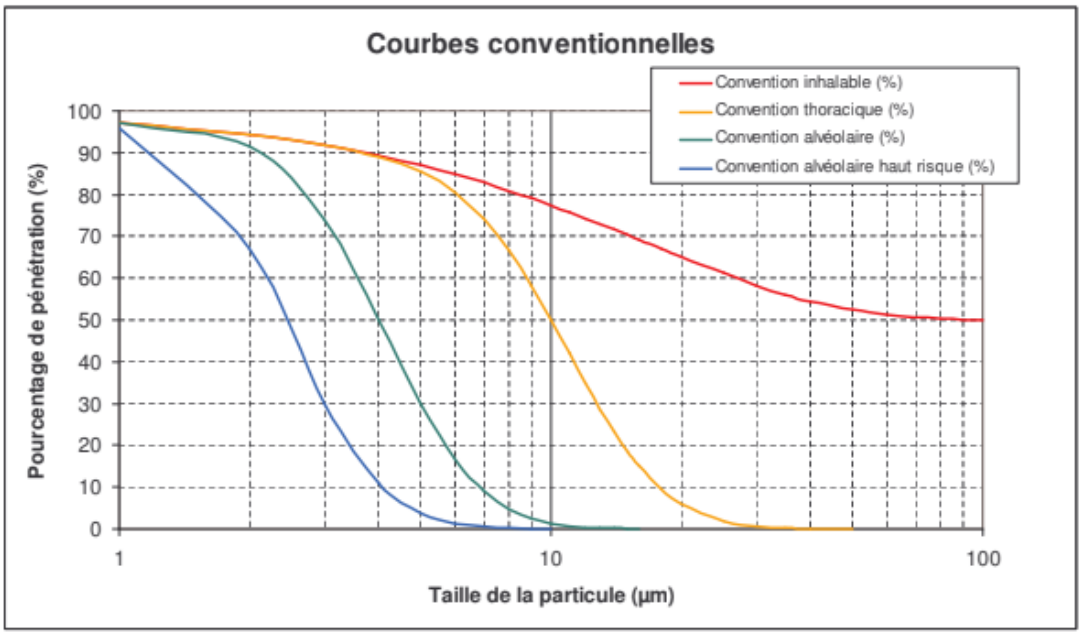


Figure B.4 - Courbes conventionnelles de pénétration des particules

B2. L'effet sanitaire des microparticules sur les populations

Les particules chargées ou non de composés toxiques ont des effets délétères variables selon les zones atteintes dans l'organisme. Ces dernières varient en fonction de leurs diamètres aérodynamiques et de leurs degrés d'hydro/lipo-solubilité.

Les particules de faible diamètre aérodynamique, (0.5 à 5 µm), atteignent la région alvéolaire en transportant des gaz toxiques adsorbés. Ces derniers génèrent des lésions, notamment s'ils sont corrosifs. En effet, le caractère hydrosoluble d'une substance chimique inhalée conditionnera son site d'action (ref. pathologie respiratoires aigües et subaiguës d'origine toxique). Dans ce cas, on constatera l'atteinte des voies aériennes supérieures avec un effet immédiat. Les substances liposolubles auront tendance à migrer plus profondément dans le système respiratoire ayant en règle générale des effets retardés.

En cas d'intoxication massive, le caractère hydrosoluble est moins prépondérant car l'anoxie s'associe au caractère nocif de la substance chimique entrainant un œdème aigu pulmonaire plus ou moins retardé.

L'impact sanitaire dépend donc de la taille des microparticules, de leur concentration, de leurs propriétés physiques et du terrain individuel de la victime (âge, broncho pneumopathie chronique obstructive).

Le syndrome de Brooks

Egalement connu sous le nom de « coup de chlore » ou RADS (Reactive Airways Dysfunction Syndrome), ce syndrome implique notamment des microparticules avec des gaz adsorbés tel le chlore et l'acide chlorhydrique. Il se caractérise par l'apparition d'une maladie asthmatique non allergique après une exposition accidentelle unique à un irritant à fortes concentrations.

Si dans un cas sur deux, la victime parvient à la guérison, dans 25% elle évolue vers une obstruction bronchique périphérique. (Selon les travaux du Pr Vincent Danel, Université Grenoble Alpes Décembre 2019). Des études ont démontré qu'outre des hospitalisations pour causes de détresses respiratoires, des séjours pour maladies cardio-vasculaires sont possibles.

Les fièvres d'inhalation

Ce terme récent regroupe un ensemble de syndromes pseudo grippaux comme la fièvre des métaux, la fièvre des polymères et le syndrome toxique des poussières organiques. Cette pathologie peut se retrouver suite à la dégradation de polymère soumis à un effet thermique comme un incendie. Dans la plupart des cas, ces fièvres d'inhalation se guérissent spontanément sans séquelles.

Les pneumopathies aiguës d'origine toxique

Cette pathologie résulte pour la plupart des cas d'agents toxiques issus de fumées d'incendie et adsorbés par les microparticules. On retrouvera par exemple :

- Des gaz :
  - Très hydrosolubles => NH_3, HCl, SO_2
  - Faiblement hydrosolubles => Cl_2, H_2S, O_3, NO_2, $COCl_2$
- Des substances chimiques organiques :
  - Acides organiques, aldéhydes, iso cyanates, amines
- Des solvants organiques :
  - Perchloroéthylène, trichloréthylènes
- Des métaux :
  - Vapeurs de mercures, oxydes métalliques, alliages, hydrures métalliques

La symptomatologie se traduit par les signes cliniques suivants :

- Une toux importante,
- Un enrouement,
- Des expectorations blanchâtres parfois associées à des filets de sang,
- Un sifflement laryngé ou un stridor,
- Une douleur rétro sternale,
- Un œdème laryngé.

Autres effets sanitaires

Parallèlement à ces effets à court terme, l'accumulation des microparticules engendre un effet à long terme. En effet, elles ne peuvent ni être expulsées par la toux ni digérées par les macrophages et engendreront une diminution de la capacité pulmonaire par obstruction mécanique alvéolaire, de l'asthme chronique notamment chez les sujets jeunes, des accidents vasculaires cérébraux, des cancers du poumon, voire le décès prématuré.

Santé Publique France estime qu'en France 48 000 décès prématurés sont attribuables chaque année aux particules fines.

Un rapport de 2014 d'expertise collective de l'ANSES, précise que les microparticules engendrent bien des effets néfastes pour la santé respiratoire (particules grossières) et pour la santé cardiovasculaire (pour les particules ultrafines). En revanche, faute de publication, l'effet neurologique sur le développement des performances cognitives de l'enfant n'a pu être confirmé.

Les données médicales actuelles tendent à montrer qu'il n'est pas possible d'observer un seuil de concentration en particules en deçà duquel aucun effet sanitaire ne serait constaté.

Le Risque Relatif (RR) :

Une autre étude a permis d'établir un lien entre des concentrations moyennes de particules en suspension dans l'air provenant de divers scénarii (incendie de fôrets, tempêtes de poussières, émissions industrielles, éruptions volcaniques, festivals et célébrations impliquants des feux d'artifices) et les effets sanitaires. Ces derniers ont été « estimés » par l'indice RR (risque relatif).

Il ressort de l'analyse qu'une augmentation de 10 µg/m^3 en exposition chronique, produit une augmentation de 0.5% de la mortalité à court terme. De plus, des RR ont été établis sur l'augmentation du nombre d'admissions pour gênes respiratoires par augmentation de 10 µg et 100 µg de PM_{10}.

Cette statistique mesure les risques de survenue d'un évènement dans un groupe par rapport à un autre réputé sain.

Exemple :
Soit R1 le risque de survenue d'évènements critiques (nombre de cancer) dans un groupe exposé (des fumeurs) quantifié à 10%.
Soit R2, le risque quantifié à 0.5 % pour un groupe de non fumeur.

Le RR est de 10/0.5 ; soit 20. Le risque est 20 fois plus élevé d'avoir un cancer chez lez fumeurs que chez les non fumeurs

B3. L'effet sanitaire selon le niveau d'exposition

La majorité des études que nous avons pu trouver entre un évènement produisant des particules lors d'un incendie et l'effet sur la santé des populations porte essentiellement sur les feux de biomasses. L'institut national de santé publique du Québec a publié une étude stipulant que 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. De plus, pour les zones lointaines où parviennent les fumées des feux de forêts, les inquiétudes portent surtout sur les impacts sanitaires des particules fines. Un résumé des études sur les effets sanitaires des feux de végétation et sur l'association entre particules issues de feux de végétation et évènements de santé de 2001 à 2012 est en annexe 7.

L'Organisation Mondiale de la Santé a publié en 2013 un document nommé REVIHAAP (Review of evidence on health aspects of air pollution) qui étudie l'impact sanitaire sur les populations au regard des différents polluants atmosphériques. Ce travail a été poursuivi et complété par l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire) en 2019. Une synthèse des preuves accumulées et des niveaux d'indications sanitaires des composés des particules de l'air ambiant à partir d'études chez l'Homme est annexé à ce présent mémoire (annexe 8).

L'exemple du World Trade Center (WTC) :

La destruction du World Trade Center, le 11 septembre 2001, a provoqué la plus grande catastrophe environnementale aiguë sur la ville de New York. La combustion de plus de 90 000 Litres de carburant dans cette catastrophe a libéré un intense panache atmosphérique toxique contenant de la suie, des métaux, des composés organiques volatils et de l'acide chlorhydrique. L'effondrement des tours a généré des milliers de tonnes de poussières, composées principalement (95%) de grosses particules, contenant du ciment pulvérisé, des fibres de verre, de l'amiante, du plomb, des HAP, des PCB et des furanes et dioxines polychlorés.

Les niveaux de particules en suspension dans l'air ont été les plus élevés immédiatement après l'attaque et ont diminué par la suite et d'autant plus avec la distance. Le pH était fortement alcalin (9-11). Un mois après l'attaque, les concentrations les plus élevées de poussières totales ont relevée dans la pile de débris (moyenne de 1 603 µg/m^3). Les niveaux de poussière totale sur la pile en octobre 2001 étaient environ cinq fois plus élevés que sur le périmètre. En octobre 2001, l'exposition individuelle médiane aux particules était de 323 µg/m^3. En avril 2002, l'exposition médiane était tombée à 137 µg/m^3.

Dans les 24 heures qui ont suivi l'attaque, 240 pompiers de la ville de New York ont demandé un traitement médical d'urgence. Parmi eux, 21% ont reçu un traitement pour des symptômes respiratoires aigus causés par l'inhalation de fumées et de poussières en suspension dans l'air. Sur les 6 mois qui ont suivi, l'évaluation des pompiers a montré une augmentation de la toux et de l'hyperréactivité bronchique liées à l'exposition. Une augmentation de la fréquence des nouveaux cas de toux, de respiration sifflante et d'essoufflement a été constatée au niveau de la communauté environnante proche et chez les agents de nettoyage du site. Le suivi de femmes enceintes qui se trouvaient à l'intérieur ou à proximité immédiate du WTC le 11 septembre a montré une multiplication par deux du nombre de nourrissons « petits pour l'âge gestationnel ».

De manière générale, les expositions environnementales après la catastrophe du WTC ont produit une hyperréactivité bronchique, une toux persistante et un risque accru d'asthme.

C. Mesure des microparticules

Précédemment nous avons pu démontrer la genèse des particules lors d'un incendie et leurs impacts certains sur la santé des populations. Dans cette partie, nous allons traiter tout d'abord la technique employée pour effectuer cette mesure, évoquer de manière non exhaustive les valeurs seuils liées aux PM_{10} et $PM_{2.5}$ et proposer une approche opérationnelle pragmatique.

C1. Métrologie des particules

C1.1 Principes de mesures – normalisation des instruments de mesure

Toutes les techniques sont fondées sur un prélèvement dit actif, c'est-à-dire que l'échantillon d'aérosol est aspiré au sein de l'instrument par l'intermédiaire d'une pompe. Une des caractéristiques partagée par la quasi-totalité des techniques de mesures en temps réel est leur non-spécificité par rapport à la nature chimique des particules.

En règle générale, les instruments sont calibrés en taille et/ou en concentration à l'aide d'aérosols de référence, le plus souvent étant l'ARD (Arizona Road Dust). Par conséquent, leur réponse pour des aérosols réels est sensiblement différente, car de nombreux paramètres influent : taille, forme, densité, état de charge électrique, état d'agrégation, niveau de concentration, indice de réfraction …

La technologie utilisée pour la quantification des particules en suspension s'appuie sur la diffusion de la lumière. Cette diffusion résulte de l'action entre la lumière et un aérosol avec comme résultat une déviation de la lumière à partir de son parcours initial par réflexion et diffusion (figure de gauche). L'intensité de la diffusion est directement liée aux diamètres des particules en suspension et l'angle de diffusion (angle formé entre la direction de la lumière incidente et la position du détecteur) (figure de droite). En fonction du diamètre de la particule, on appliquera la diffusion de Rayleigh ou de Mie.

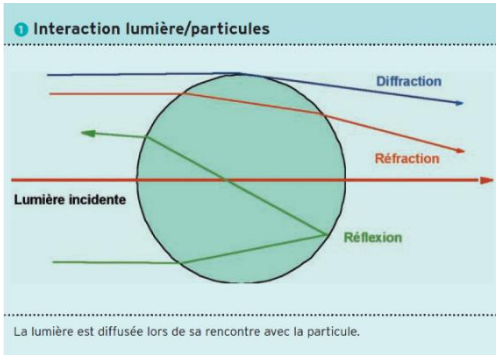


Figure C.1 – Interaction de la lumière avec les particules

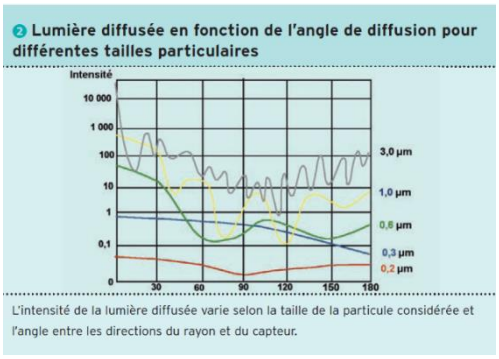


Figure C.2 - Relation entre l'intensité de la lumière et la taille des particules

C1.2 Instruments de mesure – normalisation

Nous avons vu que les particules émises lors d'un incendie forment un mélange complexe et très divers. Cela implique qu'il n'existe pas de techniques de mesure uniques ou de méthodes universelles pour les caractériser. Aussi, la combinaison de différentes méthodes pour la classification et la détection des particules conduit à deux grandes catégories d'instruments : les instruments à visée terrain et ceux de recherche qui requièrent un haut degré d'expertise. Ces deux mesures sont complémentaires.

L'utilisation de ces instruments est fonction de l'usage souhaité, du diamètre des particules, des limites d'utilisation… Dans le cadre des missions qui peuvent être dévolues aux SIS, nous allons nous intéresser à la métrologie en temps réel et donc à des méthodes de mesure instantanée de particules. Toutes ces technologies présentent des avantages et des inconvénients. L'avantage de la méthode optique, citée précédemment et basée sur la détection et l'analyse de la lumière diffusée par les particules, est son temps de réponse rapide, avec une lecture sur l'instrument. Néanmoins, il convient d'être vigilant quant aux limites des appareils et leurs interprétations, à savoir :

- la mesure est non spécifique, elle ne donne aucune indication sur la nature (composition chimique ou biologique) et sur la forme,
- l'humidité relative (RH) de l'air perturbe la mesure, par condensation, arcs électriques ou autre. De ce fait si nous avons une RH > ~ 70 %, la fiabilité de la mesure est médiocre et non fiable à l'approche de 90%,
- La représentativité est incertaine en concentration massique en rapport aux fractions particulaires. Les mesures sont indirectes et fonction d'un aérosol de référence, donc donne un résultat pouvant avoir une marge d'erreur de 30%.

La norme ISO 21501 – 4 a pour objectif de réduire les différences entre les appareils et donner des comptages justes. Cette norme technique s'adresse avant tout aux concepteurs / fabricants de compteurs de particules mais aussi aux laboratoires qui font des tests de conformité à la norme et ceux pratiquant la vérification métrologique de routine.

Il est à noter que plusieurs appareils existent sur le marché avec des fourchettes de prix importantes et des applications variées, telles que la qualité de l'air, les salles propres, la recherche développement, la santé au travail… (cf. annexe 9). Dans la suite de cette étude, nous allons nous intéresser aux compteurs à particules (COP) et aux photomètres, plus adaptés aux diamètres des particules recherchées.

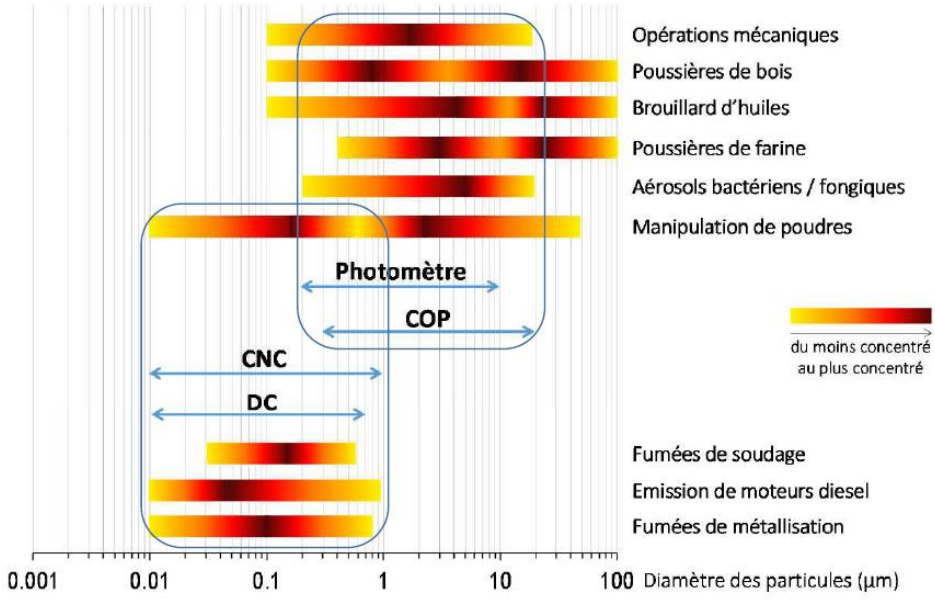


Figure C.3 – Gammes de tailles des aérosols et techniques de mesure en temps réel disponible (INRS)
COP : Compteur optique à particules / CNC : Compteurs de noyaux de condensation / DC : Chargeurs par diffusion

populations et comment les quantifier ?

C1.3 Instruments de mesure à visée terrain

Les compteurs optiques de particules (COP) :

Ils renvoient une information sur la concentration en nombre de particules (dans l'air) par classe granulométrique, et ainsi une estimation de la distribution granulométrique de l'aérosol. Tous les modèles les plus récents renseignent également l'utilisateur sur une estimation de la concentration en masse.

Un compteur optique de particules se compose des éléments suivants :

- Un capteur optique composé lui-même d'une source de lumière (diode laser), d'une optique collectrice et d'un détecteur (photodiodes PIN)
- Un système pneumatique, permettant de délivrer un jet d'air focalisé dans le volume sensible du capteur. Le débit le plus couramment utilisé est le pied cube / minute soit 28,3 L/min.
- Une électronique de traitement. Chaque particule passant devant le faisceau lumineux produit un signal proportionnel à la taille qui sera comptabilisé.

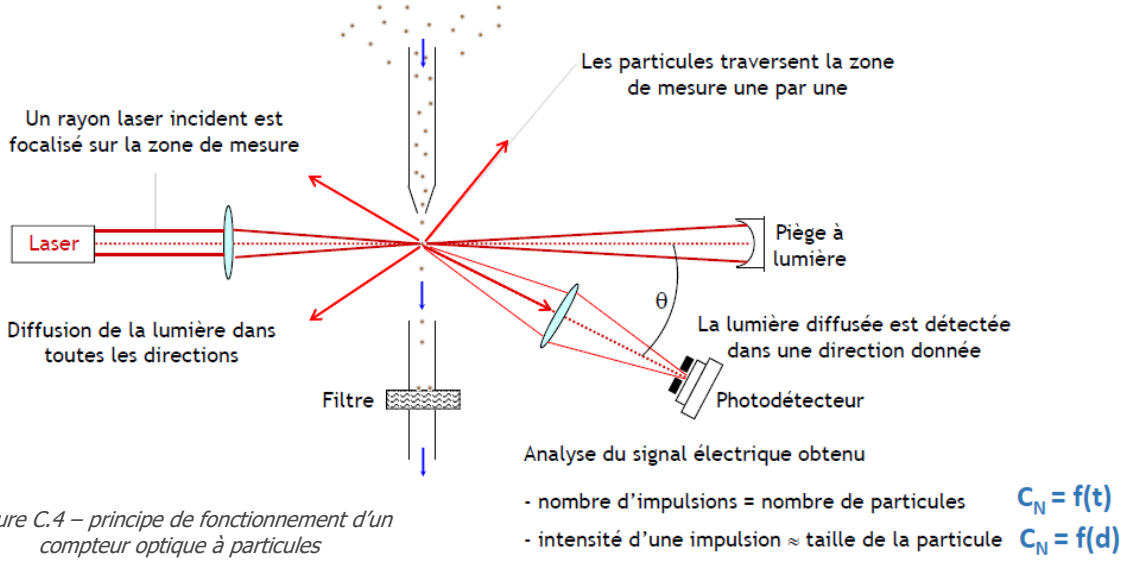


Figure C.4 – principe de fonctionnement d'un compteur optique à particules

La résolution de l'appareil permet de différencier deux particules ayants des dimensions très proches. L'illumination du faisceau, la forme du bec de canard dirigeant le jet d'air dans le volume sensible et la qualité de la focalisation de la lumière diffusée sont des paramètres importants pour la résolution. L'efficacité du comptage représente un pourcentage entre le nombre de particules détectées et le nombre réel de particules. Elle diminue lorsque l'on se rapproche de la plus petite taille mesurable. La sensibilité définit la dimension de la plus petite particule que le capteur peut détecter avec une marge d'erreur. Le paramétrage de l'appareil permettra de supprimer le « bruit de fond » traduisant les microparticules présentes dans l'air ambiant.

