

*Identification de composés
traceurs permettant un suivi
sanitaire de primo-intervenants
lors d'une situation d'incendie
domestique*

- PERSAN, Cas 3 -



Groupe de travail :

Elèves Ingénieurs du Génie Sanitaire (EHESP) :

- Coline CORNEFERT
- Elsa DELFOS
- Elsa SOUBIRAN

Résumé :

Lors d'un incendie domestique, les primo-intervenants sont exposés à des fortes concentrations en polluants. Les plus sensibles, et ceux qui sont étudiés ici, sont les personnes intervenants à quelques mètres de l'incendie et portant une protection vestimentaire mais aucune protection respiratoire. Pour ces derniers, l'inhalation correspond donc à la voie d'exposition majeure. Grâce à une recherche bibliographique approfondie, le groupe de travail a pu mettre en évidence une multitude de polluants présents dans l'environnement atmosphérique des feux domestiques. Une fois la concentration, la Valeur Toxicologique de Référence et l'estimation du risque associée à ces polluants, une hiérarchisation de ceux-ci a été effectuée. Afin de pouvoir estimer le risque réel attribuable à ces polluants, il est important de faire des mesures de terrain pour connaître les concentrations en situation réelle. De plus, il est important de noter que les primo-intervenants étant souvent appelés pour des situations d'incendie domestique ou similaires, leur exposition relève d'une exposition chronique. Le groupe de travail a donc considéré cinq polluants ou familles de polluants principaux, importants à mesurer: les Composés Organiques Volatiles, le sulfure d'hydrogène, le cyanure d'hydrogène, l'arsenic, le plomb et le naphthalène. Ces mesures seront réalisables à l'aide de badges, de casquettes porte-filtre ou encore de tubes de prélèvement munis de pompe.

Mots clés : Incendie domestique, primo-intervenant, exposition, danger, mesures, polluant, hiérarchisation

Sommaire :

Groupe de travail :2

Résumé :.....3

Mots clés :3

Sommaire :4

Sigles et acronymes :5

Liste des tableaux.....6

Introduction7

I. Identification et caractérisation des dangers8

 1. Scénario d’exposition8

 2. Démarche et état des lieux des données disponibles.....9

 3. Identification des polluants d’intérêt sanitaire.....12

II. Évaluation des expositions et caractérisation du risque.....29

 1. Identification du Budget Espace-Temps29

 2. Calculs des RD et des ERI29

 3. Polluants traceurs à mesurer.....31

III. Métrologie.....32

IV. Limites de l’étude et recommandations38

 1. Éléments contribuant à une sous-estimation du risque38

 2. Éléments contribuant à une sur-estimation du risque39

 3. Éléments contribuant à une imprécision sur le risque.....39

Conclusion.....41

ANNEXE42

Références bibliographiques :45

Sigles et acronymes :

AFSSET	Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
BET	Budget Espace-Temps
CAA	Concentration Atmosphérique Admissible
CI	Concentration moyenne Inhalée
C.O.V.	Composés Organiques Volatiles
CPG	Chromatographie en Phase Gazeuse
DJE	Dose Journalière d'Exposition
EHESP	Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique
ERI	Excès de Risque Individuel
ERU	Excès de Risque Unitaire
µg, mg, g	micro-gramme, milli-gramme, gramme
HAP	Hydrocarbure Aromatiques Polycyclique
INERIS	Institut National de l'Environnement industriel et des Risques
INRS	Institut National de Recherche et de Sécurité
L	Litre
LASEM	Laboratoire d'Analyses, de Surveillance et d'Expertise de la Marine
m ³	mètre cube
OEHHA	Office of Environmental Health Hazard Assessment
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
PCB	PolyChloroBiphényles
PM	Particulate Matter
ppm	partie par million
RIVM	Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
QD	Quotient de Danger
US EPA	United States Environmental Protection Agency

Liste des tableaux

Tableau 1: Inventaire des polluants émis dans les fumées d’incendie domestique13

Tableau 2: Hiérarchisation pour les polluants à effets à seuil selon le ratio [concentration/VTR]24

Tableau 3: Hiérarchisation pour les polluants à effets sans seuil selon le produit [concentration*VTR]
25

Tableau 4: Hiérarchisation des polluants selon leurs effets sur la santé27

Tableau 5: Calcul des QD pour les polluants sélectionnés à effets à seuil30

Tableau 6: Calcul des ERI pour les polluants sélectionnés à effets sans seuil.....30

Tableau 7: Techniques de prélèvement et d’analyse pour les polluants prioritaires à mesurer33

Introduction

De récents exemples, tant nationaux (Erika) qu'internationaux (ouragan Katrina, attentat du World Trade Center, etc.) ont démontré que l'évaluation des risques sanitaires encourus par les primo-intervenants exposés à des substances chimiques lors de la réponse à des accidents majeurs était insuffisante (Bonger S, 2008). Cet état de fait peut engendrer des problèmes sanitaires sur le long terme et/ou des problèmes d'imputabilité d'affections professionnelles (Bonger S, 2008), (D., Juin 2008).

Les personnels du Ministère de la Défense font régulièrement partie des primo-intervenants en situation accidentelle ou catastrophique. C'est pourquoi, cette problématique intéresse le LASEM (Laboratoire d'analyses, de surveillance et d'expertise de la Marine) de Toulon, laboratoire possédant une compétence historique en évaluation des risques chimiques professionnels et environnementaux.

Cependant, l'application des techniques « de routine » disponibles au LASEM de Toulon à un contexte aussi opérationnel pose de nombreuses questions notamment concernant les polluants à suivre prioritairement dans le temps, la disponibilité du matériel requis, leur mise en œuvre rapidement 24 heures sur 24 et leur « acceptabilité » par des personnels fortement sollicités lors de la réponse à de tels accidents.

Le groupe de travail a été questionné sur la situation accidentelle d'incendie domestique. Les incendies domestiques font partie des situations impliquant le plus fréquemment des équipes militaires. En effet, 250 000 incendies d'habitations sont déclarés chaque année en France, soit un incendie toutes les deux minutes et environ 40% des incendies nécessitent l'intervention de professionnels (pompiers, marins pompiers, ...)(Gouvernement), (INPES).

L'objectif de cette étude est donc d'identifier une méthode de traçabilité des polluants les plus dangereux auxquels les primo-intervenants sont exposés tout au long de leur vie.

Pour cela, une évaluation des risques a été effectuée. Dans un premier temps, le groupe de travail a identifié et caractérisé les dangers chimiques. L'objectif de cette étape est de déterminer les polluants d'intérêt sanitaire et de proposer un premier ensemble de mesure pour un suivi pour le long terme. Une étape d'évaluation des expositions a ensuite été effectuée. Il s'agit ici d'évaluer l'exposition réelle des primo-intervenants en fonction du budget espace-temps. Par la suite, le risque a été caractérisé avec notamment le calcul des ratios de danger et des excès de risques unitaires appropriés. Ces étapes permettent alors de confirmer le choix des polluants traceurs à mesurer prioritairement lors d'intervention en situation d'incident domestique. Enfin, des moyens analytiques pour mesurer les expositions individuelles aux polluants sélectionnés ont été proposées. Les limites de l'étude ont été discutées dans le point final.

I. Identification et caractérisation des dangers

1. Scénario d'exposition

Zone d'étude

La zone d'étude porte sur les alentours proches (quelques mètres) des habitations en feu.

Population d'étude et modalités d'exposition

La population d'étude est constituée de primo-intervenants c'est-à-dire des premières personnes qui interviennent lors d'un incendie pour sauver des gens ou des biens. La population « derrière » (grand public) n'est pas concernée par l'étude.

Lors d'un incendie, les voies d'exposition aux dangers peuvent être multiples :

- La **voie cutanée**, généralement majeure lors d'un incendie, est, dans cette étude, négligée. En effet, tous les primo-intervenants portent une tenue vestimentaire de protection type cuir qui permet d'éviter tout contact entre l'air et la peau.
- La **voie ingérée** n'existe généralement pas dans une situation d'incendie, ou très accidentellement (ingestion accidentelle de quelques milligrammes de poussières).
- La **voie respiratoire**, de par la présence de fumée en grande quantité lors d'un incendie, est donc la voie prédominante. Cependant, deux types de situations se présentent selon le type de primo-intervenants :
 - les intervenants "au cœur de l'action" (pompiers, secouristes, ...) qui portent habituellement un appareil respiratoire isolant. Conventionnellement, ces matériels offrent au minimum un facteur de protection de 2000. La concentration en produits chimiques de l'air expiré à travers ces appareils est alors égale à 1/2000 de leur concentration dans l'atmosphère (NF-EN-529, Janvier 2006). La concentration en polluant respirée est négligeable, et donc cette population d'intervenants n'est pas prise en compte dans l'étude.
 - les "accompagnants" c'est à dire tous les chauffeurs des véhicules, les gendarmes (qui interviennent pour constater le sinistre et pour faire la circulation aux alentours de l'habitation incendiée), les équipes qui arrosent l'incendie d'un peu plus loin, ... ne portent habituellement pas de protection respiratoire. Ils sont donc exposés à un certain nombre de risques dus aux fumées toxiques. Ces derniers constituent la population étudiée dans ce projet.

La voie d'exposition retenue pour cette étude est donc l'inhalation, et la population d'étude est constituée des primo-intervenants « accompagnants ».

Aux vues de l'objectif de l'étude (traçabilité des expositions), considérer une exposition chronique ou subchronique paraît le plus appropriée. En effet, de par leur travail, les primo-intervenants sont exposés à des incendies plusieurs fois par an sur plusieurs années de leur vie.

Par ailleurs, certaines substances identifiées lors de cette étude peuvent également avoir été identifiées dans d'autres scénarios (incendies de bateaux, de forêts, ...). Dans ce cas, l'exposition à ces polluants deviendrait quotidienne. Ce raisonnement sera plus amplement développé lors de la quantification des risques.

2. Démarche et état des lieux des données disponibles

Objectifs de la revue bibliographique et démarche suivie

L'objectif de la revue bibliographique est d'inventorier l'ensemble des données internationales disponibles relatives à la qualité des fumées émises lors d'un incendie domestique en terme d'évaluation (polluants présents, effets sur la santé, concentrations émises, existence de valeurs toxicologiques de référence).

La compilation de ces données a permis d'orienter les travaux du groupe de travail en fournissant les éléments de base pour :

- l'identification des polluants d'intérêt sanitaire (pertinents en terme d'exposition des primo-intervenants, au regard des concentrations attendues dans ces environnements ouverts et des effets connus sur la santé humaine), puis l'identification des polluants traceurs de la qualité des fumées inhalées par les primo-intervenants non protégés (utiles pour le suivi en routine) ;
- la définition *in fine* des mesures à réaliser lors des interventions en situation d'incident domestique.

Lors de cet inventaire, le groupe de travail a adopté les principes suivants :

- être protecteur de la santé publique, en n'écartant pas *a priori* de polluant ;
- être transparent en explicitant ses choix.

En pratique, il s'est avéré difficile de concilier respect du calendrier sans mise à l'écart de polluant. En effet, la bibliographie a indiqué que le nombre de polluants émis était très important et comprenait des polluants dont la toxicité était faible, dont les VTR étaient inexistantes et dont les concentrations émises n'avaient jamais été mesurées. Cette absence de donnée a fait partie des critères d'élimination des polluants traceurs. Cette démarche de sélection des polluants traceurs sera plus amplement explicitée dans le chapitre II.3. de ce rapport.

Dans un premier temps, la démarche d'identification des polluants émis lors d'un incendie domestique sera explicitée. La démarche de recherche des concentrations émises, des effets sur la santé et des VTR pour les polluants identifiés sera ensuite détaillée.

Démarche « identification des polluants »

Lorsque le projet a été lancé, des recherches ont été réalisées sur le moteur de recherche « Google » et le moteur de recherche d'information scientifique « Google Scholar », en anglais et en français avec les mots clés « incendies domestiques », « polluants ET incendies domestiques », « polluants ET fumées ET incendies domestiques », « exposition ET incendies ET primo-intervenants » («toxic, fire, firefighter, smoke, house fire, risk assessment, exposure... »). Des recherches ont également été effectuées sur des bases de données bibliographiques telles que le catalogue de la bibliothèque de l'EHESP et la base de données biomédicale Medline (avec une recherche préalable sur CISMEF afin d'avoir les bons termes de recherche en anglais).

Ces recherches se sont révélées infructueuses car très peu d'articles scientifiques avaient été trouvés sur le sujet.

Le groupe de travail s'est alors demandé s'il existait une « habitation type » qui permettrait d'avoir la « composition type » d'une maison ou d'un appartement et donc de connaître les polluants émis lors de la combustion et leur proportion. L'existence d'une telle composition paraissant en réalité assez peu probable, il a été décidé d'identifier les principaux composants combustibles d'une habitation: bois/colles, plastiques, tissus d'ameublement, mousses (canapés, matelas...), caoutchouc, ...

Plusieurs articles ont alors été trouvés concernant cette question. Ainsi, (Stefanidou, Athanasis, & Spiliopoulou, 2008), (Hartzell, 1996) et (Laitinen, Makela, Mikkola, & Huttu, 2010) ont permis d'identifier de nouveaux polluants et de les corrélés avec leur source. De nouveaux articles concernant le sujet : les articles cités en référence ont été recherché ; lors de cette recherche, d'autres articles et documents pertinents ont été trouvés.

A partir de cette bibliographie, de nombreux polluants émis lors d'un incendie domestique ont pu être identifiés. Certains documents n'étaient pas spécifiques aux incendies domestiques mais grâce à l'identification des principaux matériaux d'une habitation, les polluants non pertinents ont été écartés.