Les photomètres :

Ils renvoient une information sur la concentration en masse des particules (dans l'air) sans aucune mesure de la taille des particules. On a néanmoins (en général) accès à différentes fractions (PM_{10}, $PM_{2.5}$, par exemple), ce qui fournit une première idée de la répartition en taille des particules. Les photomètres sont utilisés pour mesurer les grosses particules de poussière avec une source de lumière et un détecteur. Contrairement aux autres méthodes, les photomètres sont basés sur la taille, la forme, la densité et la réflectivité des particules pour déterminer la quantité mesurée en mg/m^3.

L'information de la distribution en nombre des particules est indépendante de la nature des particules mesurées. Ainsi, s'il y a un mélange complexe de plusieurs natures de particules, l'appareil ne saura pas les distinguer. Cette incapacité est également valable pour la concentration massique fournie par les photomètres. Dans le cas des particules émises lors d'un incendie, les COP et les photomètres fourniront des données globales de concentration mais ne donneront aucune information sur la nature des particules.

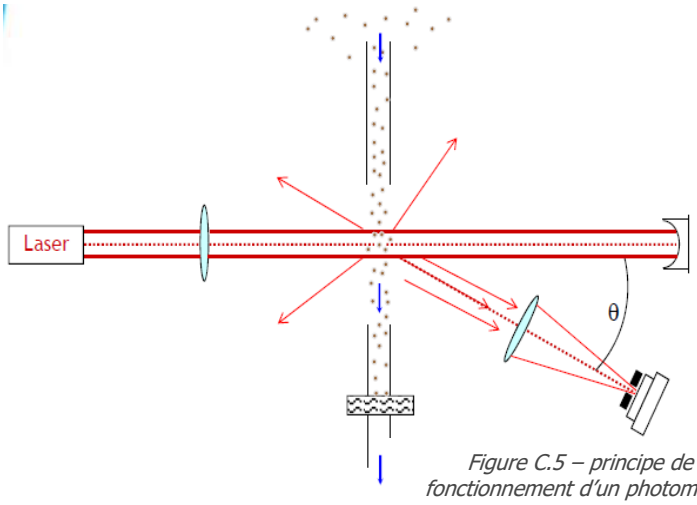


Figure C.5 – principe de fonctionnement d'un photomètre

Les photomètres présentent des limites hautes de concentrations généralement plus élevées (100 à 400 mg/m^3) que les compteurs optiques de particules. Différents modèles sont en annexe 10.

C2. Valeurs seuils

Il existe à ce jour des lignes directrices sur des seuils en PM_{10} et $PM_{2.5}$, qui peuvent varier selon la législation des pays. De plus, les effets liés à l'inhalation de ces particules sont variables selon les individus, leur exposition et la nature des particules. Les différents seuils repris dans les législations et études sont principalement en masse et non en nombre de particules. Dans un souci de cohérence, les différentes valeurs qui suivront seront donc en masse de particules. Aussi, afin de proposer des valeurs pragmatiques, il a été nécessaire de balayer les pratiques ou constats à l'échelle internationale.

C2.1 Contexte réglementaire

Lignes directrices et recommandations :

Dans la plupart des pays, des recommandations ou lignes directrices sont fixées sur la qualité de l'air, notamment sur les PM_{10} et $PM_{2.5}$. La majorité de ces valeurs sont rapportées soit pour des expositions à long terme (moyenne annuelle) soit pour des expositions à court terme (moyenne sur 24 heures). D'un point de vue réglementaire, aucune mesure à très court terme (1 heure) n'existe à ce jour.

Ci-après les lignes directrices de l'OMS et les valeurs réglementaires de l'Union Européenne :

	Valeurs Guides de l'OMS	Valeurs réglementaires de l'Union Européenne
PM_{10}	20 µg/m^3 en moyenne annuelle 50 µg/m^3 en moyenne journalière	40 µg/m^3 en moyenne annuelle 50 µg/m^3 en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an
$PM_{2.5}$	10 µg/m^3 en moyenne annuelle 25 µg/m^3 en moyenne journalière	20 µg/m^3 en moyenne annuelle (depuis 2020)

Les valeurs indicatives des $PM_{2.5}$ sont converties en valeurs indicatives correspondantes de PM_{10} par l'application d'un rapport $PM_{2.5}/PM_{10}$ de 0,5, typique d'une zone urbaine d'un pays en développement et qui se situe à l'extrémité inférieure de la fourchette trouvée dans les zones urbaines des pays développés (0,5 – 0,8). De plus, l'OMS précise qu'une concentration de PM_{10} de 150 µg/m^3 devrait se traduire par une augmentation de 5 % de la mortalité journalière (détail en annexe 11).

En France, la qualité de l'air est suivie par les indices ATMO, notamment les PM_{10} et $PM_{2.5}$ sur une moyenne journalière (intégration des $PM_{2.5}$ en date du 1er janvier 2021) de la sorte :

		Bon	Moyen	Dégradé	Mauvais	Très mauvais	Extrêmement mauvais
Moyenne journalière	PM2.5	0-10	10-20	20-25	25-50	50-75	>75
Moyenne journalière	PM10	0-20	20-40	40-50	50-100	100-150	>150

Figure C.6 – valeurs des seuils journaliers en PM10 et PM2.5 suivies en France

Valeurs limites d'exposition connues :

L'INRS évoque des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) pour 8 heures à 5 000 µg/m³ pour des poussières réputées sans effet spécifique concernant la fraction alvéolaire, ce qui n'est pas le cas des PM produites lors des incendies. De plus, un poste de travail dépassant les 1 000 µg/m³ est considéré comme une situation dégradée !

Néanmoins, nous savons que les particules émises lors des incendies contiennent en proportion majoritaire du carbone organique et du carbone élementaire (noir de carbone). La VLEP du noir de carbone est à 3 500 µg/m³. Hors le NIOSH, qui évoque une TWA également à 3 500 µg/m³ ramène la TWA à 100 µg/m³ dès lors que le noir de carbone comportent des HAP, ce qui est le cas lors des incendies.

Aussi, et par pure extrapolation et similitude avec les VLEP pour une durée d'exposition de 8 heures, il peut être possible d'associer la limite d'une zone de soutien à 100 µg/m³ pour les particules grossières, à savoir les PM_{10}.

Pratiques à l'internationale :

Aux USA et aux Royaume-Uni, les $PM_{2.5}$ sont suivies dans le cadre des indices liés à la qualité de l'air. Ces derniers sont également déclinés en 6 niveaux, à l'instar des indices ATMO. La norme sanitaire est de 35 µg/m³ sur 24 heures. Au dela de cette valeur, des recomandations sont mises en œuvre pour les personnes sensibles.

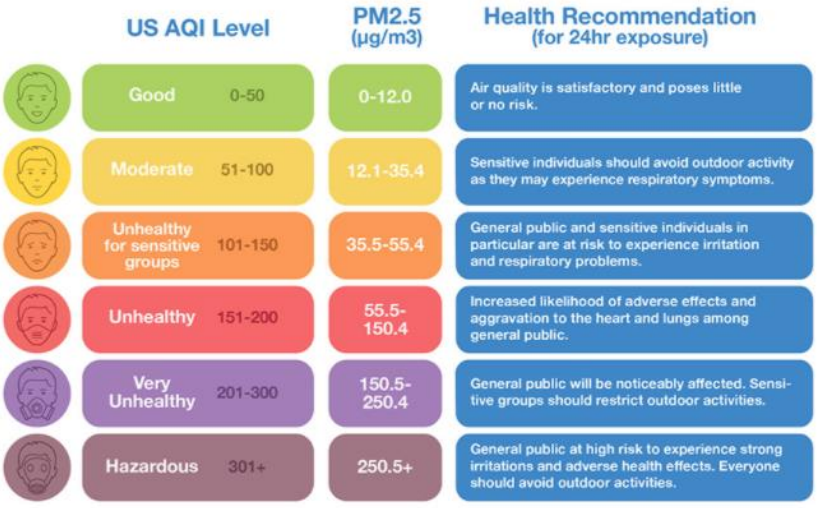


Figure C.7 – Indice qualité de l'air PM2.5 aux USA pour 24h

Entre 150 et 250 µg/m³, correspondant au niveau de « très mauvais », il est considéré que toute la population est plus susceptible d'être affectée. Et qu'au-delà de 250 µg/m³, le niveau est dangereux et que tout le monde peut ressentir des effets sur la santé plus graves.

Les USA, régulièrement exposés aux feux de forêts, ont développé des fiches de recommandations pour les écoles et personnes vulnérables, qui sont basées sur la visibilité (exemple en annexes 12 et 13). A compter de 150 µg/m³ les activités doivent être déplacées à l'intérieur des bâtiments, et les évènements impliquant une activité physique extérieure doivent être annulés. A 250 µg/m³, il est envisagé de fermer les écoles, d'annuler les événements extérieurs et d'évacuer les populations à risques.

C2.2 Approche de terrain

A l'heure de la rédaction de ce mémoire, les relevés terrain des particules sur incendie sont très faibles. Quelques SIS travaillent sur cette thématique avec quelques retours pragmatiques, que nous pouvons extrapoler afin de donner une première orientation, mais qui ne peut se substituer à une future étude scientifique qui devra modifier ou confirmer ces valeurs.

Bruit de fond :

Comme évoqué en début de mémoire, les particules sont présentes dans notre environnement au quotidien. Aussi, il convient de mesurer le « bruit de fond » en amont des mesures souhaitées sur opération, qui fera office de mesure témoin. Ci-dessous les concentrations moyennes annuelles mesurées en Europe en 2004. Dans l'intervalle, il est à noter que la qualité de l'air tend à s'améliorer de manière générale.

Environnement	Naturel (distance >50 km de source importante)	Rural (distance comprise ne 10 et 50 km de source importante)	Péri-urbain (distance comprise entre 3 et 10 km de source importante)	Urbain (axe routier <2500 véhicules/jour dans un rayon de 50m)	Proche trafic (trottoir)
PM2.5	5	10-15	20-25	20-35	25-35
PM10	5-15	10-25	25-40	25-45	40-50

Figure C.8 – Exposition par inhalation aux aérosols mesurée en 2004 (bruit de fond) - INERIS

Relation PM et visibilité :

Les particules sont les principales responsables de la diminution de la visibilité autour des incendies. C'est pourquoi, afin de mesurer la concentration en PM dans l'air, des comparaisons sont faites suivant la visibilité observée. Sur ce tableau les mesures sont valables autant pour les PM_{10} que les $PM_{2.5}$.

Qualité de l'air	Visibilité en Km	Concentration en PM (moyenne sur 1 heure, µg/m³)
Bonne	15 Km et plus	0 – 40
Moyenne	10 à 15	41 – 80
Mauvaise pour personnes sensibles	5 à 10	81 – 175
Mauvaise	2,5 à 5	176 – 300
Très mauvaise	1,5 à 2,5	301 – 500
Dangereuse	Moins de 1,5	> 500

Figure C.9 – Relation entre la visibilité et la concentration en PM sur feux de forêts - (EHESP)

Seuil de perception :

A l'instar des gaz, nous avons réfléchi également sur un possible seuil de perception olfactif des particules. Lors de l'expérience des brûlages d'émulsions en mer propre de l'Alaska en 1994, les personnes mesurant la fumée au niveau du sol ont constaté qu'il était difficile de voir ou de sentir la fumée à des concentrations inférieures d'environ 100 µg/m³. A l'occasion d'une intervention du SDIS 77 pour incendie, une gène olfactive a été ressenti à 1 000 µg/m³ en PM_{10} sur une heure. De plus, à l'occasion d'un feu d'installation électrique, le SDIS 17 a constaté un début de gène olfactive sur des mesures avoisinant 550 µg/m³ en PM_{10} et 280 µg/m³ environ en $PM_{2.5}$.

C2.3 Approche prédictive sur une heure

Le service de qualité de l'air dans les incidents majeurs (AQinMI) du Royaume Uni a mené une étude sur l'évolution des concentrations amibantes de PM_{10} et $PM_{2.5}$ lors de 23 incendies industriels majeurs et leurs répercussions sanitaires. Les conclusions qui en résultent sont que les concentrations moyennes varient :

- de 38 à 1 450 µg/m^3 pour les PM_{10} avec un pic de concentration supérieur à 6 500 µg/m^3 sur 15 min
- de 7 à 258 µg/m^3 pour les $PM_{2.5}$ avec un pic de concentration supérieur à 650 µg/m^3 sur 15 min

En l'absence de valeurs guides à très court terme (15 min à 1 h) pour les PM_{10} et $PM_{2.5}$, le service britannique a analysé la relation entre les valeurs seuils d'une heure et de 24h, afin de que les premières puissent être utilisées comme valeurs prédictives d'une exposition à plus long terme et donc obtenir une réponse de santé publique.

Pour les PM_{10}, l'étude propose de retenir le seuil de 510 µg/m3 par heure, ce qui donne une probabilité de 95 % d'atteindre des seuils de 160 µg/m3 sur 24h (seuil de fermeture des établissements scolaires) et 82 % d'atteindre des seuils de 320 µg/m3 sur 24h (seuil d'évacuation des populations).

Pour les $PM_{2.5}$, l'étude propose de retenir le seuil de 350 µg/m3 par heure, ce qui donne une probabilité de 100 % d'atteindre des seuils de 71 µg/m3 sur 24h (seuil de premiers symptômes et cible intermédiaire de l'OMS) et 82 % d'atteindre des seuils de 150 µg/m3 sur 24h (fermeture des établissements scolaire et l'annulation des événements extérieurs impliquant une activité sont envisagées aux USA).

Les courbes prédictives sont en annexe 14. De plus, le SDIS 76 a élaboré sur la base des mêmes documents, un inventaire des valeurs guides (annexe 15).

C3. Approche opérationnelle

Nous n'avons pas connaissance d'un retour d'expérience sur la réalisation d'un réseau de mesure de PM_{10} et $PM_{2.5}$ sur incendie en France. Cependant, la réalisation d'un tel réseau de mesures est un sujet prégnant pour lequel le nombre d'acteurs peut être important mais n'intervenant pas dans le même espace temps de l'intervention et pour lequel une réelle reflexion capacitaire doit être identifiée sans en oublier l'interprétation des données.

Les acteurs possibles :

De manière générale, les différents acteurs peuvent être :

- Les SIS dans le cadre d'un réseau de mesure, sous reserve de matériel adapté permettant de mesurer les PM,
- Les moyens de sécurité civile (les VDIP entre autre),
- L'industriel, pour ceux étant équipés de matériels pouvant identifier les substances produites sur leur établissement,
- Le réseau ATMO, de par leurs capteurs fixes pouvant donner une indication en terme de bruit de fond et éventuellement des mesures, sous réserve que ces stations soient dans la zone de mesures souhaitées. Il est à noter qu'un projet interne au réseau ATMO envisage le développement d'une force d'interventon rapide afin de projeter des stations mobiles sur le terrain,
- Le réseau des intervenants en post accidentel (RIPA) mobilisable par la DREAL dans le cadre d'évènements concernant les installations classées.

Les acteurs identifiés ci-dessus n'ont pas la même réponse opérationnelle en terme de délais de mobilisation, certains intervenant en phase d'urgence et d'autres en phase post accidentel. Les SIS étant dans la phase d'urgence, et bien souvent les seuls sur les premières heures d'un sinistre, il peut

être intéressant de proposer une solution pragmatique afin d'apporter une première réponse relative à la protection des populations face à une émission de microparticules émise lors d'un incendie. La fiche synthèse (annexe 16) permet de donner une conduite opérationnelle possible, qui se veut pragmatique et fonction de l'état des connaissances actuelles.

L'interprétation des mesures :

Comme évoqué dans ce mémoire, nous avons des premières valeurs seuils prédictives pour une durée d'exposition d'une heure. A ce stade, ces valeurs doivent être confirmées ou modifiées par de futures études afin de compléter les données sur ce sujet. De plus, nous pouvons donner une masse de particules prélevée sans pour autant identifier précisemment leur nature, hormis le fait que le carbone est une composante importante et peut être assimilé de manière symbolique à un PID de particules.

Aussi, afin de poursuivre les recherches et compléter nos connaissances, nous proposons que des études soit envisagées afin de :

- Accroitre les mesures en PM_{10} et $PM_{2.5}$ émises sur incendie, notamment sur les premières heures, permettant de recueillir des mesures terrain et les confronter aux études scientifiques et/ou expérimentales
- Réaliser des prélèvements sur incendie afin d'identifier la composition des particules, notamment les particules secondaires

Bien que des études soient en cours, ou à venir, à l'INRS et à l'INERIS sur le sujet des microparticules émises lors d'un incendie, les relevés terrain, qui auraient un protocole de mesure et de prélevement commun validé en amont, seraient complémentaires.

Rôle des SIS :

Au regard de la photographie des SIS ci-après, de l'état de l'art à l'heure de la rédaction de ce mémoire, nous nous sommes interrogés sur le rôle des SIS dans la prise en compte des mircoparticules émises sur incendie. Ce sujet peut apparaitre comme une menace, de par la prise en compte d'un sujet émergent et avoir le ressenti qu'il ne rentre pas dans le champ de compétences des SIS. Nous l'intégrons plutôt comme une opportunité, afin de proposer une réponse pragmatique sur opérations en phase d'urgence.

Dans ce cadre, une démarche capacitaire à l'echelle départementale, zonale, voire nationale peut être envisagée afin d'identifier les acteurs ayant les capacités de réaliser des prélévements de microparticules suite à un incendie, dans un délai acceptable.

Cette approche peut permettre de conseiller les autorités sur une posture opérationnelle envers des établissements sensibles (écoles, établissements pour personnes agées …), ou activités extérieures concernés par le sinistre, mais encore peut s'intégrer au profit de la sécurité des intervenants en zone de soutien notamment (poste de commandement, soutien opérationnel …).

D. Etat des lieux dans les SIS

Un questionnaire (annexe 17) relatif à la prise en compte des microparticules été diffusé à tous les CTD via les CTZ. Au moment de l'analyse 33 SDIS ont répondu.

Les 33 SDIS constitueront notre base 100 pour les analyses en pourcentages. Ils ne représenteront que le tiers des SDIS de France

A la question relative à la réponse opérationnelle sur la prise en compte des microparticules (hors particules radioactives) émises lors d'un incendie, pour la santé des populations (hors SP, PATS), à ce jour, ***65% des SDIS ne prennent pas ou que très faiblement en compte ces microparticules***.

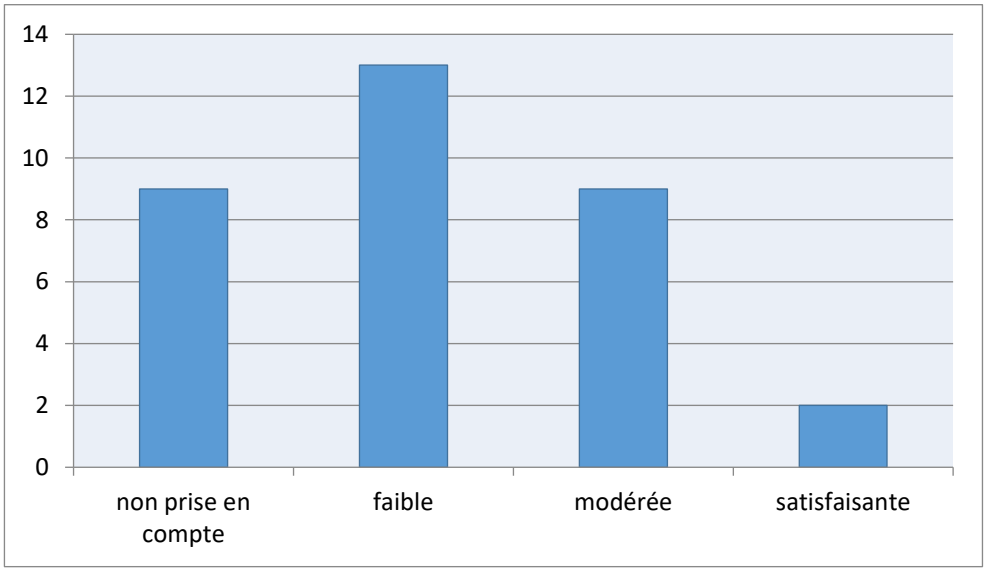


Figure D.1 – Prise en compte de la réponse opérationnelle des microparticules au sein des SDIS

Cependant, 28 SDIS sur 33 estiment que les microparticules émissent lors d'un incendie vont devenir un enjeu dans les années à venir. En conséquence, la réponse opérationnelle est susceptible de connaitre une évolution significative tant sur le volet technique que sur les procédures opérationnelles. Sur des feux significatifs, la prise en compte des fumées d'incendie dans la conduite opérationnelle est relativement ancrée.

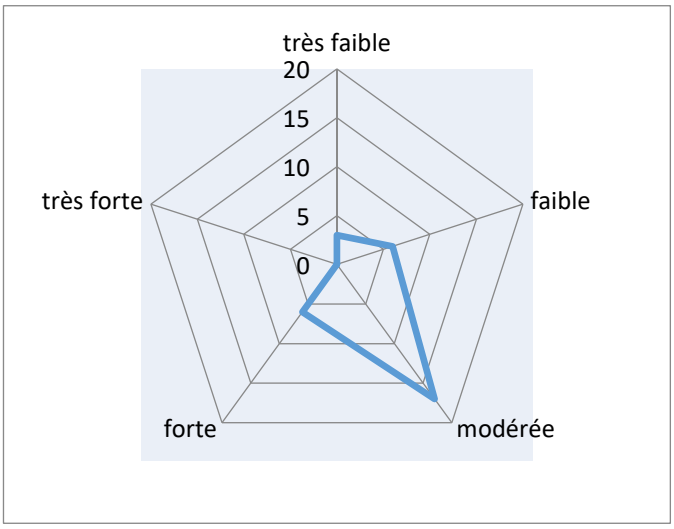


Figure D.2 – Prise en compte des fumées d'incendie dans la conduite opérationnelle

Cependant, les SDIS rencontrent des difficultés dans la mise en œuvre de leurs actions. En effet, le choix de la technologie vis-à-vis du toxique, la précision de la mesure, la fiabilité technologique, ne permettent pas au COS de prendre facilement une décision dans tous les cas.