Démarche « concentration des polluants »

La recherche des concentrations des polluants dans l'air expiré par les primo-intervenants s'est faite en parallèle avec la recherche des polluants eux-mêmes. Ainsi, lors de la recherche bibliographique, l'article (WHO IARC, 2010) a permis à la fois d'élaborer un début de liste de polluants et de leur attribuer une concentration dans l'air enfumé, au coeur de l'incendie. Les auteurs de cette publication se sont intéressés aux polluants les plus dangereux pour la santé (en les classifiant selon leur potentiel cancérigène, classification IARC) qui se retrouvent dans les fumées d'incendies domestiques. Par la suite, c'est en tapant dans le moteur de recherche de Science Direct les mots clés contenant à la fois le nom du polluant dont la concentration était inconnue et les mots clés tels que : « fire, gas, concentration, exposure » que le groupe de travail a obtenu une bibliographie contenant les concentrations de certains polluants dans l'air lors d'un incendie. Le groupe de travail a donc trouvé des articles tels que (K.Sumii, 1978), (Dawn M.). Il faut cependant noter que ces

références ne sont pas très abondantes et que peu de mesures ont été réalisées dans le cas d'un incendie domestique. De plus, les techniques de mesure des polluants diffèrent d'une publication à une autre, ce qui rend les concentrations difficilement comparables. Cependant, le groupe de travail a décidé de garder le plus de concentrations trouvées possibles afin d'avoir une base chiffrée pour pouvoir attribuer à un maximum de polluants un rapport ou un produit [Concentration du polluant dans l'air vs VTR] dans le but d'avoir une hiérarchisation de ceux-ci la plus fidèle possible à la réalité.

Démarche « VTR » et effets sur la santé

La recherche des Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) s'est fait selon une série de critères bien précis. Par ordre d'importance, en termes de fiabilité et de transparence, il a été retenu :

- Dans un premier temps, de se baser sur les VTR des substances répertoriées dans le rapport rédigé par l'AFSSET (AFSSET, Janvier 2007) . En effet, ce rapport constitue une source sûre et récente sur laquelle nous avons pu nous appuyer. Pour chacun des polluants, la VTR la plus appropriée a été choisie par expertise toxicologique selon des critères de méthodologie et de plausibilité des scénarios d'exposition (explication claire et transparente de la méthode appliquée pour établir la VTR, adéquation des données toxicologiques permettant d'élaborer la VTR et des données d'exposition, adéquation des fréquences d'exposition entre les données sources et les scénarios humains retenus) ainsi que selon des critères relatifs à la qualité des données sources utilisées (privilégier les données humaines aux données animales, retenir les VTR et les études critiques les plus récentes). En cas d'égalité vis à vis de ces critères (et seulement dans ce cas), la valeur numérique la plus protectrice pour la santé a été conservée.
- Dans un deuxième temps, pour les substances non répertoriées dans le rapport suscitée, le choix des VTR a été orienté par le rapport de l'INERIS (M. B. S. V. B. L. R. C. G. INERIS, 17/03/2009). En effet, dans ce rapport, l'INERIS établit un inventaire des VTR données par six des principaux organismes et agences expertes reconnus (OMS, US EPA, ATSDR, Santé Canada, RIVM et OEHHA) pour une substance donnée. Il a été distingué dans ce dernier.
 - Les VTR disponibles pour les substances ayant fait l'objet d'une fiche de données toxicologiques environnementales de l'INERIS. Une mise à jour ayant été effectuée au mois de décembre 2008, les VTR rapportées correspondent aux plus récentes disponibles à ce jour.
 - Les VTR choisies et construites par l'INERIS. Pour ces dernières, l'INERIS s'est basé sur une démarche sensiblement équivalente à celle préconisée par les experts du rapport précédent établi par l'Afsset en 2007 (choix de l'étude la plus récente, favoriser les études chez l'homme, favoriser les VTR dont la justification des organismes est bien détaillée). Les VTR choisies et/ou construites par l'INERIS ont été privilégiées. Pour celles n'ayant pas fait l'objet d'une telle démarche, les mêmes critères que ceux utilisés précédemment par les membres du groupe de travail de l'Afsset d'une part et par l'INERIS d'autre part, ont été mis en œuvre.
- Dans un troisième temps, les VTR non trouvées au niveau de ces deux rapports ont été recherchées sur les bases de données de l'OEHHA (OEHHA, 2008), de l'US EPA (USEPA), du

site Internet de Santé Canada (Canada), et de l'INERIS (INERIS), les critères de sélection étant toujours identiques.

Certaines substances ne possèdent encore aucune VTR à l'heure actuelle. Pour toutes les autres, en se référant au scénario d'exposition envisagé, les VTR pour une exposition chronique par inhalation ont été retenues.

Les recherches des effets sur la santé des substances sélectionnées se sont effectuées en parallèle. Là aussi, seuls les effets chroniques sur l'homme ont été retenus. Les fiches toxicologiques de l'INRS (INRS) ont constitué la principale source pour décrire ces effets.

3. Identification des polluants d'intérêt sanitaire

a. Recensement des polluants émis, identification et quantification des dangers

Suite à l'étude bibliographique, 48 polluants émis dans les fumées d'incendie domestiques ont été identifiés. Le tableau ci-dessous associe à chaque polluant ses effets sur la santé, une VTR par type d'effet (à seuil ou sans seuil) et une concentration (concentration dans les fumées) (Tableau n°1).

Tableau 1: Inventaire des polluants émis dans les fumées d'incendie domestique

Polluant (Formule)	Famille du polluant	Effets sur la santé, organes cibles (pour une exposition chronique, études chez l'Homme, sauf indications contraires)	Concentration dans l'air	Nature de l'effet	VTR (pour une exposition chronique, sauf indication contraire)
Gaz inorganiques					
Monoxyde de carbone (CO)	Oxydes de carbone (COx)	- Céphalées, vertiges et asthénie, parfois associés à des troubles digestifs - Apparition d'effets toxiques cumulatifs résultats d'une exposition prolongée à faible dose (notamment sur le système cardio-vasculaire) - Effet foetotoxique	11,4 - 1087 ppm	A seuil	En aigüe : 23000 µg/m ³ (OEHHA) VTR construite à partir d'études sur l'Homme
Monoxyde d'azote (NO)	Oxydes d'azote (NOx)	Intoxication chronique avec des troubles irritatifs oculaires et respiratoires, favorise également le développement d'emphysème et d'infections pulmonaires	50 ppm	A seuil	En aigüe : 0,25 ppm (0,47 mg/m ³) (OEHHA 1999)
Dioxyde d'azote (NO ₂)		Exposition aigüe : Altération de la fonction pulmonaire chez les personnes sensibles (asthmatiques)		A seuil	200 µg/m ³ (OMS)
Protoxyde d'azote (N ₂ O)		- Altération du système immunitaire (réduction du nombre de lymphocytes B et de cellules tueuses naturelles) - Pathologies rénales et hépatiques chroniques		A seuil	En aigüe : 86 µg/m ³ (OEHHA) VTR construite à partir d'études sur l'Homme
Peroxyde d'azote (N ₂ O ₄)		<i>Idem NO</i>			
Dioxyde de soufre (SO ₂)	Oxydes de soufre	- Pharyngite et bronchite chronique accompagnées parfois d'emphysème et altération de la fonction pulmonaire - Augmentation du taux de mortalité par maladie respiratoire ou cardiovasculaire	0,2 - 41,7 ppm	A seuil	0,01 ppm (0,03 mg/m ³) (ATSDR 1998)

Ammoniac (NH ₃)	Pnictogène	Exposition - Irritation des muqueuses oculaires et respiratoires : bronchospasme et œdème laryngé puis œdème aiguë pulmonaire lésionnel - Secondairement, obstructions tronculaires et atélectasies La plus grande partie de l'ammoniac inhalé est retenue (transformée en ammoniaque) au niveau des voies aériennes supérieures.		A seuil	0,1 ppm (0,07 mg/m ³) (ATSDR 2004)
Composés Organiques Volatils (C.O.V.s)					
Formaldéhyde (CH ₂ O)	Aldéhydes et cétones	Irritations oculaire et nasale, obstruction nasale, métaplasie squameuse et dysplasie nasales	15 ppm	A seuil	3 µg/m ³ (OEHHA)
		Carcinomes des cellules squameuses de la cavité nasale (<i>chez le rat</i>)		Sans seuil	6.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA)
Acétaldéhyde (C ₂ H ₄ O)	Aldéhydes et cétones	Dermatoses irritatives et allergiques	8,1 ppm	A seuil	140 µg/m ³ (OEHHA 2008)
		Broncho-pneumopathies chroniques		Sans seuil	2,7. 10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA 2002)
Acroléine	Aldéhydes et cétones	<i>Effets dus à une exposition chronique non répertoriés</i> En exposition aiguë: Action immédiate intense sur les muqueuses respiratoires, associant dyspnée, toux et expectoration. Cas plus grave avec lésions des voies aériennes en quelques heures	150 ppm	A seuil	0,35 µg/m ³ (OEHHA 2008) <i>VTR construite à partir d'une étude basée sur une approche BMC, révisée par l'OEHHA</i>
Benzène (C ₆ H ₆)	Hydrocarbures aromatiques monocycliques	Diminution du nombre de lymphocytes	0,07 - 250 ppm	A seuil	9,7 µg/m ³ (ATSDR)

Benzène (C ₆ H ₆)	Hydrocarbures aromatiques monocycliques	Leucémie	0,07 - 250 ppm	Sans seuil	7,8.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (OMS, US EPA)
Toluène (C ₇ H ₈)	Hydrocarbures aromatiques monocycliques	- Syndrome psycho-organique (troubles de la mémoire, de la concentration, de la personnalité, insomnies, diminution des performances intellectuelles sans troubles ni altération de l'électroencéphalogramme) - Effets cancérogènes (groupe 3) - Effets sur la reproduction (risque de fausse couche tardive, retard de croissance intra-utérine)		A seuil	0,3 mg/m ³ (OEHA 2003)
Ethylbenzène (C ₈ H ₁₀)	Hydrocarbures aromatiques monocycliques	Asthénie, céphalées et irritation des yeux et des voies respiratoires	0,01 - 5,97 ppm	A seuil	0,3 ppm (ATSDR 2007)
		possibilité d'anomalies neurologiques fonctionnelles		Sans seuil	2,5.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHA 2007)
Xylène	Hydrocarbures aromatiques monocycliques	- Syndrome psycho-organique (troubles de la mémoire et de la concentration, insomnies, diminution des performances intellectuelles et troubles de la personnalité sans signe objectif) - Effets sur la reproduction (troubles menstruels chez la femme exposée à moins de 100 ppm, risque d'avortement spontané et de malformation congénitale car traverse de la barrière placentaire)		A seuil	0,1 mg/m ³ (US EPA 2003)
Styrène (C ₈ H ₈)	Hydrocarbures aromatiques monocycliques	- Atteinte du système nerveux central - Irritation oculaire, nasale et de la gorge ainsi que des voies aériennes inférieures	2,01 ppm	A seuil	0,9 mg/m ³ (OEHA 2003)

Trichloroéthylène (C ₂ HCl ₃)	Alcanes / hydrocarbures halogénés / alcènes	Atteintes neuropsychiques (syndromes psychosomatique et neurovégétatif)	0,181 ppm	Sans seuil	4,3.10 ⁻⁷ (µg/m ³) ⁻¹ (OMS 2000)
Tétrachloroéthylène (C ₂ Cl ₄)		- Dermatose orthoergique et irritation oculaire - Trouble de l'équilibre avec céphalées, discrète somnolence et difficultés d'élocution - Syndrome psycho-organique - Effets cancérigènes (groupe 2A) avec augmentation significative des risques de cancer de la langue, de la vessie, de l'œsophage, des intestins, des poumons et des cervicales	0,064 - 0,138 mg/m ³	Sans seuil	2.10 ⁻⁶ à 2.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹ (US EPA 2008)
Chlorure de vinyle (C ₂ H ₃ Cl)	Hydrocarbures halogénés	- Somnolence et asthénie - Atteinte trophique cutanée et osseuse - Atteinte digestive (ulcère, parfois hépatite) -> inflammation et désordre immunologique - Effets mutagène et cancérigène		A seuil	0,03 ppm (7,8.10 ⁻² mg/m ³) (ATSDR 2006)
				Sans seuil	4,4.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (US EPA 2000)
1,3-Butadiène (C ₄ H ₆)	Alcènes et alcynes	<i>Il n'existe pas de données mentionnant les effets chroniques de cette substance</i>	0,03 - 4,84 ppm	A seuil	2 µg/m ³ (US EPA 2002)
		Effet mutagène et cancérigène (groupe 1) : leucémie, lymphosarcome et réticulosarcome		Sans seuil	1,3.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹ (US EPA)
Dichlorométhane (CH ₂ Cl ₂)	Hydrocarbures halogénés	- En deçà de 100 ppm : il n'est pas constaté de modifications des fonctions neurocomportementales, respiratoires, cardiaques ou des paramètres biologiques - Au-delà : irritation des muqueuses oculaires et respiratoires ainsi que modification des fonctions neurologiques - Effet cancérigène (groupe 2B)	0,28 ppm	Sans seuil	4,7.10 ⁻⁷ (µg/m ³) ⁻¹ (US EPA 1986) <i>VTR construite à partir d'une étude basée sur des souris femelles</i>