En effet, la quasi-totalité des départements utilisent la technologie par ionisation à 10.6eV, celle des tubes colorimétriques et les cellules électrochimiques (HCN, HF, HCL, SO_2, NO_2). Ces technologies permettent de mesurer un produit recherché, sans pour autant identifier et quantifier tous les toxiques présents.

De cette analyse, nous pouvons en déduire que la prise de conscience des fumées d'incendie a fait son chemin dans le collectif des sapeurs-pompiers, comme le démontre à juste titre les procédures sur leurs toxicités. Sur intervention, la demande du COS est orientée vers la toxicité des gaz de combustion pour 24 départements contre seulement 6 pour les microparticules. Cette problématique reste encore méconnue et sous-estimée par les autorités. En, effet, le retour des SDIS souligne que l'on se préoccupe davantage de ce qui est visible (fumée) que de ce qui l'est moins. La mise en lumière suite à des événements de grande ampleur tend à les placer plus au-devant de la scène, créant de facto une prise de conscience plus ou moins forte dans les SDIS. Cette prise de conscience reste à pondérer, compte tenu que certains départements restent avant gardistes au regard de leur sensibilité en la matière. En effet, 71% des SDIS ayant répondu n'ont pas connaissance d'une capacité d'évaluation des microparticules dans leurs départements. 20% ont connaissance d'organismes extérieurs aux SDIS et seulement 9% ont une capacité en interne à évaluer cette problématique (extrait de la fiche technique du compteur à particule du SDIS 76 en annexe 18). Ce dernier pourcentage intègre la mutualisation interdépartementale. Une première lecture permet d'avancer qu'au niveau des services d'incendie et de secours, la réponse est faible, voire très faible, mais la tendance est à la mutualisation de la ressource.

Enfin, la prise en compte de la toxicité des fumées au travers nos appareils de mesures décrits précédemment, permet de mesurer certains gaz. Valeurs que nous pouvons corréler avec des valeurs toxicologiques. Le tout, en gardant à l'esprit toutes les marges d'erreurs connues (limites de l'appareil, qualité du réseau de mesures…). Or, comme nous avons pu le mettre en exergue dans notre mémoire, la quantification, l'expertise technique des microparticules émises lors des incendies n'est qu'à ses prémices et cela en situation d'urgence face aux enjeux politiques, médiatiques, et sanitaires.

Conclusion

Ces dernières années, les attentes de la population, des médias et des autorités évoluent. La prise en compte des fumées d'incendie et des particules émises devient une préoccupation sociétale grandissante. Bien que les informations et les données sur les fumées produites lors d'incendies commencent à être documentées afin d'y apporter une réponse opérationnelle, l'état de l'art est tout autre sur les microparticules émises lors d'un incendie.

Les microparticules émises lors d'un incendie ont bien un impact sanitaire sur les populations. Cependant, leurs impacts restent difficilement quantifiables, car bon nombre de facteurs influe sur leur formation, leur recomposition et leur dispersion. L'ensemble de ces facteurs modifie la dangerosité des microparticules, notamment la composition des particules secondaires, sans pour autant savoir l'évaluer précisément qualitativement. Effectivement, nous savons que les microparticules peuvent jouer le rôle du cheval de Troie pour ceux qui les respirent, et avoir in fine un impact sanitaire, notamment pour les plus fragiles.

De plus, en phase d'urgence opérationnelle, les SIS sont bien souvent les premiers acteurs sur les premières heures d'un incendie et il est dans cette phase important d'apporter des réponses sur la posture opérationnelle à prendre dans le cadre de la protection des populations.

Afin d'apporter une réponse globale, une réflexion capacitaire sur les moyens pouvant être mis à disposition, que ce soit à l'échelle départementale, zonale voir nationale peut être engagée. De plus, il nous est apparu intéressant d'avoir une prise de conscience de cette thématique, que les SIS restent en état de veille sur ces sujets, sachant que des études sont en cours ou à venir par l'institut national de l'environnement industriel et des risques.

Enfin, il est indéniable que des études scientifiques et des partenariats devront être menés afin d'améliorer notre niveau de connaissance sur la composition des particules émises lors d'incendies, afin de pouvoir adapter le niveau de réponse opérationnelle le cas échéant, aussi bien pour la population, que pour les intervenants pouvant être exposés sur différentes typologie d'incendies.

Définitions

Les effets à court terme :

Effets survenant dans les quelques jours suivant une exposition à une pollution, responsable d'une aggravation aigue de l'état de santé ou d'exacerbations de pathologies (ou maladie) chronique. Ces aggravations pouvant se manifester par des symptômes conduisant à un recours aux soins, à des hospitalisations voire à des décès.

Les effets à long terme :

Développement de pathologie chronique (respiratoire, cardio vasculaire, neurologiques) persistants pouvant dans les cas les plus graves conduire au décès.

Diamètre aérodynamique moyen d'une particule :

Diamètre d'une sphère de masse volumique 1g/cm3, possédant la même vitesse de chute dans l'air calme que la particule réelle considérée.

Fraction inhalable :

Fraction massique des particules totales en suspension dans l'air pouvant être inhalée par le nez et la bouche. La fraction inhalable dépend entre autres de la vitesse de la direction du gaz contenant les particules, de la fréquence respiratoire et de l'orientation de la personne dans le flux de gaz.

Fraction extra thoracique :

Fraction massique des particules inhalées qui ne peuvent pas pénétrer au-delà du larynx.

Fraction thoracique :

Fraction massique des particules pénétrant au-delà du larynx.

Fraction trachéobronchique :

Fraction massique des particules inhalées pénétrant au-delà du larynx mais ne pénétrant pas dans les voies aériennes non ciliées (alvéoles).

Fraction alvéolaire :

Fraction massique des particules inhalées qui pénètrent dans les voies aériennes non ciliées (région profonde de l'appareil respiratoire).

Particulate Matter (PM) :

Ensemble des particules en suspension dans l'atmosphère terrestre.

Risques Relatifs :

Lien entre un polluant et effet sur la santé estimé par des études épidémiologiques exprimées sous forme de fonction exposition {à court ou long terme} /risque.

Thermophorèse, force Thermo phorétique :

Mouvements des particules dûs à un gradient de température.

Liste des figures

A.1 : Voies d'émission des incendies p.9

A.2 : Schéma sur la composition générale possible des microparticules présentes dans l'air p.10

A.3 : Schéma sur la taille comparative d'un grain de sable, cheveux et PM p.11

A.4 : Dimensionnement des différentes particules p.11

A.5 : Illustration schématique des processus physico-chimique mis en jeu lors de la formation de particules de suie p.12

A.6 : Image de particules de suie p.12

A.7 : Pouvoir fumigène des matériaux en fonction du motif des molécules p.13

A.8 : Représentation respectivement d'une particule fractale, d'une particule compacte et d'une particule fractale avec une phase adsorbée p.14

A.9 : Illustration schématique des différents phénomènes d'interaction physico-chimique pouvant engendrer une modification de la morphologie des particules émises en situation d'incendie p.14

A.10 : Isothermes d'adsorption p.15

A.11 : Schéma d'adsorption p.15

A.12 : Schéma du comportement des aérosols dans l'air p.17

A.13 : Exemple de panaches de fumée des incendies de bâtiments (fumée grise) et des feux de pétrole (fumée noire) et de l'impact régional du panache de feu au-dessus de Londres, incendie du dépôt de pétrole de Buncefield de 2005 p.18

A.14 : Illustrations schématique/photographique du phénomène de transport thermophorétique lors d'un dépôt de particules p.18

A.15 – Relation entre le temps pour doubler le diamètre moyen de l'aérosol et celui pour réduire de moitié la concentration en masse p.19

A.16 – Tableau synthétique des prédictions des étendues sous le vent des concentrations moyennes de $PM_{2.5}$ p.19

B.1 - Les modes de pénétration dans l'organisme p.20

B.2 - Définition des fractions de pénétration des particules p.20

B.3 - Parties des voies respiratoires et fraction de dépôt Oberdorster p.21

B.4 - Courbes conventionnelles de pénétration des particules p.22

C.1 – Interaction de la lumière avec les particules p.25

C.2 - Relation entre l'intensité de la lumière et la taille des particules p.25

C.3 - Gammes de tailles des aérosols et techniques de mesure en temps réel disponible p.26

C.4 - Principe de fonctionnement d'un compteur optique à particules p.27

C.5 – Principe de fonctionnement d'un photomètre p.28

C.6 – Valeurs des seuils journaliers en PM10 et PM2.5 suivies en France p.29

C.7 – Indice qualité de l'air PM2.5 aux USA pour 24h p.29
C.8 – Exposition par inhalation aux aérosols mesurée en 2004 (bruit de fond) p.30
C.9 – Relation entre la visibilité et la concentration en PM sur feux de forêts p.30
D.1 – Prise en compte de la réponse opérationnelle des microparticules au sein des SDIS p.33
D.2 – Prise en compte des fumées d'incendie dans la conduite opérationnelle p.33

Bibliographie

Guide de doctrine opérationnelle, prévention des risques liées à la toxicité des fumées, version 2- 2020 – DGSCGC

Rapport d'étude Oméga 16, toxicité et dispersion des fumées d'incendie – 2005 – INERIS

Normes ISO 26367-1 et -2, Lignes directrices pour déterminer l'impact environnemental des effluents du feu - 2019 AFNOR

Pollution sur les particules dans l'air ambiant – 2009 – AFFSET

Particules de l'air ambiant extérieur – 2019 – ANSES

Bilan de la qualité de l'air en France 2019 – 2020 – Ministère de la transition écologique

Pollution chimique de l'air des enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs – 2015 – ANSES

La vérification métrologique des compteurs de particules aériens – brochure internet

La métrologie des compteurs optiques de particules aéroportées – brochure internet

Veille technologique sur les capteurs pour les mesures de polluants de l'air ambiant – 2019 – LCSQA

Exposition par inhalation aux aérosols – 2004 – INERIS

Les indicateurs ATMO – 2020 – site internent ATMO

Polluant par les particules en air ambiant – 2012 – Haut conseil de la Santé Publique

Article scientifique « Environment international » A study of particulate emissions during 23 major industrial fires : Implications for human health - 2018 – Elsevier, Simon D. Griffiths, Philip Chappell, Jane A. Entwistle, Frank J. Kelly, Michael E. Deary

Effets du feu sur les personnes – 2006 – LNE, M. Eric Guillaume

Emission factors for PM10 and PAHs from illegal burning of different types of municipal waste in households – 2020- Atmospheric Chemistry and physics

Norme ISO 29904 chimie de la combustion – 2013 – AFNOR

Les impacts sanitaires des particules liées aux incendies de forêt – 2013 - Institut National Santé Publique Québec

Risque sanitaire feux de biomasse – 2011 - Ecole haute études en santé publique, Hardiesse NDEDY DICKA, Hélène SAINTOBERT, Judith TRIQUET

Présentation générale du contexte PM – site internet, notre planète info.fr

Composition chimique des PM – site internet, irceline.fr

Lixiver les particules / Springer Template final – 2020 – M. Eric Guillaume

Smoke Plume Trajectory from In Situ Burning of Crude Oil in Alaska – 2011 – National Institute of Standards and Technology

Health and Environmental Consequences of the World Trade Center Disaster – 2004 – Workgroup Report

Effets sanitaires liées à la pollution générée par les feux de végétation à l'air libre – 2012 – ANSES

Guide sur la stratégie de prélèvements et d'analyses à réaliser suite à un accident technologique – 2015 – INERIS

Fiche technique Adsorption ED 4263 2006 – INRS

Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP – 2013 – OMS

Impact des aérosols émis lors d'un incendie sur le confinement des installations nucléaires – 2016 – IRSN – M. François-Xavier OUF

Note de service sur la toxicité des fumées – 2019 – SDIS 26

Publication INRS - Métrologie en temps réel des substances chimiques au poste de travail – 2015 – INRS

Eléments généraux sur les principes de fonctionnement de compteurs de particules – 2020 – INRS – M. Xavier SIMON

Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air – 2005 – OMS

Les fumées des feux de forêts aux USA – 2019 - AQI

Annexes

Annexe 1 – Caractéristiques des différentes sources d'émissions de particules primaires naturelles (Thèse du docteur Benoît BRANDELET – 2016)

Annexe 2 – Facteurs d'émission pour les PM10 provenant de la combustion de déchets présents dans les ménages (Atmospheric Chemistry and Physics – 2020)

Annexe 3 – Données sur les émissions des incendies de logements (Extrait de la norme NF ISO 26367-2)

Annexe 4 – Composition des fumées d'incendie par secteur d'activité (Extrait de la note du SDIS26 – 2019)

Annexe 5 – Synthèse de seuils toxicologiques (AEGL) des gaz recherchés dans les fumées

Annexe 6 – Influence des conditions météo sur la diffusion des $PM_{2.5}$ en Alaska

Annexe 7 – Résumé des études sur les effets sanitaires des feux de végétation et sur l'association entre particules issues de feux de végétation et évènements de santé de 2001 à 2012

Annexe 8 – Synthèse des preuves accumulées et des niveaux sanitaires des composés des particules de l'air ambiant à partir d'études chez l'Homme

Annexe 9 – Représentation d'instruments de mesures en temps réel disponibles

Annexe 10 – Exemples de photomètres

Annexe 11 – Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air et cibles intermédiaires pour les particules (moyennes annuelles et 24 heures)

Annexe 12 – Recommandations pour la pratique des activités physiques extérieures lors de feux de forêts (USA)

Annexe 13 – Conseils de santé publique pour les activités de plein air dans les écoles pendant les incendies de forêt (Etat de l'Oregon - USA)

Annexe 14 – Courbes prédictives pour des valeurs seuils en PM_{10} et $PM_{2.5}$ sur 1 heure (Article scientifique du service britannique AQinMI - 2018)

Annexe 15 – Inventaire des valeurs guides et valeurs de références en matière de concentrations en poussières et particules en suspension – SDIS 76

Annexe 16 – Infographie de synthèse

Annexe 17 – Questionnaire envoyé aux conseillers techniques RCH

Annexe 18 – Extrait de la fiche technique du compteur à particules du SDIS 76

Annexe 19 – Résumé pour le PNRS

Annexe 1 – Caractéristiques des différentes sources d'émissions de particules primaires naturelles (Thèse du docteur Benoît BRANDELET – 2016)

Origine	Caractéristiques	Référence
Marines (évaporation d'eau contenant des sels dans les océans)	Masse émise: $1{,}3.10^{9}$ tonnes par an	Seinfeld [59]
	Composition: Cl: 55%; Na: 31%; Sulfates: 8%; Mg: 4%; Ca: 1%; K: 1%	
	Plus les particules sont fines, plus la fraction organique est importante	Cavalli [61]
Terrigènes (envolées de sables et de terres)	Masse émise: $1{,}5.10^{9}$ tonnes par an	Seinfeld [59]
	Particules de grandes tailles (>1 µm)	
	Composition: Silicium, Aluminium, Fer, Calcium, Sodium, Potassium, agnésium, …	
Feux de forêt (combustion de biomasse conduisant à des envolées de cendres et des particules carbonées)	Masse émise: 10.10^{9} tonnes par an (au site le plus impacté)	Seinfeld [59]
	Composition: Très variable selon le combustible (type de bois, structure, composition chimique, humidité, comportement au feu..) mais aussi selon la météorologie et la topographie	Christian [62]
		Urbanski [63]
Biogéniques (spores, pollens, poussières d'abrasion des végétaux et les bactéries)	Masse émise: non déterminée	X
	Selon la météorologie les aérosols biogéniques représentent de 2 à 50% des aérosols dans l'air d'un diamètre supérieur à 0,2 µm.	Jaenicke [64] Battarbee [65]
	La majorité des aérosols biogéniques compris entre 2 et 10 µm sont des spores fongiques	Glikson [66]
Volcaniques (envolées de cendres et de divers éléments lors d'une éruption)	Masse émise: 3.10^{7} tonnes par an	Seinfeld [59]
	Composition: particules acides, Sulfates, Ammonium, Potassium, Sodium, Cuivre, Plomb, Cadmium, Sélénium, Arsenic, Bismuth	Mather [67] Nriagu [68]

Annexe 2 – Facteurs d'émission pour les PM_{10} provenant de la combustion de déchets présents dans les ménages (Atmospheric Chemistry and Physics – 2020)



Figure 1 Échantillons de déchets solides préparés pour les essais de combustion.

PET : Polyéthylène téréphtalate

PS : Polystyrène

PP : Polypropylène

PE : Polyéthylène

PVC : Polychlorure de vinyle

PU : Polyuréthane

ABS : Acrylonitrile-butadiène-styrène (polymère thermoplastique)

RAG : Chiffons

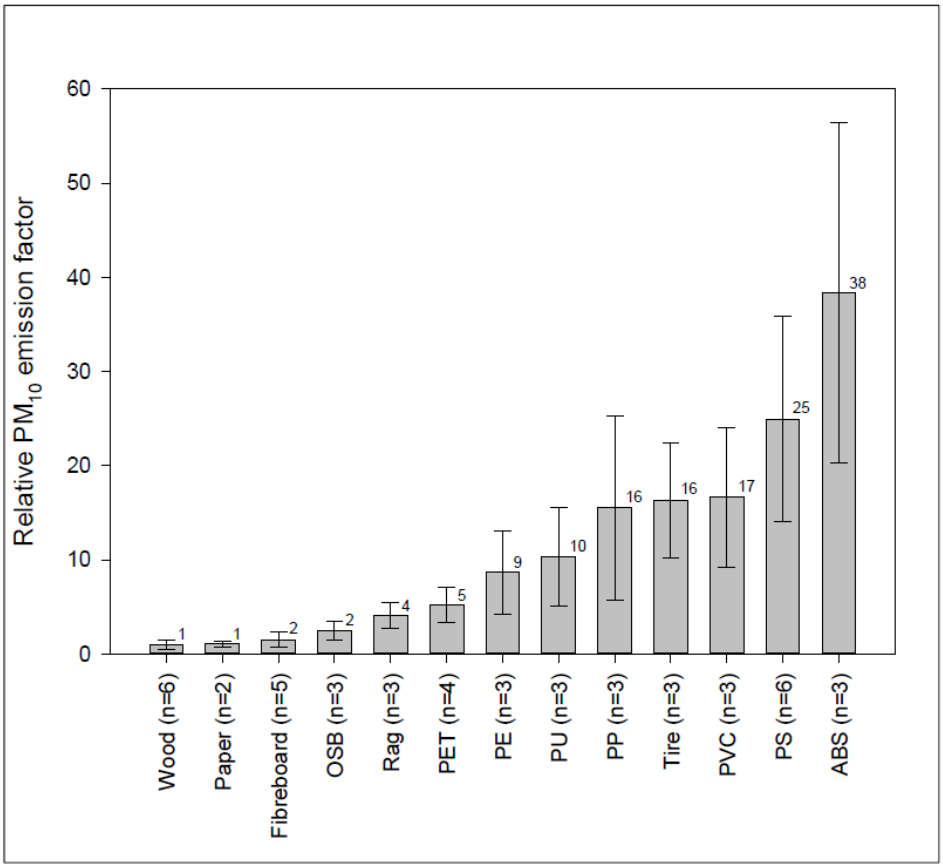
TR (Tire) : Pneus

PAP : Papier

LDF : panneaux de fibres mélaminées

OSB : panneaux à copeaux orientés

WOOD : Bois de chauffage



Facteurs d'émission de PM_{10} pour la combustion de différents types de déchets par rapport à la combustion de bois de chauffage sec avec un dispositif expérimental fixe

Annexe 3 – Données sur les émissions des incendies de logements (Extrait de la norme NF ISO 26367-2)

Incendie	Milieu	Niveaux des principaux polluants toxiques quantifiés
Série de 3+3 essais avec des pièces entièrement meublées[9][10]	Gaz de fumées	Gaz inorganiques: CO_2 ~ 900 g/kg; chlorure d'hydrogène (HCl) ~ 1,0 g/kg Composés organiques volatils (COV): benzène ~ 1,0 g/kg; toluène, phénol, styrène, benzonitrile ~ 0,1 g/kg chaque HAP: ~ 1,0 g/kg, ayant ~ 0,02 g/kg BaP-TEQ PCDD/PCDF: 0,0022 µg/kg à 0,033 µg/kg TCDD-TEQ (OMS-1998) (en taux de perte massique)
Les hydrocarbures chlorés toxiques (PCB, benzènes et PCDD/ PCDF) et les HAP ont été examinés dans le gaz de combustion et les échantillons de dépôt de suie issus des incendies d'habitations simulés[11].	Gaz de fumées	Les concentrations de ces substances étaient élevées pendant les incendies, les quantités de PCDD/PCDF dans le gaz de combustion variant de 1,0 ng/m³ à > 7,2 ng/m³ (I-TEQ) et celles des HAP de 6,4 mg/m³ à 470 mg/m³.

Annexe 4 – Composition des fumées d'incendie par secteur d'activité (Extrait de la note du SDIS26 – 2019)

AMEUBLEMENT

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acide acétique	C2H4O2	64-19-7	2789	83
Acide chlorhydrique	HCl	7647-01-0	1050	286
Acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	1613	663
Acrylonitrile	C3H3N	107-13-1	1093	336
Aldéhydes (acroléine)	C3H4O	107-02-8	1092	663
Aldéhydes (formaldéhyde)	CH2O	50-00-0	1198	38
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268
Benzène	C6H6	71-43-2	1114	33
Diisocyanate de toluylène (TDI)	C9H6N2O2	584-84-9	2078	60
Dioxines, furanes				
Dioxyde de carbone	CO2	124-38-9	1013	20
Dioxyde de soufre	SO2	7446-09-05	1079	268
Monoxyde de carbone	CO	630-08-0	1016	263
Oxydes d'azote	NO / NO2	10102-44-0 / 10102-43-9	1067	265
Styrène	C8H8	100-42-5	2055	39

BRICOLAGE/BATIMENT

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acide chlorhydrique	HCl	7647-01-0	1050	286
Acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	1613	663
Acide fluorhydrique	HF	7664-39-3	1052	886
Acide formique	CH2O2	64-18-6	1779	80
Acrylonitrile	C3H3N	107-13-1	1093	336
Aldéhydes (acroléine)	C3H4O	107-02-8	1092	663
Aldéhydes (formaldéhyde)	CH2O	50-00-0	1198	38
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268
Benzène	C6H6	71-43-2	1114	33
Dioxines				
Dioxyde de carbone	CO2	124-38-9	1013	20
Méthacrylate de méthyle	C5H8O	80-62-6	1247	339
Monoxyde de carbone	CO	630-08-0	1016	263
Oxydes d'azote	NO / NO2	10102-44-0 / 10102-43-9	1067	265
Phénol	C6H6O	108-95-2	2821	60
Poussières de silice				

AUTOMOBILE/BATEAU

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acide chlorhydrique	HCl	7647-01-0	1050	286
Acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	1613	663
Acrylonitrile	C3H3N	107-13-1	1093	336
Aldéhydes (acroléine)	C3H4O	107-02-8	1092	663
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268
Benzène	C6H6	71-43-2	1114	33
Bisphénol A	C15H16O2	80-05-7		
Diisocyanate de toluylène (TDI)	C9H6N2O2	584-84-9	2078	60
Dioxyde de carbone	CO2	124-38-9	1013	20
Dioxyde de soufre	SO2	7446-09-05	1079	268
Hydrogène sulfuré	H2S	2148878	1053	263
Méthacrylate de méthyle	C5H8O	80-62-6	1247	339

COLLES ET ADHÉSIFS

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acide acétique	C2H4O2	64-19-7	2789	83
Acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	1613	663
Acide formique	CH2O2	64-18-6	1779	80
Aldéhydes (acétaldéhyde)	C2H4O	75-07-0	1089	33
Aldéhydes (acroléine)	C3H4O	107-02-8	1092	663
Aldéhydes (formaldéhyde)	CH2O	50-00-0	1198	38
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268
Diisocyanate de toluylène (TDI)	C9H6N2O2	584-84-9	2078	60
Dioxyde de carbone	CO2	124-38-9	1013	20
Monoxyde de carbone	CO	630-08-0	1016	263
Oxydes d'azote	NO / NO2	10102-44-0 / 10102-43-9	1067	265
Phénol	C6H6O	108-95-2	2821	60

BOIS

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acide acétique	C2H4O2	64-19-7	2789	83
Acide chlorhydrique	HCl	7647-01-0	1050	286
Acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	1613	663
Aldéhydes (acroléine)	C3H4O	107-02-8	1092	663
Aldéhydes (formaldéhyde)	CH2O	50-00-0	1198	38
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268
Dioxines, furanes				
Dioxyde de carbone	CO2	124-38-9	1013	20
Dioxyde de soufre	SO2	7446-09-05	1079	268
Monoxyde de carbone	CO	630-08-0	1016	263
Oxydes d'azote	NO / NO2	10102-44-0 / 10102-43-9	1067	265

EMBALLAGES PLASTIQUES

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acide chlorhydrique	HCl	7647-01-0	1050	286
Acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	1613	663
Acrylonitrile	C3H3N	107-13-1	1093	336
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268
Benzène	C6H6	71-43-2	1114	33
Dioxines				
Dioxyde de carbone	CO2	124-38-9	1013	20
Monoxyde de carbone	CO	630-08-0	1016	263
Styrène	C8H8	100-42-5	2055	39

ENGRAIS

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acide chlorhydrique	HCl	7647-01-0	1050	286
Acide nitrique	HN03	7697-37-2	2031	85
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268

MAGASIN LOGISTIQUE

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acide acétique	C2H402	64-19-7	2789	83
Acide chlorhydrique	HCl	7647-01-0	1050	286
Acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	1613	663
Acrylonitrile	C3H3N	107-13-1	1093	336
Aldéhydes (acétaldéhyde)	C2H40	75-07-0	1089	33
Aldéhydes (acroléine)	C3H40	107-02-8	1092	663
Aldéhydes (formaldéhyde)	CH20	50-00-0	1198	38
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268
Benzène	C6H6	71-43-2	1114	33
Bisphénol A	C15H1602	80-05-7		
Diisocyanate de toluylène (TDI)	C9H6N202	584-84-9	2078	60
Dioxines				
Dioxyde de carbone	C02	124-38-9	1013	20
Dioxyde de soufre	S02	7446-09-05	1079	268
Hydrogène sulfuré	H2S	2148878	1053	263
Monoxyde de carbone	C0	630-08-0	1016	263
Oxydes d'azote	NO / N02	10102-44-0 / 10102-43-9	1067	265
Phénol	C6H60	108-95-2	2821	60
Poussières de silice				
Styrène	C8H8	100-42-5	2055	39

MÉTAUX

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268
Oxydes métalliques (particules fines)				
Produit de décomposition des matières polluantes (huiles d'usinages, etc...)				

PAPIER/CARTON

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acide acétique	C2H402	64-19-7	2789	83
Aldéhydes (acétaldéhyde)	C2H40	75-07-0	1089	33
Aldéhydes (acroléine)	C3H40	107-02-8	1092	663
Aldéhydes (formaldéhyde)	CH20	50-00-0	1198	38
Chlore	Cl2	7782-50-5	1017	268
Dioxyde de carbone	C02	124-38-9	1013	20
Monoxyde de carbone	C0	630-08-0	1016	263

PEINTURE ET VERNIS

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acétone	C3H60	67-64-1	1090	33
Acide acétique	C2H402	64-19-7	2789	83
Acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	1613	663
Acide formique	CH202	64-18-6	1779	80
Aldéhydes (acétaldéhyde)	C2H40	75-07-0	1089	33
Aldéhydes (acroléine)	C3H40	107-02-8	1092	663
Aldéhydes (formaldéhyde)	CH20	50-00-0	1198	38
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268
Diisocyanate de toluylène (TDI)	C9H6N202	584-84-9	2078	60
Dioxyde de carbone	C02	124-38-9	1013	20
Dioxyde de soufre	S02	7446-09-05	1079	268
Hydrogène sulfuré	H2S	2148878	1053	263
Monoxyde de carbone	C0	630-08-0	1016	263
Oxydes d'azote	NO / N02	10102-44-0 / 10102-43-9	1067	265
Phénol	C6H60	108-95-2	2821	60

PNEUMATIQUES

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acide sulfurique	H2S04	7664-93-9	1830	80
Dioxyde de carbone	C02	124-38-9	1013	20
Dioxyde de soufre	S02	7446-09-05	1079	268
Hydrogène sulfuré	H2S	2148878	1053	263
Monoxyde de carbone	C0	630-08-0	1016	263

TEXTILE

Nom	Formule brute	N°CAS	N°ONU	Code danger
Acétone	C3H60	67-64-1	1090	33
Acide acétique	C2H402	64-19-7	2789	83
Acide cyanhydrique	HCN	74-90-8	1613	663
Acide fluorhydrique	HF	7664 39 3	1052	886
Acrylonitrile	C3H3N	107-13-1	1093	336
Aldéhydes (acétaldéhyde)	C2H40	75-07-0	1089	33
Aldéhydes (acroléine)	C3H40	107 02 8	1092	663
Aldéhydes (formaldéhyde)	CH20	50-00-0	1198	38
Ammoniac	NH3	7664-41-7	1005	268
Benzène	C6H6	71-43-2	1114	33
Diisocyanate de toluylène (TDI)	C9H6N202	584-84-9	2078	60
Dioxyde de carbone	C02	124-38-9	1013	20
Dioxyde de soufre	S02	7446-09-05	1079	268
Hydrogène sulfuré	H2S	2148878	1053	263
Monoxyde de carbone	C0	630-08-0	1016	263
Oxydes d'azote	NO / N02	10102-44-0 / 10102-43-9	1067	265

Annexe 5 – Synthèse de seuils toxicologiques (AEGL) des gaz recherchés dans les fumées

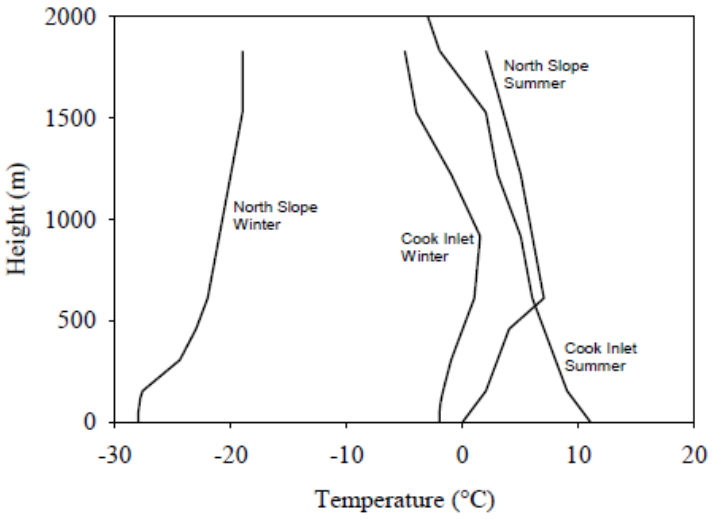
Gaz / N° CAS	Durée d'exposition	Seuils Toxicologique (ppm)		Effets / commentaires
		AEGL 1	AEGL 2	
CO Monoxyde de carbone 630-08-0	10 min	NR (VME à 20ppm)	420	Céphalées, vertiges
	1 H		83	
	4 H		33	
NO_2 Dioxyde d'azote 10102-43-9	10 min	0.5	20	Acreté des fumées, difficultés respiratoires
	1 H		12	
	4 H		8.2	
SO_2 Dioxyde de souffre 7446-09-5	10 min	0.2	0.75	Acreté des fumées, difficultés respiratoires
	1 H			
	4 H			
NH_3 Ammoniac 7664-41-7	10 min	30	220	Irritation, difficultés respiratoires
	1 H		160	
	4 H		110	
HCN Acide cyanhydrique 74-90-8	10 min	2.5	17	Céphalées / Informer le médecin de la présence de cyanure dans les fumées
	1 H	2	7.1	
	4 H	1.3	3.5	
HCl Acide Chlorhydrique 7647-01-0	10 min	1.8	100	Irritation oculaires, difficultés respiratoires
	1 H		22	
	4 H		11	
COV Benzène 71-43-2	10 min	130	2 000	Inflammable, irritation, difficultés respiratoires
	1 H	52	800	
	4 H	18	400	

AEGL : Population cible => population générale incluant les individus sensibles

AEGL-1 : concentration d'une substance chimique dans l'air (exprimée en ppm ou mg/m^3) au-dessus de laquelle la population générale, individus sensibles inclus, pourrait présenter des signes d'inconfort notable, d'irritation ou tout autre signe non-sensoriel et asymptomatique. Ces effets sont transitoires, non-invalidants et réversibles après cessation de l'exposition.

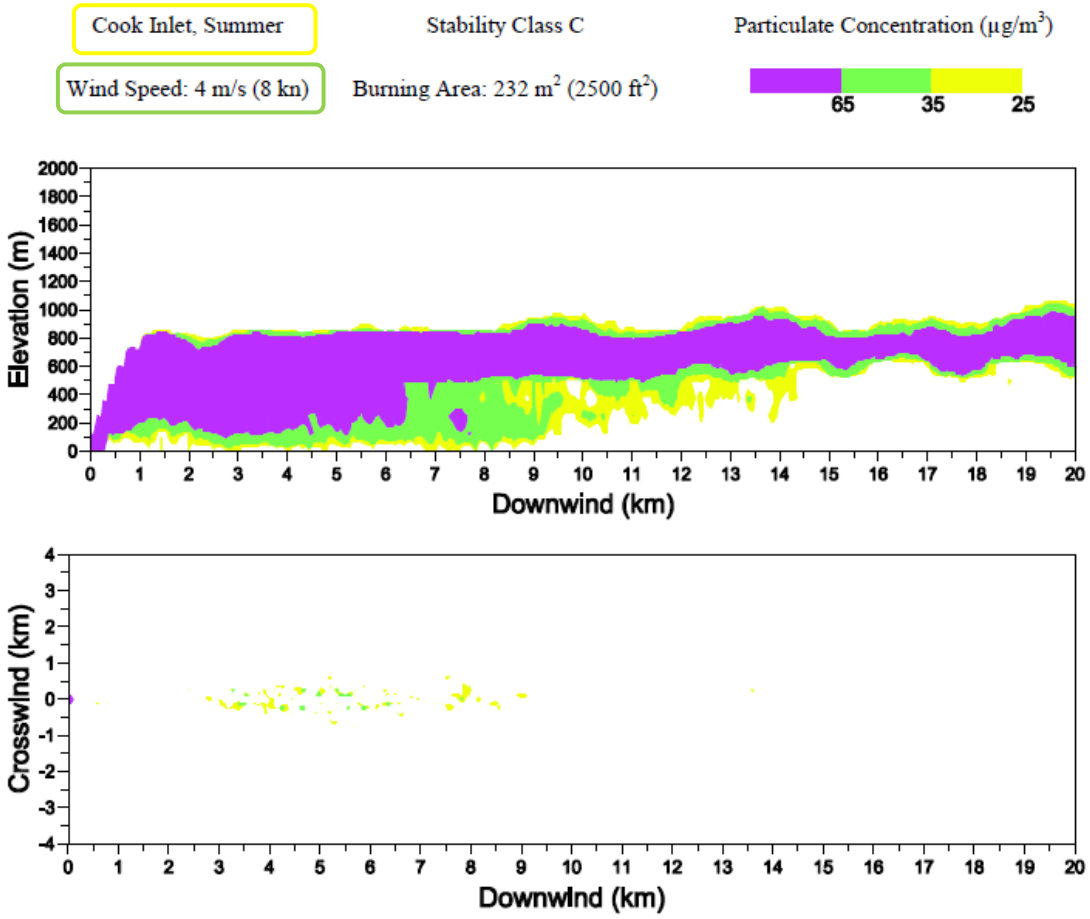
AEGL-2 : concentration d'une substance chimique dans l'air (exprimée en ppm ou mg/m^3) au-dessus de laquelle des effets irréversibles, des effets nocifs sévères ou des effets adverses à long terme pourraient être observés au sein de la population générale, individus sensibles inclus.

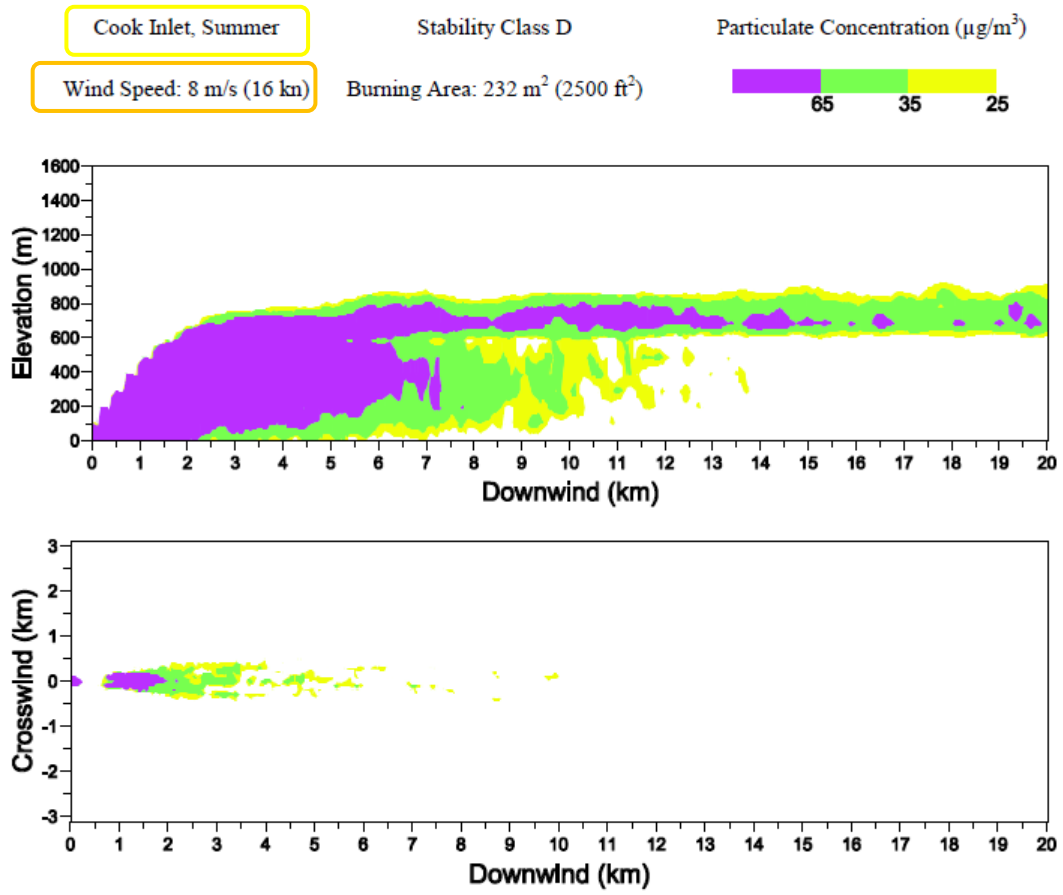
Annexe 6 – Influence des conditions météo sur la diffusion des $PM_{2.5}$ en Alaska

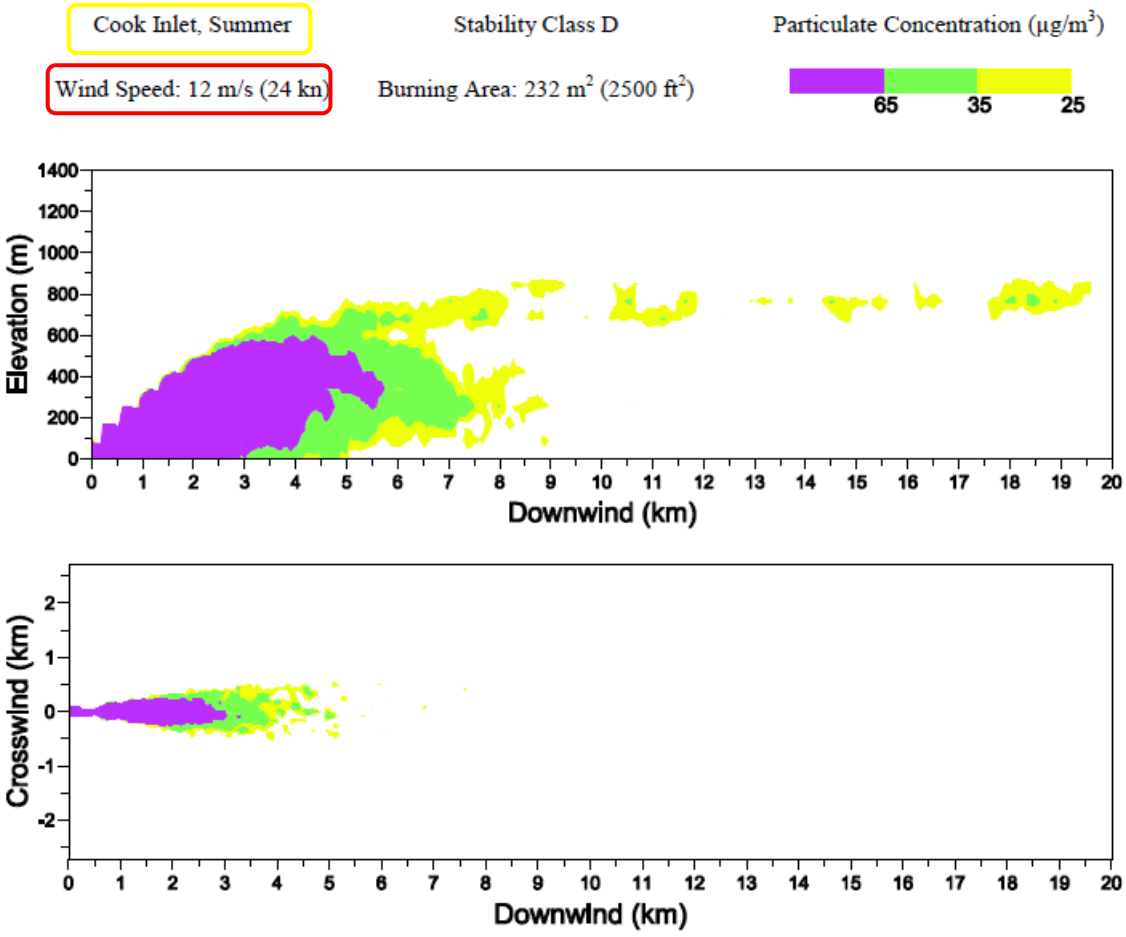


Ci-dessous, des extraits d'expériences menées en Alaska sur du pétrole brut, sur la diffusion (transport + dispersion) des particules $PM_{2.5}$ selon les conditions météo et inversion de température décrits ci-après.