Trichlorométhane (CHCl ₃)	Hydrocarbures halogénés	Apparition de signes neurologiques (céphalées, vertiges, somnolence), irritatifs (peau et muqueuses) et parfois anomalies hépatorénales (contact ?)	0,96 - 465 ppm	A seuil	9,8 µg/m ³ (ATSDR)
Composés Organiques Semi-Volatils (COSV)					
Naphtalène (C ₁₀ H ₈)	HAP	Malaises, céphalées et vomissements, cas d'anémies hémolytiques	0,01 - 2,14 ppm	A seuil	3 µg/m ³ (ATSDR)
		Adénomes de l'épithélium respiratoire nasal et neuroblastomes de l'épithélium olfactif (<i>chez le rat</i>)		Sans seuil	3,4.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA)
Benzo-a-pyrène (C ₂₀ H ₁₂)	HAP	Effet cancérogène (groupe 2)		Sans seuil	1,1.10 ⁻³ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA 1993)
Dioxines	PCB	- Irritation oculaire et respiratoire - Démangeaisons et céphalées pouvant être suivis de chloracné, d'atteinte neurologique centrale ou d'anomalies biologiques	0,2-2 ppm	A seuil	0,5.10 ⁻³ mg/m ³ (RIVM 2001) 0,1 (mg/m ³) ⁻¹ (US EPA 1997)
Furanne (C ₄ H ₄ O)				Sans seuil	
Benzofuranne (C ₈ H ₆ O)				Sans seuil	
TCDD (2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine) (C ₁₂ H ₄ O ₂ Cl ₄)	Dioxines, PCB			Sans seuil	38 (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA 2005)
Particules					
PM 10	Particules de suie	Diminution de la capacité pulmonaire : apparition d'asthme et syndromes chroniques de perte de capacité pulmonaire	25,7 mg/m ³		
PM 2,5		Cancer du poumon			

Métaux et métalloïdes					
Plomb (Pb)	Métaux	- Anémie (action du plomb sur les enzymes de la synthèse de l'hémoglobine) pour plombémie supérieure à 50 µg/100 mL - Atteinte de l'appareil digestif (liseré de Burton, taches de Gübler, «coliques de plomb», voir cytolysé hépatique et des crises de pancréatite aiguë) - Atteinte du système nerveux (altération des fonctions cognitives, neuropathie sensitivomotrices ou sclérose latérale amyotrophique) - Atteinte rénale (néphropathie tubulaire interstitielle, dans de rares cas : hyperuricémie) - Effets sur la reproduction (dysfonctionnement ovulatoire, des avortements, une prématurité ainsi qu'une augmentation de la mortalité et de la morbidité postnatales)	0,03 mg/m ³	A seuil	0,5.10 ⁻³ mg/m ³ (OMS 2002)
		Sans seuil		1,2.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHA 2005)	
		Chrome (Cr IV)	IV	Irritation des muqueuses nasales, atrophie et perforation	
		Effet cancérigène (groupe 1)		Sans seuil	4.10 ⁻² (µg/m ³) ⁻¹ (OMS, 2000)
Chrome (Cr III)	III			A seuil	6.10 ⁻² mg/m ³ (RIVM, 2001)

Cadmium (Cd)	Métaux	<ul style="list-style-type: none"> - Toxique cumulatif (évolution progressive des manifestations pathologiques) - Atteinte rénale (dysfonctionnement des tubules proximaux aboutissant au syndrome de Fanconi) - Atteinte pulmonaire (emphysème clinique et radiologique et trouble respiratoire obstructif, cas de rhinite, hyposmie et de bronchite chronique) - Atteinte osseuse (ostéomalacie en cas de tubulopathie) - Autres : dent jaune cadmique, troubles digestifs, signes d'irritation chronique des voies aériennes supérieures - Effet sur la reproduction (réduction du poids à la naissance, risque de rachitisme et du développement dentaire) 		A seuil	$5.10^{-3} \mu\text{g}/\text{m}^3$ (OMS, 2000)
				Sans seuil	$4,2.10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (OEHHA, 2002)
Arsenic (As)	Métalloïdes	<ul style="list-style-type: none"> - Atteinte cutanée, atteinte des muqueuses, chute des cheveux, stries de Mees, polynévrite sensitivomotrice - Atteinte sanguine - Dans une moindre mesure, atteintes digestives, hépatiques, rénales et des troubles cardiovasculaires - Effet mutagène et sur la reproduction 	0,14 mg/m ³	A seuil	$3.10^{-5} \text{mg}/\text{m}^3$ (OEHHA, 2005)
				Sans seuil	$3,3.10^{-3} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ (OEHHA, 2005)
Autres polluants chimiques					
Cyanure (HCN)	d'hydrogène Cyanures	<ul style="list-style-type: none"> - Effets généraux : céphalées, asthénie, vertiges, palpitations et perte de poids - Atteinte digestive : nausées, vomissements, gastralgies, parfois crampes abdominales; - Atteinte sensorielle : altérations des qualités olfactives et gustatives - Atteinte oculaire : conjonctivites - Effets endocriniens: goitre thyroïdien associé à une augmentation de la TSH et à une réduction de la fixation de l'iode par cette glande 	75 ppm	A seuil	$9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (US EPA 1999)

Acide chlorhydrique (HCl)	Acides minéraux	- Dermate d'irritation et conjonctivite - Ulcération de la muqueuse nasale et orale, épistaxie, gingivorragie - Erosion dentaire et bronchite chronique - Risque de cancer du larynx	13,3 ppm	A seuil	9 µg/m ³ (OEHHA) <i>VTR construite à partir d'études sur l'Homme</i>
Fluorure d'hydrogène (HF)		- Irritation de la peau, des muqueuses oculaires (conjonctivite, kératite) et respiratoires (épistaxis, pharyngite, laryngite, bronchopathie chronique) - Possible surcharge fluorée, la fluorose		A seuil	14 µg/m ³ (OEHHA 2003)
Phénol (C ₆ H ₆ O)	Hydrocarbures aromatiques	- Troubles digestifs, nerveux et cutanées - Atteinte hépatique et rénale dans les cas sévères		A seuil	0,2 mg/m ³ (OEHHA 2003)
Glutaraldéhyde (C ₅ H ₈ O ₂)	Aldéhydes	- Irritation des yeux, de la peau et des voies aériennes - Nausées, céphalées ou asthénies - Rhinite, rhino-conjonctivite et/ou asthme allergique		A seuil	0,08 µg/m ³ (OEHHA 2008) <i>VTR construite à partir d'une étude sur des souris</i>
Sulfure d'hydrogène (SH ₂)		Bronchites irritatives et irritation cutanée qui entraîne dans la majorité des cas un érythème douloureux et prurigineux	28,5 mg/m ³	A seuil	2.10 ⁻³ mg/m ³ (US EPA 2003)
Dichlorofluorométhane (CHCl ₂ F)		<i>Exposition à 0,1%, 8h/j, 5j/semaine avec un total de 17j d'exposition est parfaitement bien toléré</i>			<i>Aucune VTR trouvée sur les bases de données</i>
Pentachlorophénol (C ₆ HOCl ₅)	Chlorophénols	- Irritation des yeux et des voies respiratoires supérieures - Dermatoses (chloroacné)	14 - 300 µg/m ³	A seuil	4,7.10 ² µg/m ³ (OEHHA 1999)
				Sans seuil	4,6.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA 2002)
Trichlorophénol (C ₆ H ₃ Cl ₃ O)		- Chloroacné, perturbation des fonctions hépatiques, faiblesses neuromusculaires, porphyrie cutanée tardive et troubles psychiques divers - Risque de survenue de fibrose pulmonaire	0,1 mg/m ³	Sans seuil	3,1.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹

Silice (SiO ₂)		- Atteinte pulmonaire (silicose, maladie grave), survenue de maladies auto-immunes - Effet cancérigène (groupe 1)	0,04 - 0,35 mg/m ³	A seuil	3 µg/m ³ (OEHHA) <i>VTR construite à partir d'une étude basée sur l'approche BMC, sur l'Homme</i>
Bromure d'hydrogène (HBr)					<i>Aucune VTR trouvée sur les bases de données</i>
Phosgène (COCl ₂)		<i>Pas d'étude des effets en chronique</i>			En aigüe : 4 µg/m ³ (OEHHA) <i>VTR construite à partir d'une étude sur les rats</i>
Disulfure de carbone (CS ₂)		- Atteinte du système nerveux , avec notamment l'apparition de troubles neurocomportementaux et neuropathies périphériques infra-cliniques - Atteinte des organes des sens (rétinopathie bilatérale, hypoacousie) - Atteinte de l'appareil cardio-vasculaire (anomalies tensionnelles, augmentation de la fréquence des maladies ischémiques) - Atteinte de l'appareil respiratoire (maladies respiratoires aiguës et d'une sensibilité accrue au virus de la grippe) - Atteinte de l'appareil digestif (troubles digestifs, atteinte hépatique et pancréatique) - Atteinte de l'appareil génito-urinaire (chez l'homme : diminution de la libido, des troubles de la spermatogénèse et une augmentation des taux de FSH et LH; chez la femme : troubles menstruels)		A seuil	800 µg/m ³ (OEHHA) <i>VTR construite à partir d'une étude basée sur l'approche BMC, sur l'Homme</i>

<p>Acrylonitrile (C₃H₃N)</p>		<p>Irritations cutanée (parfois sévère), oculaire et/ou respiratoire</p>		<p>A seuil</p>	<p>5 µg/m³ (OEHHA) <i>VTR construite à partir d'une étude basée sur l'approche BMC, sur des rats</i></p>
--	--	--	--	----------------	---

b. Hiérarchisation et sélection des polluants prioritaires

La liste des polluants identifiés étant assez importante, il est nécessaire d'effectuer une hiérarchisation afin de déterminer les polluants prioritaires à mesurer pour la traçabilité des expositions. Aux vues des contraintes techniques et des possibilités métrologiques du LASEM, le nombre de polluants (ou de familles de polluants) à mesurer a été fixé à 5 ou 6.

Tout d'abord, les polluants n'ayant pas d'effet chronique sur la santé ont été éliminés.

Ensuite, pour les polluants pour lesquels une concentration dans l'air et une VTR ont été trouvées, une hiérarchisation a été réalisée selon une quantification approximative du danger :

- pour les effets à seuil, le rapport [Concentration dans l'air/VTR] a été calculé ;
- pour les effets sans seuil, le produit [Concentration dans l'air x VTR] a été calculé.

Les polluants obtenant les quantifications les plus importantes sont considérés comme les plus à risque. Ils sont identifiés en rose foncé dans les tableaux n°2 et 3. Les étapes intermédiaires de calcul permettant d'obtenir les ratios/produits sont présentées dans les tableaux de l'annexe.

Tableau 2: Hiérarchisation pour les polluants à effets à seuil selon le ratio [concentration/VTR]

Classement	Polluant	Ratio
1	Acroléine (C.O.V.)	9,84E+05
2	Trichlorométhane (C.O.V.)	2,31E+05
3	Benzène (C.O.V.)	8,24E+04
4	Sulfure d'hydrogène	1,43E+04
5	Cyanure d'hydrogène	9,22E+03
6	Formaldéhyde (C.O.V.)	6,15E+03
7	1,3-Butadiène (C.O.V.)	5,36E+03
8	Arsenic	4,67E+03
9	Naphtalène	3,74E+03
10	Dioxyde de soufre	3,65E+03
11	Acide chlorhydrique	2,21E+03
12	Silice	1,17E+02
13	Acétaldéhyde	1,05E+02
14	Plomb	6,00E+01
15	Ethylbenzène	2,00E+01
16	Styrène	9,52E+00
17	Pentachlorophénol	6,38E-01

Tableau 3: Hiérarchisation pour les polluants à effets sans seuil selon le produit [concentration*VTR]

Classement	Polluant	Produit
1	Benzène (C.O.V.)	6,23E+00
2	Arsenic	9,90E-01
3	1,3-Butadiène (C.O.V.)	1,46E-01
4	Formaldéhyde (C.O.V.)	1,11E-01
5	Ethylbenzène (C.O.V.)	4,61E-02
6	Acétaldéhyde (C.O.V.)	3,95E-02
7	Plomb	1,17E-02
8	Naphtalène	4,76E-03
9	Tetrachloroéthylène (C.O.V.)	2,76E-03
10	Pentachlorophénol	1,38E-03
11	Dichlorométhane (C.O.V.)	4,58E-04
12	Trichloroéthylène (C.O.V.)	4,19E-04
13	Trichlorophénol	3,23E-05

Les polluants obtenant les ratios (ou produits) [concentration/VTR] les plus défavorables sont les suivants :

- Acroléine
- Trichlorométhane
- Benzène
- Formaldéhyde
- Butadiene
- Ethylbenzene
- Acétaldéhyde
- H₂S
- HCN
- Arsenic
- Naphtalène
- Plomb

Dans un souci de précision, un deuxième classement, comprenant les 48 polluants, a été effectué en se basant sur le critère « gravité de l'effet pour des populations exposées de manière chronique ».

Un premier sous-groupe a été constitué dans lequel les substances ayant fait l'objet d'une monographie du CIRC sur l'évaluation des risques de cancérogénicité pour l'homme ont été incluses. Ce sous-groupe répertorie donc les substances avec un effet cancérigène plus ou moins avéré. Au sein de ce dernier, les substances ont été classifiées selon les catégories prédéfinies dans le préambule du CIRC, à savoir :

- Groupe 1, l'agent est cancérogène pour l'homme
- Groupe 2A, l'agent est probablement cancérogène pour l'homme
- Groupe 2B, l'agent est peut-être cancérogène pour l'homme
- Groupe 3, l'agent est inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme
- Groupe 4, l'agent n'est probablement pas cancérogène pour l'homme.

Le groupe 1 se rapporte à l'effet le plus grave ; le 4, à l'effet le moins grave.