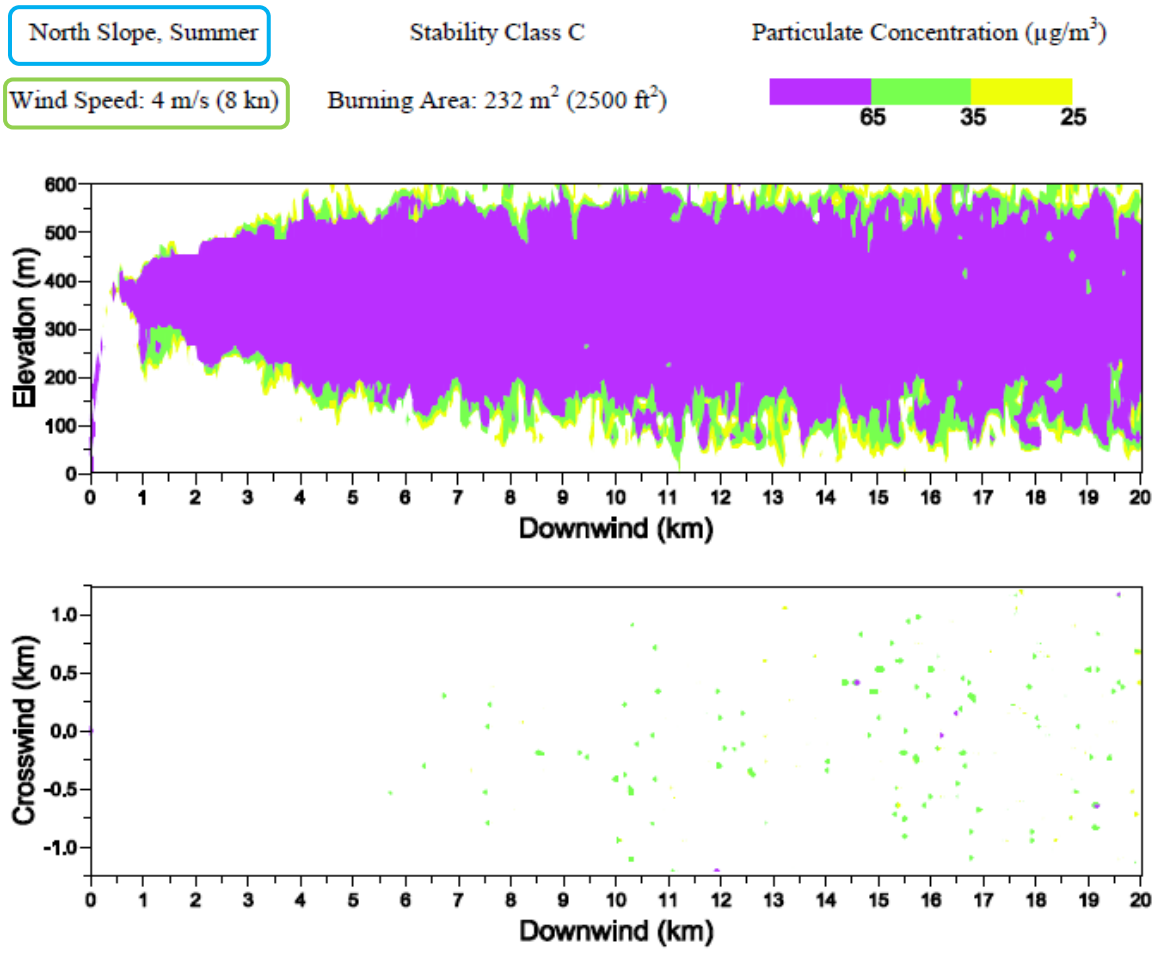
Nous avons repris uniquement les modèles « North Slope Summer » et « Cook Inlet Summer » pouvant être plus proche de nos conditions météoriques en France, pouvant correspondre à nos hivers et pour un feu d'une surface de 232 m², avec 3 forces de vents différentes.

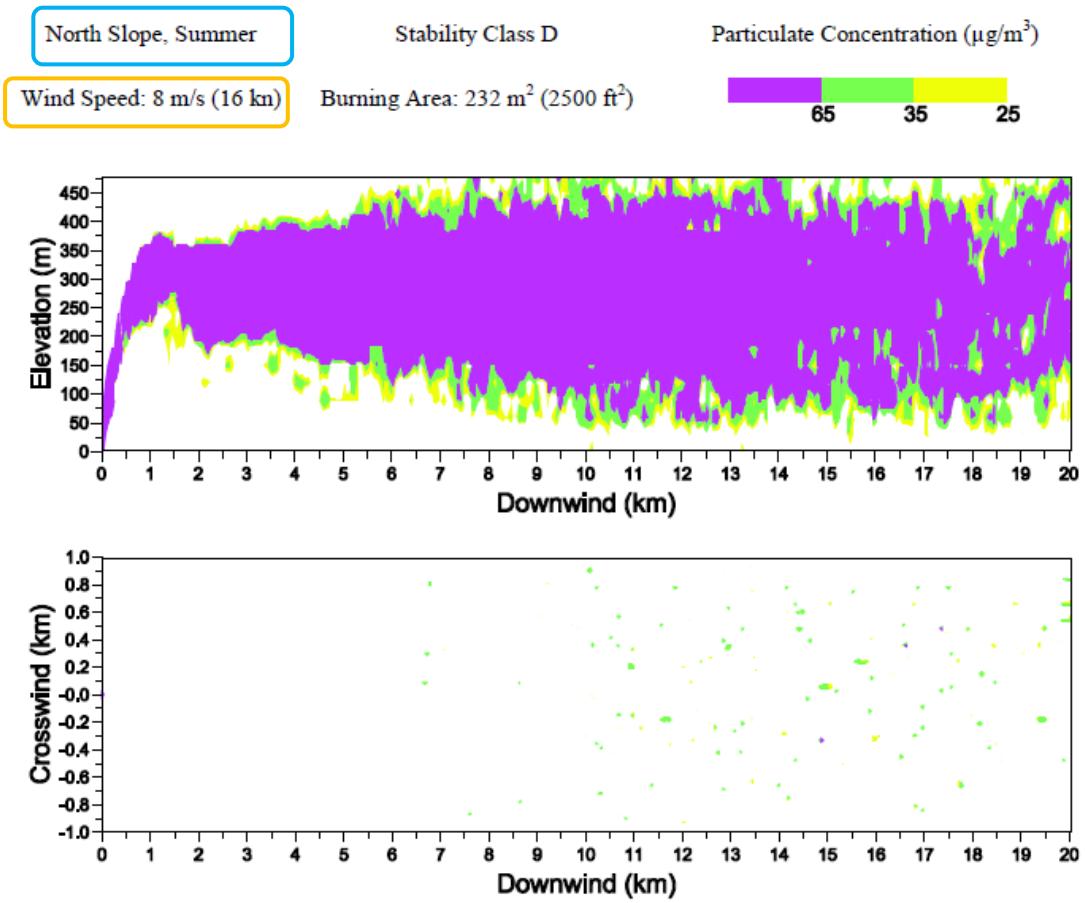






Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?





Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?

North Slope, Summer

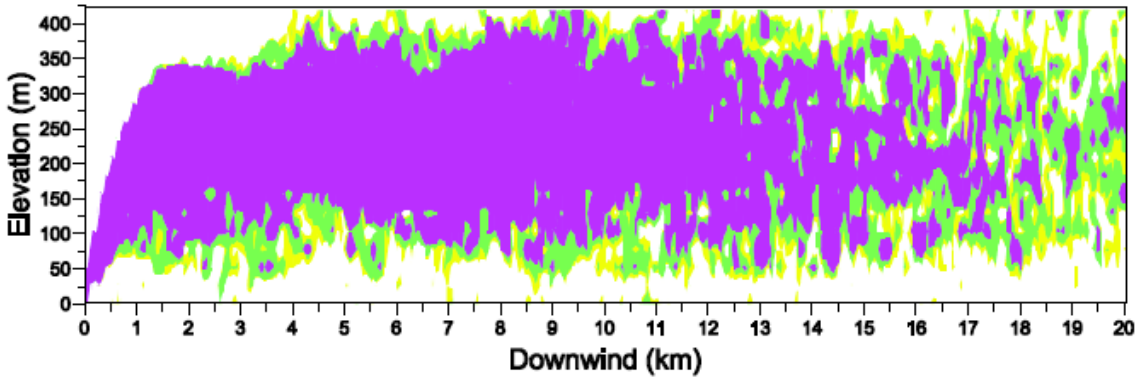
Wind Speed: 12 m/s (24 kn)

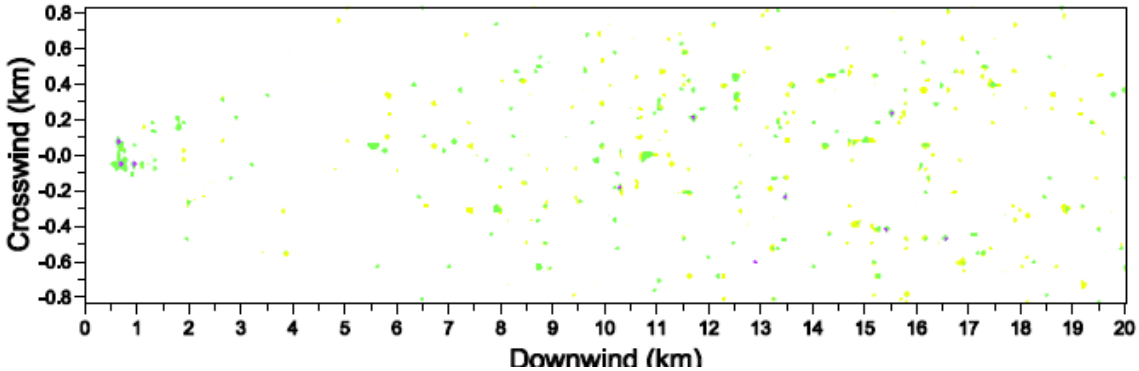
Stability Class D

Burning Area: 232 m^2 (2500 ft^2)

Particulate Concentration ($\mu g/m^3$)

65 35 25





Cook Inlet, Summer

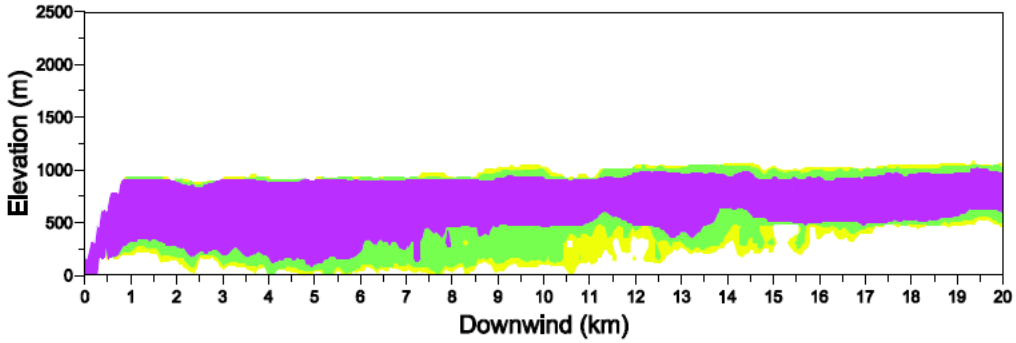
Wind Speed: 4 m/s (8 kn)

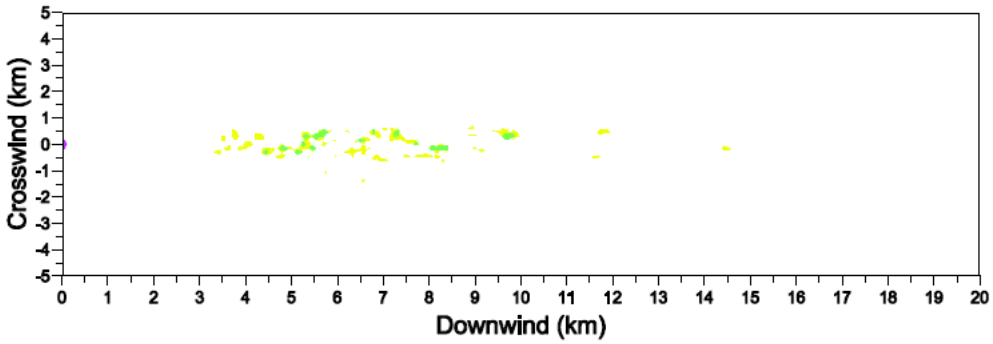
Stability Class C

Burning Area: 465 m^2 (5000 ft^2)

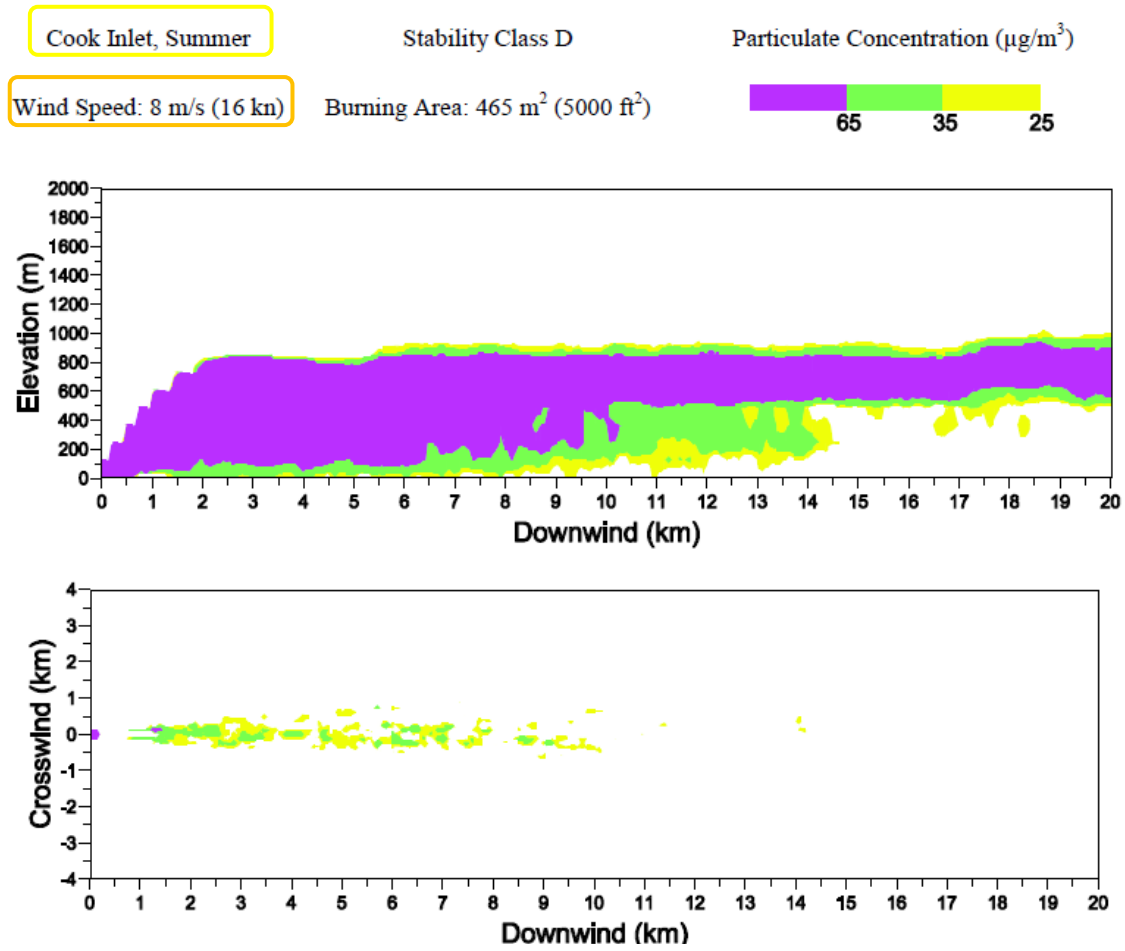
Particulate Concentration ($\mu g/m^3$)

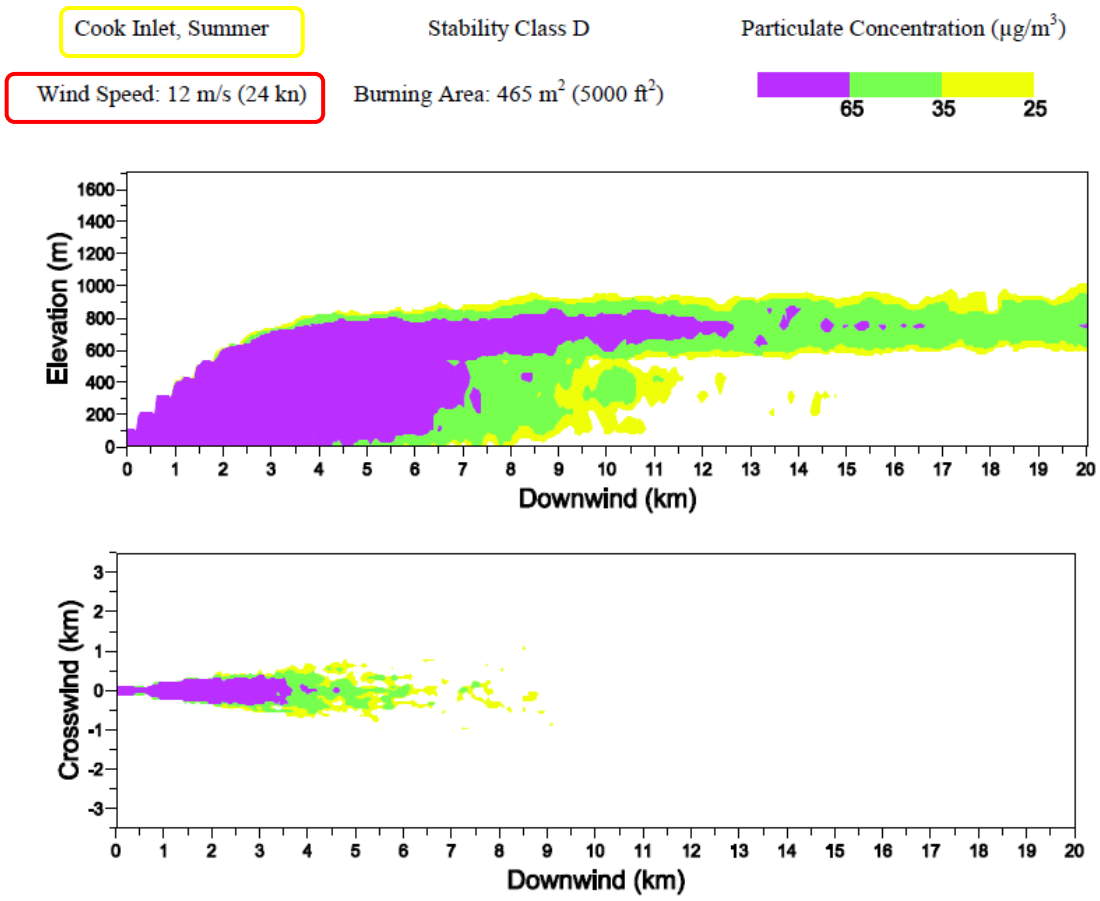
65 35 25



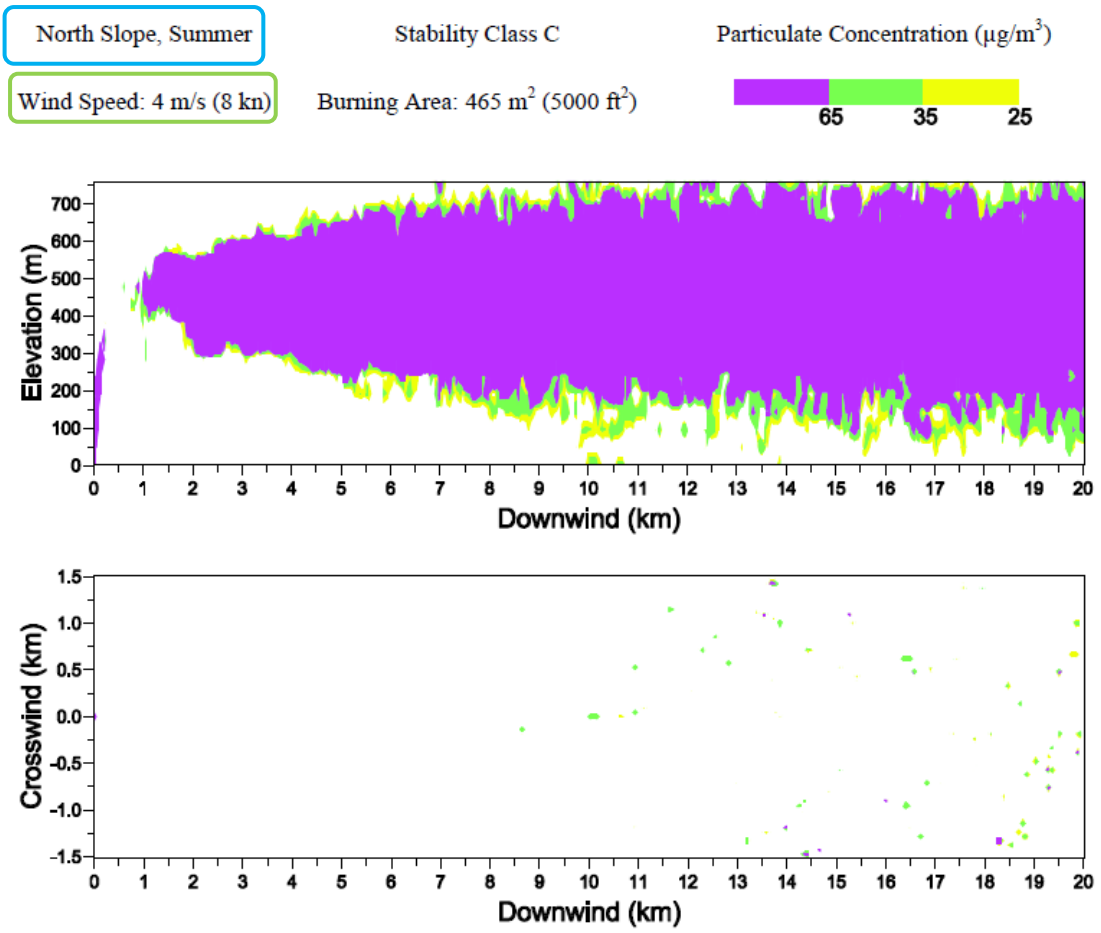


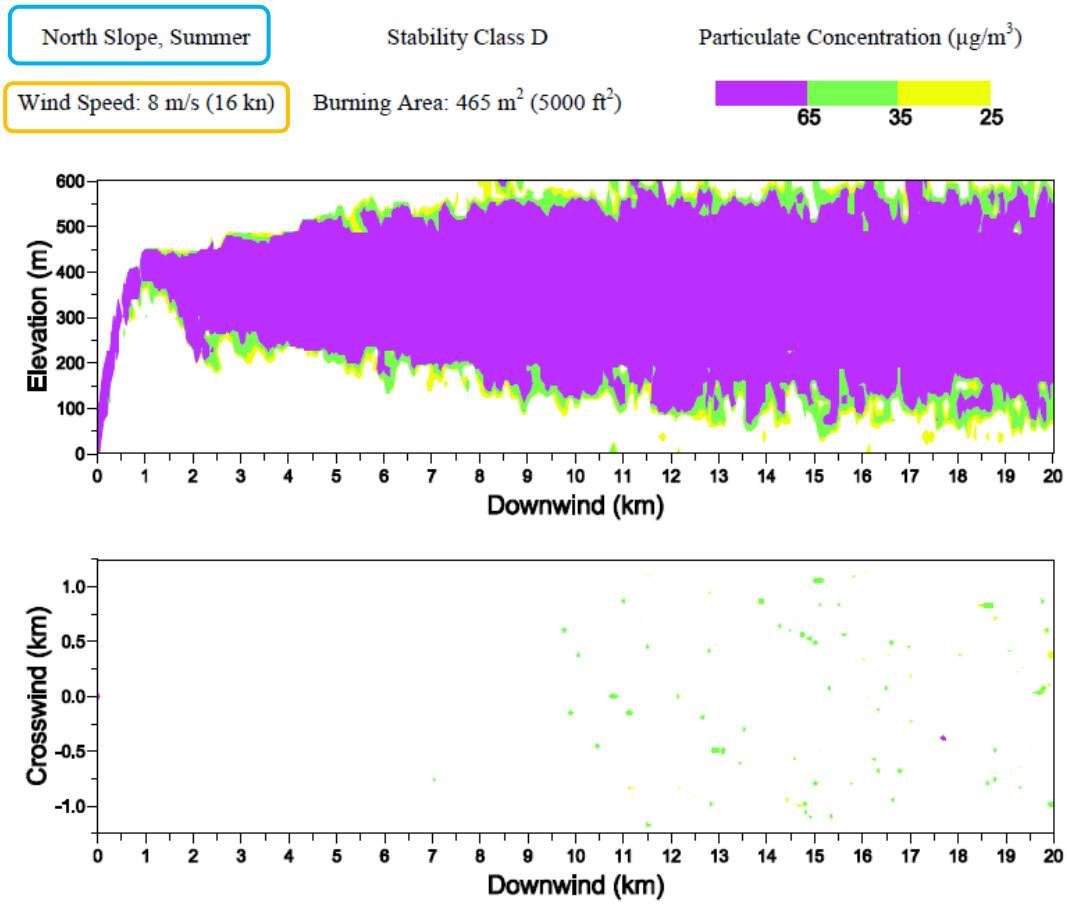
Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?





Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?





Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?

North Slope, Summer

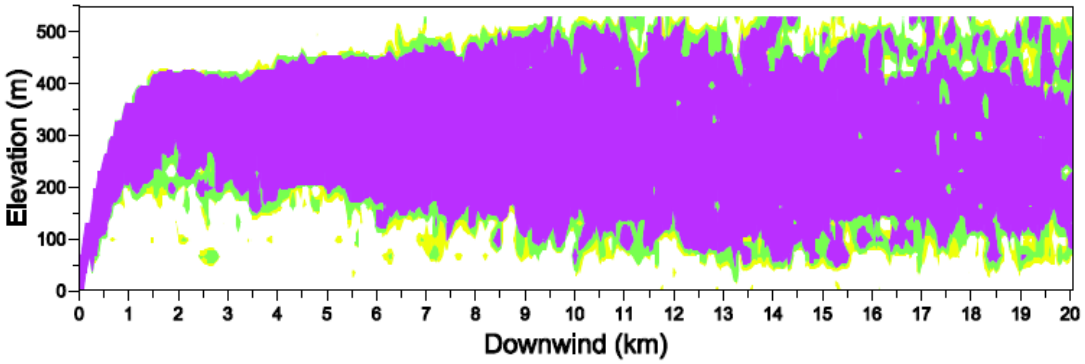
Stability Class D

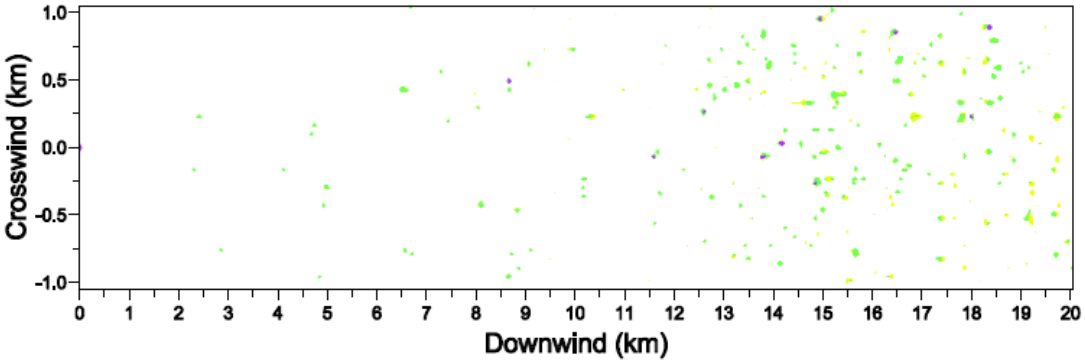
Particulate Concentration (µg/m^3)

Wind Speed: 12 m/s (24 kn)

Burning Area: 465 m^2 (5000 ft^2)

65 35 25





Cook Inlet, Summer

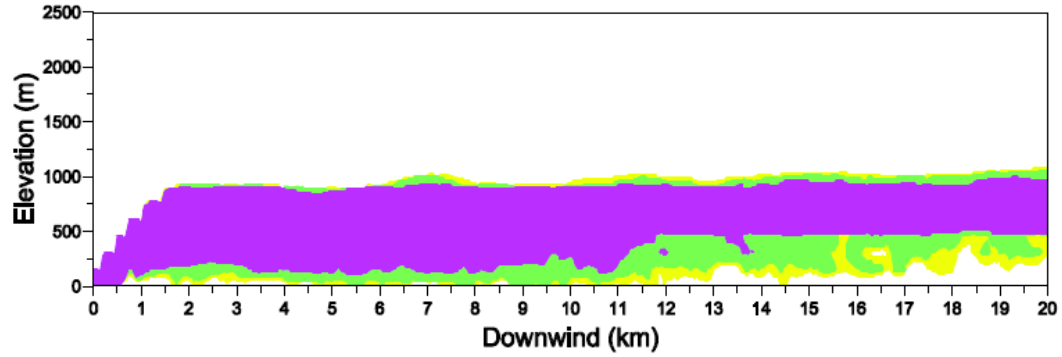
Stability Class D

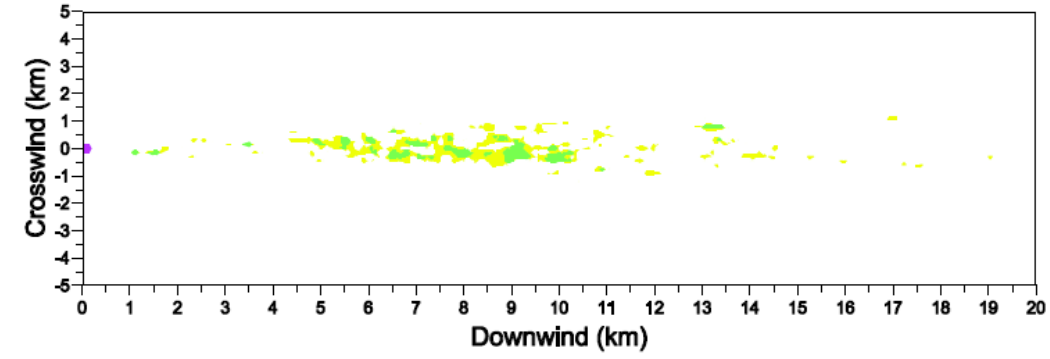
Particulate Concentration (µg/m^3)

Wind Speed: 8 m/s (16 kn)

Burning Area: 930 m^2 (10000 ft^2)

65 35 25





Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?

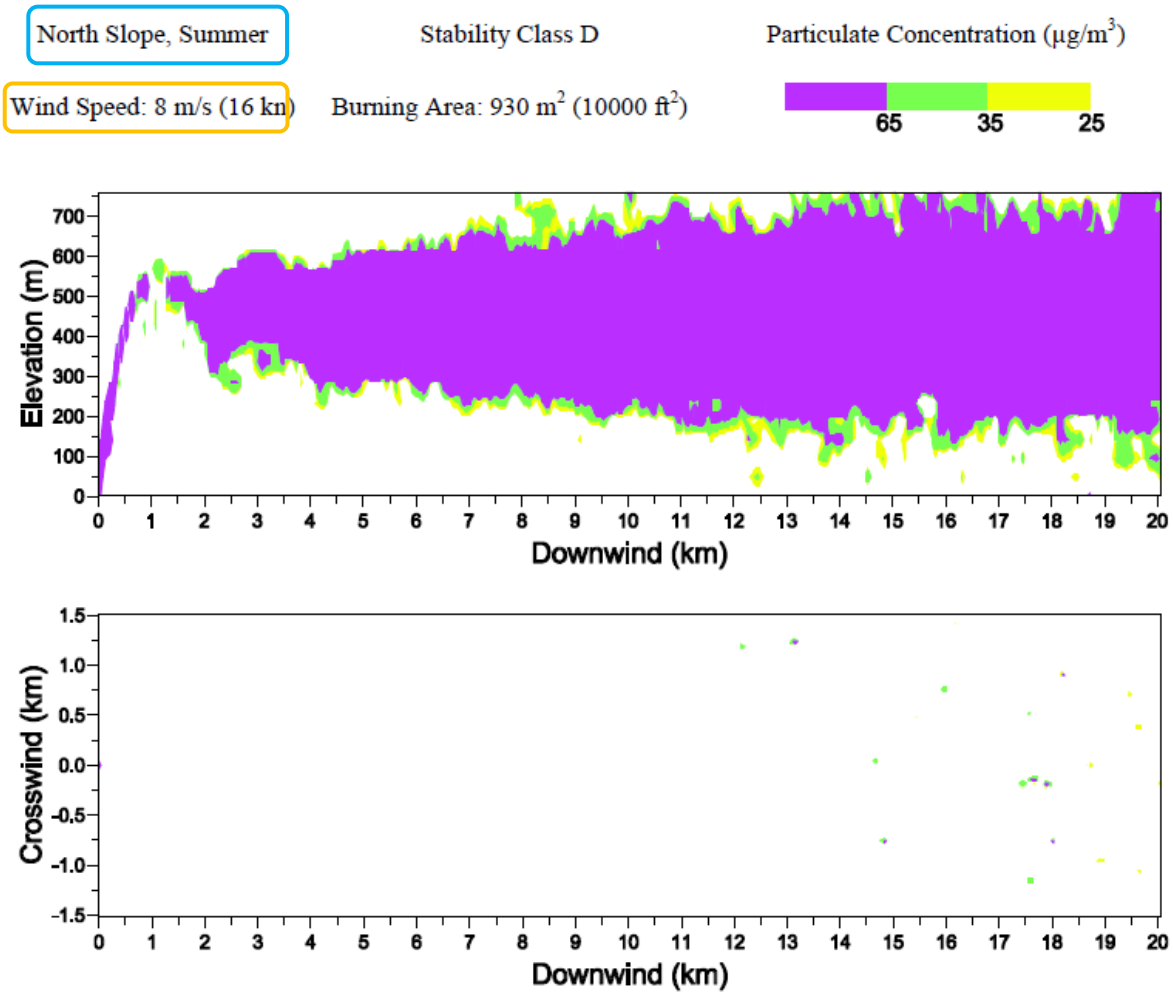

North Slope, Summer
Stability Class D
Particulate Concentration (µg/m3)
Wind Speed: 8 m/s (16 kn)
Burning Area: 930 m2 (10000 ft2)
65
35
25
Elevation (m)
Downwind (km)
Crosswind (km)
Downwind (km)

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[1,2,3,4]

ÉTUDE	PAYS	EXPOSITION	EFFET DE SANTÉ, POPULATION	RÉSULTATS
Associations entre niveaux de particules et événements de santé, rapportées par µg/m³ de particules				
Yadav et collab. (2003)	Île de Bornéo (Asie du Sud-Est)	Incendies de forêt; niveaux de PM10 horaires journaliers moyens > 50 µg/m³ (pires valeurs autour de 200 µg/m³), avec des maxima journaliers atteignant 1 800 µg/m³	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 µg/m³	Admissions hospitalières pour des problèmes respiratoires; groupes d'âge	- -Association (+)
Johnston et collab. (2006)	Australie	Feux de brousse, PM10 journaliers moyens : 20 µg/m³	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 - 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 µg/m³	Hospitalisations pour asthme; tous âges	- Association (+)
Johnston et collab. (2007)	Australie	Feux de brousse, PM10 journalier médian : 19 µg/m³	Hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires; aborigènes ou non, tous âges	- Association (+) avec hospitalisations pour des maladies pulmonaires obstructives chroniques (MPOC) et asthme - Association (-) parfois statistiquement non significative avec infections et visites pour des problèmes cardiovasculaires - Effets plus prononcés pour sous-groupe d'aborigènes
Hanigan et collab. (2008)	Australie	Feux de brousse, PM10 journaliers moyens : 21 µg/m³	Hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires, aborigènes ou non, tous âges	- Association (+) avec hospitalisations pour des problèmes respiratoires (asthme et MPOC) - Association (-) parfois statistiquement non significative avec infections et problèmes cardiovasculaires - Effets plus prononcés pour les aborigènes
Hanninen et collab. (2009)	Finlande	Incendies de forêt, PM2,5, la pire concentration horaire : > 180 µg/m³	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[1,2,3,4] (suite)

ÉTUDE	PAYS	EXPOSITION	EFFET DE SANTÉ, POPULATION	RÉSULTATS
Associations entre niveaux de particules et événements de santé, rapportées par µg/m³ de particules (suite)				
Delfino et collab. (2009)	États-Unis	Incendies de forêt, PM2,5 le pire jour > 240 µg/m³	Hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires, groupes d'âges	- Associations (+), surtout pour problèmes respiratoires - Indications qu'effet pas uniquement associé aux PM2,5
Tham et collab. (2009)	Australie	Feux de brousse, PM10 le pire jour : > 288 µg/m³	Visites médicales, hospitalisations pour des problèmes respiratoires et visites à l'urgence; groupes d'âge	- Associations (+) mais statistiquement significatives seulement pour les visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires
Arbex et collab. (2010	Brésil	Brûlage de canne à sucre, PST journaliers moyens : 57 µg/m³	Hospitalisations pour hypertension; tous âges	- Association (+)
Morgan et collab. (2010)	Australie	Feux de brousse, PM10 journaliers > 42 µg/m³	Décès et hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires; tous âges	- Associations (+) avec hospitalisations pour des problèmes respiratoires - Pas d'association statistiquement significative avec la mortalité ou les hospitalisations pour des problèmes cardiovasculaires, parfois même (-)
Henderson et collab. (2011)	Canada	Incendies de forêt, PM10 journaliers moyens : 29 µg/m³	Visites médicales, hospitalisations pour des problèmes cardiorespiratoires, groupes d'âge	- -Associations (+) avec services médicaux pour des problèmes respiratoires - -Pas d'association avec des problèmes cardiaques sauf pour les personnes âgées de 40-50 ans et de > 80 ans
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				
Mott et collab. (2002)	États-Unis	Incendies de forêt, PM10 le pire jour >500 µg/m³	Habitants d'une réserve indienne dont plusieurs souffrant de maladies; visites médicales pour des problèmes respiratoires rapportés par un questionnaire; groupes d'âges	- Augmentations

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[1,2,3,4] (suite)

ÉTUDE	PAYS	EXPOSITION	EFFET DE SANTÉ, POPULATION	RÉSULTATS
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)				
Sastry (2002)	Malaisie	Incendies de forêt, PM10 le pire jour >400 µg/m^3	Décès toutes causes et pour des problèmes cardiorespiratoires; groupes d'âge	- 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 - Diminutions non statistiquement significatives chez les autres groupes d'âge
Golshan et collab. (2002)	Iran	Brûlage de rizières, niveaux journaliers moyens de particules respirables lors d'épisodes : 2,3 mg/m3	Symptômes, fonctions pulmonaires; habitants d'un village (n = 994)	- Diminution des fonctions pulmonaires - Augmentation des symptômes
Sutherland et collab. (2005)	États-Unis	Incendies de forêt, PM2,5 le pire jour : 63 µg/m3	Individus souffrant de MPOC (n = 21); symptômes; moyenne d'âge 69 ans	- Augmentation des symptômes
Mott et collab. (2005)	Malaisie	Incendies de forêt	Hospitalisation pour problèmes des cardiorespiratoires; groupes d'âge	- Augmentations des problèmes respiratoires, surtout pour le groupe des 40-64 ans - Pas de différences significatives pour les problèmes cardiaques
Vedal et collab. (2006)	États-Unis	Incendies de forêt, PM10 le pire jour : 91 µg/m3	Décès pour des problèmes cardiorespiratoires; tous âges	- Augmentations dans des villes exposées et non exposées
Chen et collab. (2006)	Australie	Feux de brousse, le pire jour > 50 µg/m3	Hospitalisations pour des problèmes respiratoires; tous âges	- Augmentation
Moore et collab. (2006)	Canada	Incendies de forêt, PM2,5 le pire jour : 200 µg/m3 dans la ville proche du site de feux	Visites médicales pour des problèmes cardiorespiratoires et de santé mentale; tous âges	- Augmentations des visites pour des problèmes respiratoires seulement dans la ville située en périphérie de sites de feux - Pas d'augmentation des visites pour des problèmes cardiaques ou de santé mentale
Kunzli et collab. (2006)	États-Unis	Incendies de forêt, PM10 moyenne pour 5 jours pour la pire région : 252 µg/m3	Symptômes, prise de médicaments et visites médicales recensés par un questionnaire; enfants (n = 873) et adolescents (n = 5 551)	- Augmentations

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[1,2,3,4] (suite)

ÉTUDE	PAYS	EXPOSITION	EFFET DE SANTÉ, POPULATION	RÉSULTATS
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)				
Viswanathan et collab. (2006)	États-Unis	Feux de brousse, les pires niveaux journaliers de PM10 : 294 µg/m^3	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^3	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^3	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^3)	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 (*black smoke*) 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^3	Asthmatiques (petit n de 8); fonctions pulmonaires et prise de médicaments;	- Pas de diminution des fonctions pulmonaires - Augmentation de la prise de médicaments

Tableau 1 : Synthèse des preuves accumulées et des niveaux d'indications sanitaires des composés des particules de l'air ambiant à partir d'études chez l'Homme dans REVIHAAP et depuis REVIHAAP

Composé		Dans REVIHAAP : Niveau de preuve rapporté	Dans REVIHAAP : Associations rapportées†	Depuis REVIHAAP jusqu'en février 2016 : Niveau d'indication sanitaire[θ] le plus élevé (nombre de publications du corpus)	Synthèse des preuves accumulées : Preuves ou associations rapportées dans REVIHAAP | Indication d'effet sanitaire depuis REVIHAAP
Particules ultrafines (<100 nm)		Preuves encore limitées	Oui	Modéré (14) (+Exp.*)	+ | ↗
Particules grossières ($PM_{2.5-10}$)		Preuves suggestives	Oui	Modéré (44)	+ | ↗
Matières carbonées	Carbone suie, carbone élémentaire	Preuves suffisantes	Oui	Fort (78) (+Exp.*)	+ | ↗
	Carbone organique	Informations croissantes	Oui	Fort (37) (+Exp.*)	+ | ↗
	AOS (facteur source€)	Ø	Oui	Inadéquat (7) (+Exp.*)	+ | →
	HAP	Ø	Ø	Faible (4)	Ø | →
Aérosols inorganiques secondaires	AIS (facteur source€)	Ø	Oui	Faible (6)	+ | →
	Sulfate	Ø	Oui	Fort (48)	+ | ↗
	Nitrate	Ø	Oui	Fort (25) (+Exp.*)	+ | ↗
	Ammonium	Ø	Ø	Faible (14)	Ø | →
Métaux de transition	Nickel	Ø	Oui§	Fort (34) (+Exp.*)	Ø | ←
	Zinc	Ø	Oui§	Modéré (31)	Ø | ←
	Cuivre	Ø	Oui§	Faible (31)	Ø | →
	Vanadium	Ø	Oui§	Fort (32)	Ø | ←
	Fer	Ø	Ø	Fort (31)	Ø | ←
Silice		Ø	Ø	Modéré (30)	Ø | ←
Endotoxines		Ø	Ø	Modéré (5)	Ø | ←
Potentiel oxydant		Ø	Ø	Faible (6)	Ø | →