Pour les autres substances (non cancérigènes), une série de critères par ordre décroissants en termes de gravité a été pris en compte :

- « effet sur la reproduction » et « toxicité vis à vis du fœtus »
- « effet sur l'appareil cardio-vasculaire »
- « effet neurologique/neuropsychique sévère »
- « altération du système immunitaire »
- « perturbation du système endocrinien »
- « atteinte du système respiratoire sévère »
- « pathologies rénales et hépatiques »
- « trouble psychoorganique »
- « irritation respiratoire, oculaire et cutanée »
- « atteinte des voies aériennes supérieures »
- « troubles digestifs »
- « céphalées, vertiges et asthénie »
- « tolérance en exposition chronique »

Les distinctions entre certaines substances ont parfois été difficiles à établir. La hiérarchisation ainsi obtenue est donc une approximation classifiant plutôt des catégories que les substances prises une à une.

Le tableau ci-dessous classe les polluants par ordre décroissant de gravité de l'effet (Tableau n°4). Les polluants en rouge sont ceux pour lesquels aucune concentration ou VTR n'a été trouvé et qui n'apparaissent donc pas dans la première classification. Suite à une demande du LASEM, ces polluants ne sont pas classés prioritaires pour les mesures, mais sont identifiés pour un potentiel futur besoin ("justification" en cas de demande de construction de VTR ou de mesure de concentrations).

Tableau 4: Hiérarchisation des polluants selon leurs effets sur la santé

Classement (par ordre décroissant d'effet sur la santé)	Polluant
1	Benzène
2	Silice
3	Chrome
4	1,3-Butadiène
5	Benzo-a-pyrène
6	Tetrachloroéthylène
7	Dichlorométhane
8	Toluène
9	Arsenic
10	Chlorure de vinyle
11	Plomb
12	Monoxyde de carbone
13	Xylène
14	Cadmium
15	Acide chlorhydrique
16	Trichloroéthylène
17	Disulfure de carbone
18	Styrène
19	Dioxyde de soufre
20	Trichlorophénol
21	Cyanure d'hydrogène
22	Protoxyde d'azote
23	Monoxyde d'azote / Peroxyde d'azote
24	Formaldéhyde
25	Ethylbenzène
26	PCB
27	Sulfure d'hydrogène
28	Phénol
29	Acétaldéhyde
30	Fluorure d'hydrogène
31	Naphtalène
32	Pentachlorophénol
33	Glutaraldéhyde
34	Trichlorométhane
35	Acrylonitrile
36	Dichlorofluorométhane

C. Résumé sur les polluants prioritaires

En combinant les différents classements de polluants, le groupe de travail a décidé de se focaliser sur six polluants ou familles de polluants. En effet, l'objectif du travail étant entre autre de pouvoir équiper les primo-intervenants d'appareils de mesures afin de quantifier leur exposition, le groupe de travail a considéré qu'il était important de regrouper les polluants mesurables ensemble. Ainsi, ont été regroupés les polluants étant les mieux classés dans la partie 3.2 et pouvant être mesurés ensemble :

- Les Composés Organiques Volatils (C.O.V.) peuvent être regroupés en un prélèvement (comme il sera vu dans le chapitre III "Métrologie"). Ainsi, aux C.O.V. identifiés lors de la quantification approximative de danger, C.O.V. ayant les ratios/produits les plus défavorables (dichlorométhane, acroléine, trichlorométhane, benzène, formaldéhyde, butadiène, éthylbenzène, acétaldéhyde), ont été ajoutés les autres C.O.V. pour lesquels les ratios/produits sont moins défavorables mais importants (styrène, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, dichlorométhane) et les C.O.V. pour lesquels cette classification n'a pas été possible mais qui se retrouvaient en première moitié de liste de la hiérarchisation sur les effets sur la santé (toluène, xylène, chlorure de vinyle).
- Les métaux et métalloïdes peuvent être mesurés en groupe (cf. chapitre III). Le plomb et l'arsenic sont ainsi regroupés en une mesure.

Le groupe de travail a donc estimé que les cinq polluants/familles de polluants les plus judicieux à mesurer lors d'une intervention de primo-intervenants étaient les suivants:

- C.O.V.
- H₂S
- HCN
- Métaux et métalloïdes (arsenic et plomb)
- Naphtalène

Les polluants prioritaires ayant été identifiés, le groupe de travail en a caractérisé le risque associé.

II. Évaluation des expositions et caractérisation du risque

Une fois le nombre de polluants/familles réduit par les étapes précédentes, la quantification du risque sanitaire peut-être effectué pour les substances dont les données le permettent.

1. Identification du Budget Espace-Temps

Il a été décidé qu'un primo-intervenant pouvait être exposé à une situation d'incendie domestique 8 heures par jour, 5 jours par semaine, 10 mois sur 12 pendant 40 ans. Cela revient à une exposition d'environ 8 ans sur une vie de 70 ans. Ce budget espace-temps (BET), sans doute excessif, est pris par précaution (cf. chapitre IV).

2. Calculs des RD et des ERI

La quantification du risque sanitaire se fait en calculant des quotients de danger (QD) pour les substances présentant des effets à seuil, ou/et par le calcul des excès de risque individuel (ERI) pour les substances présentant des effets sans seuil.

Cette quantification va permettre de distinguer les polluants ayant un risque acceptable de ceux ayant un risque non acceptable. Les valeurs permettant de distinguer un risque acceptable d'un risque non acceptable sont 1 pour le QD et 10^{-6} pour l'ERI (valeurs de l'OMS).

a. Rappel sur le calcul des QD et des ERI

- Calculs des Quotients de Danger QD pour l'inhalation : $QD = CI / CAA$

avec : $CI = \text{Concentration moyenne Inhalée}$
 $= \text{concentration dans les fumées} * T/Tp = \text{concentration dans les fumées} * 8/70$
 $CAA = \text{Concentration Atmosphérique Admissible} = VTR$

- Calculs des Excès de Risque Individuels ERI pour l'inhalation : $ERI = DJE * T/Tp * ERU$

avec : $DJE = \text{Dose Journalière d'Exposition} = \text{concentration dans les fumées}$
 $ERU = \text{Excès de Risque Unitaire} = VTR$

b. Calculs des QD et ERI

La quantification de risque est effectuée pour les polluants identifiés dans la partie I.3.3 (cf. tableaux n°5 et 6).