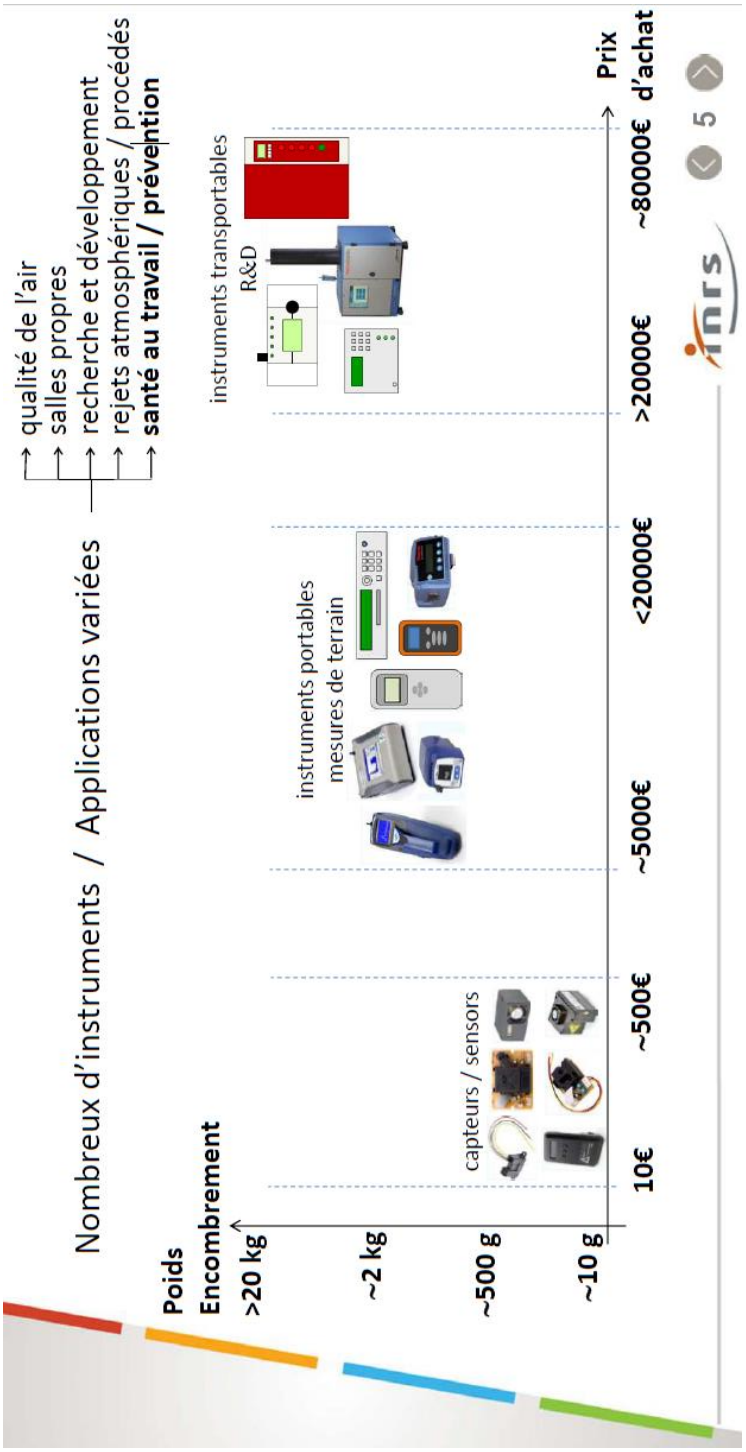
Dans REVIHAAP :
+ : effet rapporté ;
– : absence d'effet rapportée ;
Ø : non examiné.

| Depuis REVIHAAP :
↗ : nouvelle indication d'un effet sanitaire ;
↗ : confirmation de l'effet sanitaire ;
→ : pas de nouvelles preuves d'un effet sanitaire (*i.e.* une indication d'effet « faible » ou « inadéquate ») ;
↘ : indication d'absence d'effet sanitaire ;
Ø : aucune étude identifiée.

mortalité toutes causes ; santé respiratoire ; santé cardiovasculaire ; hospitalisations toutes causes. θ La finalité de l'évaluation du niveau d'indication d'effet sanitaire est de pouvoir conclure si l'association observée entre un composé donné des particules de l'air ambiant et une catégorie sanitaire d'intérêt (ex : santé cardiovasculaire) est fortement, ou modérément, ou encore faiblement plausible. Il peut aussi être conclu qu'un composé n'a pas d'effet sur la santé, ou bien encore que les éléments disponibles dans la littérature sont inadéquats pour permettre de conclure. *Abréviations : AIS : Aérosols Inorganiques secondaires ; AOS : Aérosols organiques secondaires ; HAP : Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques.* * *Les conclusions basées sur les études d'expérimentation animale soutiennent ces indications d'effets.* † *Oui si association rapportée, non si absence d'association rapportée, Ø si non rapportée.* § *Les associations rapportées ne concernent pas spécifiquement cet élément et incluent d'autres métaux de transition en mélanges.* € *Défini selon une méthode statistique de répartition des composés en catégories ou sources (par exemple, factorisation de matrice positive).*

Annexe 9 – Représentation d'instruments de mesures en temps réel disponibles

Représentation de l'INRS



Annexe 10 – Exemples de photomètres

Modèle	Débit de prélèvement (L/min)	Gamme de concentration ($mg.m^{-3}$)	Prélèvement individuel possible	Ordre de prix (TTC)	Commentaires
Sensidyne Nephelometer	1	0,0001 - 10	OUI	~3800 €	Saturation à 10 $mg.m^{-3}$
TSI SidePak AM520	1 à 1,8	0,001 - 100	OUI	~5200 €	
Thermo pDR-1500	1 à 3,5	0,001 - 400	OUI	~9800 €	Accès à un filtre interne pour calibrage personnel
TSI DustTrak DRX 8534	3	0,001 - 150	NON	~10000 €	
TSI DustTrak DRX 8533	3	0,001 - 150	NON	~11000 €	Accès à un filtre interne pour calibrage personnel

SENSIDYNE
Industrial Health & Safety Instrumentation

Sensidyne Deluxe Nephelometer

Real-Time Handheld Aerosol/Dust Monitor

The Sensidyne Deluxe Nephelometer is an advanced real-time particulate monitor accurately measuring aerosol and dust concentrations using proven light scatter technology. This portable instrument accurately measures and records particulate from 0.1-10,000 µg/m3 with resolution to 1 µg/m3. Sample modes are selectable between 60 second sample, 15 minute STEL, or continuous sampling.



The Deluxe Nephelometer has an internal pump drawing samples into the iso-kinetic sampling inlet at 1 liter per minute, where they meet sheath air that guides samples past the particle sensor. The sensor is a photo detector that measures laser light scattered by particulates in the sample stream. The Deluxe Model is capable of sampling selective sized particles with interchangeable impactor heads. The Deluxe Model comes standard with the total suspended particulate (TSP) head. Additional impactor heads are available in specific kits; the PM-2.5µm impactor head, the PM-4.0µm impactor head, and the PM-10µm impactor head.

The instrument multiplies each measurement by a K-factor and displays the real-time reading on the display of the instrument. After each sample the K-factor, Impactor Size, STEL, maximum, minimum, and average readings write to the instrument's data log. When connected to a computer the instrument uploads up to 4,000 data-log records in spreadsheet format.

In addition to high sensitivity and ease-of-use the Sensidyne Deluxe Nephelometer offers a low cost of ownership, automatic power save, long-life, data-logging, facility monitoring features, and user-replaceable filters.



TSP

The Deluxe Nephelometer offers 4 different impactor sizes for measurements



PM10 Impactor



PM 4.0 Impactor



PM 2.5 Impactor

Description	Part Number
Charger	298-0027-01
Zero Cap	385-0014-01
Sheath Air Filter	385-0012-01
USB Communication Cable	297-0012-01
PC App/Manual CD	390-0048-01
Rubber Boot	375-0008-01
Carrying Case	375-0009-01
Tri-pod Mount	385-0017-01
TSP Inlet Head	811-1004-03-R
PM-2.5 Impactor	811-1004-01
PM-4.0 Impactor	811-1004-04-R
PM-10 Impactor	811-1004-02
Deluxe Kit (US)*	810-1003-US-R
Deluxe Kit (EU)*	810-1003-EU-R
Deluxe Kit (UK)*	810-1003-UK-R

*All Deluxe Kits come with TSP, PM-2.5, PM-4, and PM-10 Impactor heads, Charger, Zero Cap, Replacement Filter, Communication Cable and Software.

Complete Solutions for Air Sampling

Gilian

Intertek

Compteur de poussières



SidePak AM520

- Mesure instantanée et/ou continue
- Suivi de la concentration en poussières : Hygiène Industrielle ou IAQ
- Étude de postes de travail ou cartographies
- Poussières inhalables, alvéolaires ou PM10, PM2.5, PM1, PM0.8
- Léger, compact, portable
- Logiciel d'exploitation des données

Le **préleveur individuel AM520** est un photomètre portatif qui mesure en instantané et/ou en continu la concentration en poussières. Il est destiné au suivi de la concentration en poussières en Hygiène Industrielle ou Qualité de l'Air Intérieur (ex : études épidémiologiques). L'AM520 est léger, compact, silencieux et il peut être porté par l'opérateur durant toute la période de travail. Le préleveur AM520 permet l'utilisation de différents cyclones selon les fractions de poussières à mesurer (poussières inhalables, alvéolaires ou poussières diesel), et possède 3 impacteurs intégrés à l'appareil (PM10, PM2.5, PM1). Avec la mémorisation des données et la longue durée de vie de la batterie, le **SidePak AM520** est idéal pour les prélèvements de longue durée. L'affichage permet de suivre en continu et en instantané la concentration en poussières, le maximum et le minimum, ainsi que la concentration moyenne sur 8 heures (TWA). Le clavier peut être bloqué pendant la durée du prélèvement. Une alarme sonore et visuelle permet de signaler une concentration élevée en poussières.



Le logiciel TrakPro permet la création de graphes et de rapports, ainsi que la programmation de départ automatique.

- Pré programmation rapide pour une utilisation en hygiène industrielle
- Mémorisation possible sur de longues périodes de temps et avec tests multiples
- Analyse des données, impressions de graphes et création de rapports avec le logiciel TrakPro
- Port USB pour une communication aisée avec votre PC

Instrumentation

Ecoparc 2 - 27400 Heudebouville - France
Tél. +33 (0)2 32 09 36 26 - Fax +33 (0)2 32 09 36 28
E-mail commercial : nathalie.thierry@intertek.com
Site internet : www.intertek-instrumentation.com

FICHE PRODUIT - PDR 1500 ECOMESURE

ANALYSEUR DE POUSSIÈRES EN TEMPS RÉEL PERSONNEL

PERSONAL DATARAM PDR-1500

L'analyseur de poussières Thermo pDR-1500 est un néphélomètre qui permet une mesure en temps réel de la concentration massique des poussières en suspension dans l'air ambiant.

Une séparation en taille des particules permet de mesurer différentes fractions règlementaires au moyen de deux cyclones disponibles en option, aisément identifiables par leur couleur.



AVANTAGES

- Mesure en continu de la concentration massique des particules en suspension dans l'air
- Pompe incorporée avec régulation de débit volumique
- Choix de la fraction à mesurer : Poussières Totales, PM-10, PM-4, PM-2.5, PM-1
- Mesure de la température ambiante, pression atmosphérique et humidité relative : régulation volumique du débit et compensation de l'hygrométrie
- Fonctionnement sur 220 V ou sur batterie
- Commande à distance par liaison RS232
- Appareil conçu pour une installation et une maintenance simplifiées

Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?

INSTRUMENTATION

Intertek

Compteur de Poussières



TSI DUST-TRAK DRX 8534

- Lecture directe de la concentration relative en poussières (mg/m3)
- Appareil portable
- Méthode optique : diffraction lumineuse
- Mesure simultanée des poussières totales, alvéolaires, PM1, PM2.5 et PM10
- Logiciel de traitement des données TRAKPRO

Le modèle **DUST-TRAK DRX 8534** est un appareil portable et léger destiné à la mesure de la concentration en poussières sur les postes de travail en Hygiène Industrielle et pour la Qualité de l'Air Intérieur. Il mesure simultanément les poussières totales, inhalables, PM10, PM2.5 et PM1. Son mode «mesure ponctuelle» permet d'effectuer des cartographies de sites en mémorisant des valeurs individuelles : recherche de points d'émission, recherche des postes de travail les plus à risque, investigations en Qualité de l'Air Intérieur, ... Un rideau d'air filtré protège en permanence le système optique, réduisant ainsi la maintenance et augmentant la reproductibilité, aussi bien dans les environnements à faible concentration que dans les sites industriels plus fortement pollués ou postes de travail à risque. Le logiciel de traitement des données TrakPro permet d'obtenir les données brutes, la courbe, ainsi que les statistiques du prélèvement effectué.

Principe de mesure :	Diffraction lumineuse
Gamme de mesure :	0,001 à 150 mg/m3
Affichage :	Fraction totale, fraction inhalable, PM1, PM2.5, PM10, simultanément
Résolution :	0,1 % de la lecture ou 0,001 mg/m3
Stabilité du zéro :	± 0,002 mg/m3 sur 24 heures
Gamme de taille :	0,1 à 15 microns
Débit :	Réglé en usine à 3,0 L/min
Précision du débit :	± 5%, débitmètre interne
Coefficient de Température :	+ 0,001 mg/m3 par °C
Température de fonctionnement :	0 à 50 °C
Température de stockage :	- 20 à 60 °C
Plage d'humidité en fonctionnement :	HR de 0 à 95%, non condensée
Constante de temps :	Ajustable de 1 à 60 secondes
Mémorisation des données :	5 MB de mémoire intégrée (> 60.000 données), soit 45 jours à 1 minute d'intervalle de mémorisation

Intervalle de Mémorisation :	Ajustable de 1 seconde à 1 heure
Dimensions :	12,5 x 12,1 x 31,6 cm
Poids :	1,5 Kg avec batterie
Autonomie batterie :	Jusqu'à 6 heures
Temps de charge batterie :	4 heures
Temps de charge batterie avec chargeur externe (réf P/N 801685) :	4 heures
Communication :	USB + données mémorisées accessibles en utilisant une carte mémoire
Alimentation secteur :	115-240 VAC
Sortie analogique :	Sélectionnable de 0 à 5 V ou 2 à 20 mA Echelle sélectionnable par l'utilisateur
Alarme :	Alarme sonore
Ecran :	Ecran couleur tactile 3,5 Inch
Agrément CE :	EN61236-1:2006

Instrumentation

Ecopare 2 - 27400 Heudebouville - France
Tél. +33 (0)2 32 09 36 26 - Fax +33 (0)2 32 09 36 28
E-mail commercial : nathalie.thierry@intertek.com
Site internet : www.intertek-instrumentation.com

INSTRUMENTS DE PRÉLÈVEMENT D'AÉROSOLS DUSTTRAK™ DRX MODÈLES 8533, 8533EP ET 8534

SURVEILLANCE DES POUSSIÈRES ET DES AÉROSOLS EN TEMPS RÉEL DANS N'IMPORTE QUEL ENVIRONNEMENT, POUR N'IMPORTE QUELLE APPLICATION.



Seuls les instruments de prélèvement d'aérosols DUSTTRAK™ DRX mesurent simultanément la fraction massique et la fraction granulométrique - Aucun autre instrument concurrent ne peut le faire. Les instruments de prélèvement d'aérosols DustTrak DRX sont des photomètres laser à diffusion de la lumière ; ils fonctionnent sur batteries, consignent les données et mesurent en temps réel la concentration massique des aérosols. Un système de ventilation avec gaine isole les aérosols dans la chambre optique et garde les capteurs propres, ce qui favorise une fiabilité supérieure et un entretien minime. Disponible dans des modèles de table avec ou sans pompe externe et dans un modèle portable, le DustTrak DRX offre une solution adaptée aux environnements industriels difficiles, chantiers, sites environnementaux et autres applications extérieures, ainsi qu'aux installations de salles propres. Les instruments de prélèvement DustTrak DRX mesurent les contaminants en aérosol, comme la poussière, la vapeur, la fumée et la nébulisation.

Les microparticules émises lors d'un incendie présentent-elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ?

Annexe 11 – Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air et cibles intermédiaires pour les particules (moyennes annuelles et 24 heures)

Tableau 1

Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air et cibles intermédiaires pour les particules : concentrations moyennes annuelles[a]

	MP_{10} ($\mu g/m^3$)	$MP_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)	Base de la concentration choisie
Cible intermédiaire 1	70	35	Ces concentrations sont associées à un risque de mortalité à long terme supérieur d'environ 15 % par rapport à la concentration des lignes directrices.
Cible intermédiaire 2	50	25	En plus des autres avantages qu'elles présentent pour la santé, ces concentrations abaissent le risque de mortalité prématurée d'environ 6 % [2-11 %] par rapport à la première cible intermédiaire.
Cible intermédiaire 3	30	15	En plus des autres avantages qu'elles présentent pour la santé, ces concentrations abaissent le risque de mortalité d'environ 6 % [2-11 %] par rapport à la deuxième cible intermédiaire.
Lignes directrices relatives à la qualité de l'air	**20**	**10**	Ce sont là les concentrations les plus faibles auxquelles on a montré que la mortalité totale par maladies cardio-pulmonaires et par cancer du poumon augmente avec un degré de confiance supérieur à 95 % en réponse à une exposition à long terme aux $MP_{2,5}$.

[a] L'utilisation de la valeur indicative des $MP_{2,5}$ est privilégiée.

Tableau 2

Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air et cibles intermédiaires pour les particules : concentrations sur 24 heures[a]

	MP_{10} ($\mu g/m^3$)	$MP_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)	Base de la concentration choisie
Première cible intermédiaire	150	75	Basée sur les coefficients de risque publiés d'études multicentriques et de méta-analyses (augmentation d'environ 5 % de la mortalité à court terme au-dessus de la valeur de la ligne directrice).
Deuxième cible intermédiaire	100	50	Basée sur les coefficients de risque publiés d'études multicentriques et de méta-analyses (augmentation d'environ 2,5 % de la mortalité à court terme au-dessus de la valeur de la ligne directrice).
Troisième cible intermédiaire*	75	37,5	Basée sur les coefficients de risque publiés d'études multicentriques et de méta-analyses (augmentation d'environ 1,2 % de la mortalité à court terme au-dessus de la valeur de la ligne directrice).
Ligne directrice relative à la qualité de l'air	**50**	**25**	Basée sur le rapport entre les concentrations de MP sur 24 heures et sur un an.

[a] 99e percentile (3 jours/an).

* A des fins de gestion. Basée sur les valeurs indicatives moyennes annuelles ; nombre précis à déterminer sur la base de la distribution statistique locale des moyennes journalières. La distribution statistique des valeurs journalières des $MP_{2,5}$ ou MP_{10} est habituellement proche d'une distribution log-normale.

Recommendations for Outdoor Physical Activity during Smoky Conditions

This guide is intended to help you make decisions on outdoor activities when it's smoky outside.
Group information is listed below.

Length of Outdoor Physical Activity	Good for Groups (1 – 3) Visibility ≥ 11 miles	Moderate for Group 1 Individuals Visibility 6 - 10 miles	Unhealthy for Group 1 & 2 Individuals Visibility 3 – 5 miles	Unhealthy for Group 1 - 3 Individuals Visibility 1.5 – 2.75 miles	Very Unhealthy for Group 1 - 3 Individuals Visibility 1 – 1.25 miles	Hazardous for Group 1 – 3 Individuals Visibility < 1 mile
30 Minutes	No Restrictions	Group 1 Individuals should monitor or reduce physical activity.	Groups 1 & 2 should limit time spent outdoors or reduce physical activity.	Groups 1 & 2 should avoid the outdoors and Group 3 should reduce physical activity.	All Groups should avoid the outdoors and physical activity.	All Groups should avoid the outdoors and physical activity.
1 Hour	No Restrictions	Group 1 Individuals should monitor or reduce physical activity.	Groups 1 & 2 should considerably limit time spent outdoors and reduce physical activity.	All Groups should avoid the outdoors and physical activity.		
2 Hours or More	No Restrictions	Group 1 Individuals should limit prolonged physical activity.	Groups 1 & 2 should avoid the outdoors and Group 3 should reduce physical activity.			

WHICH GROUP ARE YOU IN?

Group 1 Individuals

This group includes those with respiratory or heart disease, angina, pulmonary disease, asthma, emphysema or any other disease that may be impacted by any level of smoke.

Group 2 Individuals

This group includes those with asthma, or recent respiratory infections, those who experience seasonal allergies, work outside, or in general are more sensitive to the acute effects of smoke.

Group 3 Individuals

This group includes those who are more resistant to the short term effects of smoke. Healthy people may also experience adverse effects of smoke depending on duration and exposure.

Oregon Health Authority

Public Health Guidance: School Outdoor Activities During Wildfire Events

Check the local Air Quality Index (AQI) online (http://www.deq.state.or.us/aqi/) and do a visual inspection outside.* Compare the AQI and visibility test to determine the air conditions in your community. Then, use the guide below to determine activity level for your students.**

Air Quality Index	Visibility Scale	Recess (15 min)	P.E. (1 hr)	Athletic events and practices (2–3 hrs)
Good	> 5 miles with no noticeable haze in the air	Great day to be active outdoors!	Great day to be active outdoors!	Great day to be active outdoors!
Moderate	5–15 miles with noticeable haze in the air	It is a good day for students to be active outside. • Watch students who are unusually sensitive to air pollution for symptoms of shortness of breath or coughing.	• Watch students who are unusually sensitive to air pollution. • Look for symptoms of shortness of breath or coughing. • Monitor symptoms and reduce or cease activity if symptoms arise.	• Watch students who are unusually sensitive to air pollution. • Look for symptoms of shortness of breath or coughing. • Increase rest periods and make substitutions for these students as needed. • Monitor symptoms and reduce or cease activity if symptoms arise.
Unhealthy for sensitive groups	3–5 miles	It is an OK day for students to be active outside. • Allow students who are unusually sensitive to air pollution to stay indoors if they'd like.	• Move activities indoors for students sensitive to air pollution. • Limit other students to light outdoor activities or move the activities indoors. • Increase rest periods and make substitutions. • Monitor symptoms and reduce or cease activities if symptoms arise.	• Move activities indoors for students sensitive to air pollution. • Limit other students to light outdoor activities or move the activities indoors. • Increase rest periods and make substitutions. • Monitor symptoms and reduce or cease activities if symptoms arise.
Unhealthy	1–3 miles	• Consider keeping all students indoors or allowing only light outdoor activity. • Move activities indoors for students sensitive to air pollution.	• Move activities indoors for students sensitive to air pollution. • Consider moving all activities indoors. • Limit all students to light activities. • Increase rest periods and make substitutions.	Consider any of the following: • Cancel the event. • Move the event indoors. • Postpone the event. • Move the event to an area with "good" air quality.
Very unhealthy/ hazardous	1 mile or less	Keep all students indoors.	• Move all activities indoors. • Limit all students to light activities. • Increase rest periods and make substitutions.	Do any of the following: • Cancel the event. • Move the event indoors. • Postpone the event. • Move the event to an area with "good" air quality.

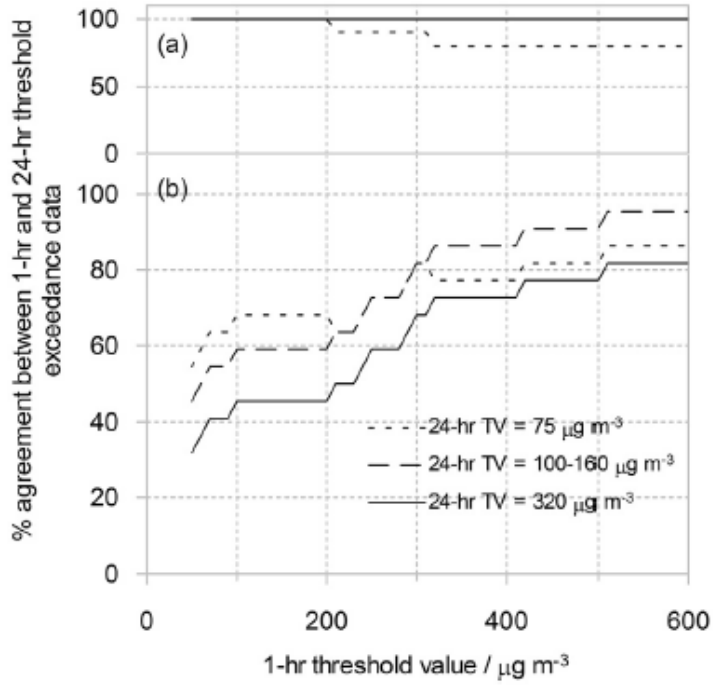
* If you get conflicting results when you compare the AQI to your visual inspection, err on the side of caution. Follow the recommendations for the worse of the two assessments.
**Students with asthma action plans should follow them closely. They should monitor their breathing and exposure to wildfire smoke. Anyone experiencing symptoms should contact a health care provider for further advice. They should call 911 in an emergency.

1

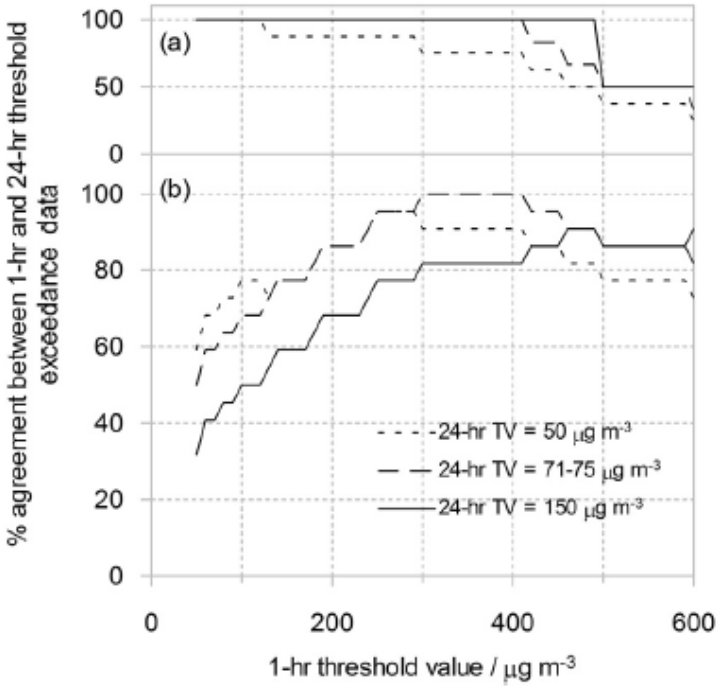
Annexe 14 – Courbes prédictives pour des valeurs seuils en PM_{10} et $PM_{2.5}$ sur 1 heure (Article scientifique du service britannique AQinMI - 2018)

Concordance en % entre le dépassement intra-incident des valeurs seuils (TV) pour les concentrations moyennes mobiles de PM sur 1h et certains seuils pour la protection de la santé publique pour les concentrations moyennes mobiles sur 23 incendies industriels majeurs.

Le panneau (a) montre le pourcentage d'incidents où le dépassement des valeurs seuils pour 24h a été correctement prédit par la valeur prédictive d'une heure. Le panneau (b) montre le pourcentage d'incidents ou le dépassement / non-dépassement des seuils pour 24h a été correctement prédit par la valeur prédictive d'une heure.



Courbes pour les PM_{10}



Courbes pour les $PM_{2.5}$

Inventaire des valeurs guides et valeurs de références en matière de concentrations en poussières et particules en suspension

Valeurs retenues pour la conduite opérationnelle

Paramètre	Vigilance	Alarme
$PM_{2.5}$ (µg/m³)	25	350
PM_{10} (µg/m³)	50	510
Interprétation	*Les populations sensibles qui seraient exposées à ces concentrations durant 24 heures doivent réduire leurs activités physiques*	*Les populations et intervenants exposés à ces concentrations durant plus de 1 heure doivent faire l'objet de mesures de protection collectives ou individuelles*

Rappels :

- PM_{10} : Particules en suspension dont le diamètre moyen est inférieur à 10 µm
- $PM_{2.5}$: Particules en suspension dont le diamètre moyen est inférieur à 2.5 µm

Bibliographie

Durée	PM_{10} (µg/m³)	$PM_{2.5}$ (µg/m³)	Référence	Description de la valeur seuil
24 h (moyenne sur 24h)	50	25	OMS	Seuil de recommandation invitant les personnes sensibles à réduire leurs activités physiques
	101	71	UK AQI : Très haut	Seuil à partir duquel la population générale peut présenter des symptômes de toux / irritations des voies respiratoires
	150.5	150.5	US AQI : Très mauvais pour la santé	Seuil à partir duquel les activités extérieures des établissements d'enseignements doivent être évitées
	160	/	UK Trigger : Fermeture de certains établissements publics	Seuil à partir duquel les écoles, garderies et autres lieux fréquentés par les enfants doivent être fermés
	250.5	250.5	US AQI : Dangereux	Seuil à partir duquel les écoles doivent être fermées et tout événement sportif ou culturel en extérieur annulé.
	320	/	UK Trigger : Evacuation	Seuil à partir duquel l'évacuation des populations exposées doit être envisagée (surtout en cas de durée prévisible supérieure à 24h)

Aussi, pour des incendies de grande ampleur, des **valeurs prédictives sur 1 heure** permettent d'anticiper le franchissement **des valeurs seuils sur 24h**

PM_{10} (µg/m³)		$PM_{2.5}$ (µg/m³)	
Valeur seuil 24 h	Valeur seuil 1h correspondante	Valeur seuil 24 h	Valeur seuil 1h correspondante
101	510	71	350
150.5		150.5	
160			
320			

INFOGRAPHIE DE SYNTHÈSE

sur les particules émises lors d'un incendie

Source des particules

Micro particules émises :

- Particules primaires & secondaires
- Particules minérales
- Particules organiques
  (carbone élémentaire = carbone suie / Black Carbon)

PM10 > PM2.5 > PM1

- Pyrolyse **>** particules élémentaires **>** agglomération **>** particules à morphologie fractale/compacte **>** suies
- Cheval de Troie => forte capacité d'absorption (CO, NH_3, NOx, SO_2, HCN, HCl, COV)
- Feu sous-ventilé = risques de plus de particules secondaires

Flux des particules

Varie en fonction :

- De la taille, du poids, réactivité chimique, hydro/lypo solubilité
- Des conditions thermodynamiques / mouvements thermo phorétiques (Les particules sont attirées vers les zones froides)
- Des conditions astro-météo (stabilité)
- Du facteur de sédimentation (fonction de la viscosité, de l'écoulement global, de la température)

Modèle ALOFT (A Large Outdoor Fireplume Trajectory pour les PM 2.5)

Cibles des particules

Personnes

- Voie respiratoire **>** fraction inhalable, extra thoracique, thoracique, trachéo bronchique, alvéolaire
- Dépôt d'Oberdorster
- syndromes de Brooks, Fièvre d'inhalation, pneumopathie aigues d'origines toxiques

Biens

- Établissements scolaires, de personnes fragiles (EHPAD,CH), …

Environnement

- Pollutions terrestre & aquatique

Métrologie à visée terrain

Technique de prélèvement actif, via une pompe

- Calibration via l'Arizona Road Dust (ARD) **>** variabilité de la mesure (taille, forme, charge électrique)

COP : COMPTEUR À PARTICULES
Concentration en nombre de particules dans l'air par classe granulométrique

PHOTOMÈTRES
Concentration en masse des particules sans aucune mesure de leurs tailles

AVANTAGES

- Temps de réponse rapide
- Poids et ergonomie pragmatique
- Affichage digitale sur l'appareil

INCONVÉNIENTS

- Mesure non spécifique à la nature chimique de la particule
- Absence d'information précise sur la nature et forme des PM
- Interférence significative de l'humidité relative (HR)
- Calibrage / ARD ≈ 30% marge erreur

MESURE DES PARTICULES SUR 24 H

VALEURS SEUILS

Réaliser une mesure de bruit de fond hors exposition aux fumées au préalable

PM 10		PM 2,5
320	Évacuation des populations exposées à envisager (si >24h)	
250	Annulation des évènements sportifs et culturels extérieurs	250
160	Fermeture des ERP recevant des enfants	
150	Éviter les activités extérieures des établissement d'enseignements	150
100	Symptômes respiratoires (toux irritations) d'une population générale	70
50	Inviter les personnes sensibles à réduire les activités physiques	25

MESURE PRÉDICTIVE SUR 1 H



PM 2,5
350 µg/m³

PM 10
510 µg/m³

Les valeurs prédictives sur 1 heure, permettent d'anticiper le franchissement des valeurs seuils sur 24h (82% d'atteindre les seuils sur 24h de 320 µg/m³ en PM 10 et 150 µg/m³ en PM 2,5).

Les populations et intervenants exposés à ces concentrations durant plus de 1 heure, doivent faire l'objet de mesures de protection.

QUALITÉ DE L'AIR	VISIBILITÉ EN KM	CONCENTRATION EN PM (Moy. sur 1h µg/m³)
Bonne	15 km et +	0 - 40
Moyenne	10 à 15	41 - 80
Mauvaise pour personnes sensibles	5 à 10	81 - 175
Mauvaise	2,5 à 5	176 - 300
Très mauvaise	1,5 à 2,5	301 - 500
Dangereuse	- de 1,5	> 500

Annexe 17 – Questionnaire envoyé aux conseillers techniques RCH

1/ Quel est votre SDIS ou unité d'appartenance ?

2/ Comment estimez-vous la réponse opérationnelle de votre SDIS / unité sur la prise en compte des microparticules (hors RAD) émises lors d'un incendie pour la sécurité des populations (hors SP et PATS du SDIS en opération) ?

- ☐ Non prise en compte
- ☐ Faible
- ☐ Modérée
- ☐ Satisfaisante

3/ Selon vous, est-ce que les microparticules émises lors d'un incendie vont devenir un enjeu pour les SDIS dans les années à venir ?

4/ Comment évaluez-vous la prise en compte des fumées d'incendie dans la conduite opérationnelle sur des feux significatifs (industries, entrepôts, feux de forêts)

- ☐ Très faible
- ☐ Faible
- ☐ Modérée
- ☐ Forte
- ☐ Très forte

Pourquoi ?

5/ Sur feu (pendant et après l'opération), avez-vous déjà été sollicité par un Directeur des opérations / COS, au sujet des fumées d'incendie et quelle était sa demande ?

- ☐ Non, je n'ai pas été sollicité
- ☐ Oui, sa demande était orientée vers la toxicité des gaz de combustion
- ☐ Oui, sa demande était orientée vers les microparticules

Commentaires :

6/ Disposez-vous d'une solution permettant de qualifier le « risque » fumée d'incendie ?

- ☐ Kit fumée tubes draeger
- ☐ PID
- ☐ Compteur à particules (hors RAD)
- ☐ Autres

7 / Avez-vous connaissance d'une capacité d'évaluation des microparticules dans votre département ?

8/ Avez-vous mis en place une stratégie opérationnelle (fiche réflexe, valeurs seuils de référence, zonage opérationnel) ?

- ☐ Non
- ☐ Oui

Si Oui, lesquelles ?

Annexe 18 – Extrait de la fiche technique du compteur à particules du SDIS 76

	Détecteur de poussières/particules	FT N° DET1.15

OBJECTIFS OPERATIONNELS

Détecter et quantifier la concentration en particule/poussières en suspension notamment dans le cadre des fumées d'incendie

IMPORTANT : Cet appareil ne doit pas être utilisé pour évaluer le risque d'explosion de poussières. Il s'agit uniquement d'évaluer le risque pour les personnes.

PHOTO



CARACTERISTIQUES TECHNIQUES (COMPOSITION, DESCRIPTION, …)

- Poids détecteur : 1 kg
- Capteur environnemental (température et humidité)
- Fonctionnement
  - Température : 5°C à 40 °C
  - Humidité : 20 % à 95 %
- Alimentation : Batterie rechargeable

CAPACITES OPERATIONNELLES ET LIMITES D'EMPLOI

- Mesure des particules de 0.3 à 25 µm
- Technologie : comptage par diffraction de lumière laser par des particules
- Affichage de la mesure :
  - En nombre de particules / m^3
  - En µg/m^3
- 45 000 enregistrements possibles
- Annotations possibles des enregistrements

Interprétation des résultats : se référer aux valeurs de références présentées dans un tableau spécifique

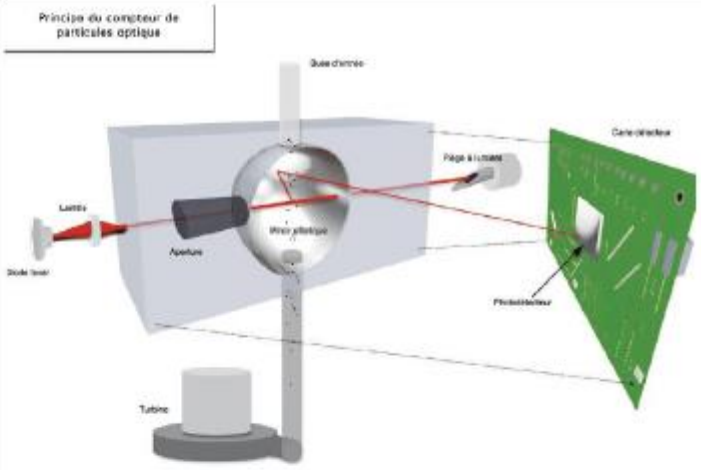


Fig 2 : COP le Principe

CONSIGNES PARTICULIERES DE MISE EN ŒUVRE

1- Fixer le capteur environnemental sur le détecteur (Cercle Bleu)
2- Retirer l'obturateur de la sonde isocinétique (Cercle Bleu)
3- Utiliser le sylet rangé dans la poignée de l'appareil
4- Vérifier que l'affichage est conforme à l'image ci-contre et notamment :
   a. Le mode massique (avec l'unité en µg/m^3) ➔ Cerle Rouge
   b. Les valeurs visibles sur les colonnes ➔ Cercle Vert
5- Sélectionner le lieu de mesure « Location X »
6- Démarrer la détection (fonctionnement automatique de la pompe pendant 1 minute) par un appui sur bouton principal ou bien
7- Renouveler les opérations 4 et 5 pour toute nouvelle détection
8- En fin d'utilisation
   a. Remettre l'obturateur de la sonde
   b. Déconnecter le capteur environnemental



Annexe 19 – Résumé pour le PNRS

Les microparticules émises lors d'un incendie présentent elles un risque pour la santé des populations et comment les quantifier ? Cette thématique, mise en exergue suite à des incendies majeurs sur le territoire national, a fait l'objet d'une prise de conscience collective. Si dans la profession sapeurs-pompiers et l'univers scientifique, la composition des gaz émis lors des incendies commence à être dressée de manière empirique et pris en compte, avec toutes les réserves qui s'imposent, la composante des microparticules émises lors d'un incendie n'en est qu'à son balbutiement. Dans notre travail de recherche, nous avons échangé avec plusieurs scientifiques de renommée nationale, travaillant pour des laboratoires de recherche tel celui de l'analyse, de surveillance et d'expertise de la marine (LASEM), ou encore EFFECTIS France.

En parallèle, des échanges ont eu lieux auprès d'organismes de référence reconnus de tous, tel l'INRS et l'INERIS. De ces rencontres, plusieurs remarques en sont ressorties. Tout d'abord, le processus de formation de ses microparticules est complexe et multifactoriel. De manière évidente, la composition des matériaux initiaux est un paramètre majeur, auquel se rajoute les conditions thermocinétiques (température, durée au contact des flammes, …) et les conditions de ventilation. De cette alchimie, en résulte des microparticules avec une composition chimique propre, singulière (particules minérales, organiques (carbone organique, carbone élémentaire [black carbon]), un diamètre aérodynamique variant de 10 µm à moins de 1 µm. Sur cette matière produite, va s'adsorber des gaz issus de la combustion. Ces derniers, eux-mêmes compte tenu des conditions de températures, de pression et des conditions météorologiques auront une décomposition et une dispersion différente. Dès lors, toute hypothèse sur la composition, la concentration des microparticules ne reste, en l'état actuel des avancées scientifiques, que théorique.

La conséquence sanitaire sur les populations est évidente. Là encore, notre mémoire nous a permis d'échanger avec des professionnels de santé, tel Monsieur Yves LEVY, professeur de santé publique et santé environnementale aux hôpitaux publiques de Paris, Monsieur Sébastien HULO, docteur et maitre de conférences des universités de Lille, praticien Hospitalier ou encore le Docteur Thierry PIGEANNE, pneumologue. Comme l'a démontré le chimiste Fritz Haber, avec sa célèbre loi de toxicologie, les effets sont dépendants de la concentration à un polluant et de la durée d'exposition. Si pour une exposition à des composés chimiques, des valeurs existent dans différentes littératures (VSTAF, AEGL, ERPG….) celles pour les microparticules sont rares pour ne pas dire inexistantes (hormis les recommandations relatives à la qualité de l'air). En effet, comme évoqué précédemment, il est difficile de définir la composition chimique des microparticules émises lors d'un incendie. De plus, prédire la concentration en µg/m^3 est hasardeux faute de modèle de dispersion éprouvé. Enfin, le milieu environnemental est composé de pléthores de particules en suspension, générant des impacts sanitaires connus, à court, moyen et long termes, allant des crises d'asthme via les pollens, à des bronchopathies lors des épisodes de pollution urbaine. Ce bruit de fond, est donc à prendre en compte dans l'exposition chronique des populations. La part de cette surexposition à des microparticules émises lors d'un incendie, n'en est que plus complexe à définir quantitativement et qualitativement. Concrètement, est-ce que la surexposition à elle seule génère une pathologie spécifique ou est-ce un effet de surdose qui déclenche de telles atteintes. Certaines études médicales américaines, démontrent une relation entre des incendies majeurs et une augmentation des admissions dans les services hospitaliers dans les 24 heures qui suivent les sinistres, voire des décès. Un paramètre complémentaire, et non des moindres à prendre en compte est le terme population. Dans notre analyse, nous nous sommes restreint à une population au sens générale du terme. Loin d'une analyse médicale aboutie, différenciant les populations sensibles, ultra sensibles, celles regroupant des individus souffrant de comorbidité, de problèmes respiratoires sévères ou autres.

De cette analyse succincte, s'appuyant sur des postulats scientifiques et médicaux, nous constatons la difficulté d'appréhender, de manière précise, l'impact sanitaire des microparticules sur les populations.

Notre mémoire s'oriente également sur la capacité à les quantifier. Pour mener une réflexion de qualité nous avons pris contact avec des spécialistes en métrologie. Qu'ils soient de laboratoires tel l'INRS ou

l'INERIS ou plus de terrain via les VDIP, la conclusion fait ressortir toute la difficulté d'avoir des mesures fiables. Les technologies employées s'appuient essentiellement sur la méthode optique telle les compteurs à particules ou les photomètres. Encore une fois, la précision des mesures est multifactorielle. Tout d'abord, la marge d'erreur inhérente aux appareils de mesures, souvent calibrés sur l'ARD (Arizona Road Trust) dont les tables de pondérations restent à confirmer, tout comme les paramètres astro météo (températures, hygrométries….). En second lieu, la mesure elle-même, via un opérateur ou un poste fixe, et son positionnement dans le panache joue un rôle important. Sur cet aspect, nous avons questionné les SIS de France et les unités militaires. Les 33% ayant rendu réponse, nous indiquent qu'ils sont confrontés à des difficultés dans la prise en compte de ces microparticules, faute de données scientifiques, médicales et techniques.

Aussi, des valeurs prédictives pour une heure d'exposition en PM_{10} et $PM_{2.5}$ sont proposées afin d'apporter une première réponse opérationnelle qui se veut pragmatique.

Lors des échanges avec les divers spécialistes scientifiques et médicaux contactés, il est donc ressorti la grande difficulté de théoriser à priori l'impact de ces microparticules. Une réflexion a donc été suggérée sur une analyse à postériori. Concrètement, elle se résumerait à établir une procédure de mesure, fiable, identique sur l'ensemble du territoire et validée scientifiquement afin de connaitre la composition de ces fameuses microparticules. Si cette analyse peut se décliner sur un espace-temps « assez » court, l'analyse médicale sur l'impact sanitaire, sera plus longue et découlera de la première analyse.

A l'heure actuelle de ce mémoire, les données scientifiques et médicales ne nous permettent donc pas d'apporter une réponse précise sur l'impact sanitaire que provoquent ces microparticules sur les populations. Néanmoins, il a permis d'identifier bon nombre de critères impactant, et constitue une première réponse, tout en gardant à l'esprit l'intérêt de continuer les recherches et maintenir notre vigilance.



Imprimé et diffusé
par l'ENSOSP

BP 20 316 - 1070, rue du ltn Parayre
13798 Aix en Provence cédex 3
tél. : + 33 4 42 39 04 73
Fax. : +33 4 42 39 04 79