Tableau 5: Calcul des QD pour les polluants sélectionnés à effets à seuil

Polluant	VTR (g/m ³)	Concentration (g/m ³)	QD
Acroléine	3,50E-07	3,44E-01	1,12E+05 QD > 1
Trichlorométhane	9,80E-06	2,27E+00	2,64E+04 QD > 1
Benzène	9,70E-06	7,99E-01	9,42E+03 QD > 1
Hydrogène sulfuré	2,00E-06	2,85E-02	1,63E+03 QD > 1
Cyanure d'hydrogène	9,00E-06	8,30E-02	1,05E+03 QD > 1
Formaldéhyde	3,00E-06	1,84E-02	7,03E+02 QD > 1
Butadiène	2,00E-06	1,07E-02	6,12E+02 QD > 1
Arsenic	3,00E-08	1,40E-04	5,33E+02 QD > 1
Naphtalène	3,00E-06	1,12E-02	4,28E+02 QD > 1
Acétaldéhyde	1,40E-04	1,46E-02	1,20E+01 QD > 1
Plomb	5,00E-07	3,00E-05	6,86E+00 QD > 1
Ethylbenzène	1,30E-03	2,59E-02	2,28E+00 QD ≈ 1
Styrène	9,00E-04	8,57E-03	1,09E+00 QD ≈ 1

Tableau 6: Calcul des ERI pour les polluants sélectionnés à effets sans seuil

Polluant	VTR (g/m ³)	Concentration (g/m ³)	ERI
Benzène	7,80E+00	7,99E-01	7,12E-01 ERI > 10 ⁻⁶
Arsenic	3,30E+03	1,40E-04	1,13E-01 ERI > 10 ⁻⁶
Butadiène	1,30E+01	1,07E-02	1,67E-02 ERI > 10 ⁻⁶
Formaldéhyde	6,00E+00	1,84E-02	1,26E-02 ERI > 10 ⁻⁶
Ethylbenzène	2,50E+00	2,59E-02	5,27E-03 ERI > 10 ⁻⁶
Acétaldéhyde	2,70E+00	1,46E-02	4,52E-03 ERI > 10 ⁻⁶
Plomb	1,20E+01	3,00E-05	1,34E-03 ERI > 10 ⁻⁶
Naphtalène	3,40E+01	1,12E-02	5,44E-04 ERI > 10 ⁻⁶
Tetrachloroéthylène	2,00E+01	1,38E-04	3,15E-04 ERI > 10 ⁻⁶
Dichlorométhane	4,70E-01	9,75E-04	5,24E-05 ERI > 10 ⁻⁶
Trichloroéthylène	4,30E-01	9,75E-04	4,79E-05 ERI > 10 ⁻⁶

Excepté pour le styrène qui a un QD proche de 1, les risques calculés pour les autres polluants ne sont pas acceptables car, soit le quotient de danger est supérieur à 1, soit l'excès de risque individuel est supérieur à 10^{-6} . Ces polluants sont donc conservés dans la liste des polluants à mesurer.

Remarque : L'éthylbenzène et le plomb ont également un QD proche de 1 mais un ERI $> 10^{-6}$ donc sont conservés.

3. Polluants traceurs à mesurer

Les polluants/familles de polluants à mesurer prioritairement au cours des interventions sont donc les suivants :

- C.O.V. (acroléine, trichlorométhane, benzène, formaldéhyde, 1,3-butadiène, éthylbenzène, acétaldéhyde, trichloroéthylène, tétrachloroéthylène, dichlorométhane, toluène, xylène, chlorure de vinyle)
- H₂S
- HCN
- Métaux et métalloïdes (arsenic et plomb)
- Naphtalène

III. Métrologie

A ce jour, la traçabilité des expositions subies par les primo-intervenants est impossible car il n'existe aucune donnée expérimentale rendant compte de cette exposition. L'objectif de cette partie est donc de déterminer des moyens de mesures ou de prélèvements pour les polluants ciblés dans le chapitre précédent. Ces moyens doivent être adaptés aux contraintes des primo-intervenants (simplicité d'utilisation, autonomie, légèreté, non dangereux, ...). Le LASEM souhaite ainsi pouvoir mettre rapidement en oeuvre des mesures systématiques d'exposition, soit individuelles, soit « d'ambiance », pour toutes les interventions à Toulon et/ou Marseille.

La traçabilité des expositions n'a pas pour objectif d'impacter la conduite immédiate des opérations. Elle a pour objectifs :

- une tenue à jour des registres médicaux professionnels ;
- une prévention du contentieux, ou au contraire, une initiation de démarches de réparation ;
- un retour d'expérience et, si besoin, une construction de valeurs toxicologiques pertinentes pour certaines substances si des effets sanitaires sont dans le futur constatés, voire des propositions d'autres mesures de gestion ;
- une mise en place de prévention secondaire : suivi médical, traitement particulier ... s'il est constaté que les expositions ont été importantes ;
- une orientation éventuelle d'études biométriologiques ou épidémiologiques.

Dans le cas de l'étude, le groupe de travail s'est accordé à garder les familles de polluants ou polluants à mesurer suivants:

- C.O.V.
- H₂S
- HCN
- Métaux et métalloïdes (arsenic et plomb)
- Naphtalène

Ainsi, différents moyens de prélèvement des polluants dans l'air entourant les primo-intervenants et facilement réalisables sur le terrain ont été trouvés dans les fiches techniques du site de l'(INRS). Les techniques de prélèvement et de mesures (en laboratoire) de nos polluants sélectionnés sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 7: Techniques de prélèvement et d'analyse pour les polluants prioritaires à mesurer

Famille	Polluants	N° CAS	Matériel de prélèvement	Badge GABIE validé expérimentalement	Méthode d'analyse
Aldéhydes	Acroléine	107-02-6	- Tube de verre, longueur 150 m, Øintérieur 8 mm contenant de 250 à 500 mg de gel de silice (35 à 70 mesh) imprégné de DNPH maintenu par 2 tampons de laine de verre	Non	Chromatographie liquide haute performance, détection UV
	Formaldéhyde	50-00-0	- Ou cartouche constituée d'un corps de seringue en verre contenant 500 mg de gel de silice imprégné à 1% de DNPH, maintenu par des pastilles en Téflon	Non	
	Acétaldéhyde	75-07-0	- Ou support commercial prêt à l'emploi	Non	
Hydrocarbures halogénés	Dichlorométhane	75-09-2	- Tube en verre, longueur 70 mm, Ø intérieur 4 mm, contenant deux plages de 160 et 80 mg de Carboxen 564 (tube ORBO™90) - Ou badge (échantillonneur par diffusion)	Oui	Chromatographie en phase gazeuse, détection par ionisation de flamme (FID)
	Trichlorométhane = chloroforme	67-66-3	- Tube de prélèvement : ✓ Tube type NIOSH, longueur 70 mm, Ø intérieur 4 mm, contenant deux plages de 100 et 50 mg de charbon actif (TCAN) ✓ Ou tube en verre, longueur 150 mm, Ø intérieur 8 mm, contenant deux plages de 900 et 300 mg de charbon actif (TCA)	Oui	Chromatographie en phase gazeuse, détection par ionisation de flamme (FID)
	Trichloroéthylène	79-01-6		Oui	
	Tétrachloroéthylène	127-18-4		Oui	
		- Ou badge (échantillonneur par diffusion)			

	Chlore de vinyle = chloroéthylène	75-01-4	/	Oui	/
Hydrocarbures aromatiques monocycliques	Benzène	71-43-2	- Tube de prélèvement : ✓ Tube type NIOSH, longueur 70 mm, Ø intérieur 4 mm, contenant deux plages de 100 et 50 mg de charbon actif (TCAN) ✓ Ou tube en verre, longueur 150 mm, Ø intérieur 8 mm, contenant deux plages de 900 et 300 mg de charbon actif (TCA) - Ou badge (échantillonneur par diffusion)	Oui	Chromatographie en phase gazeuse, détection par ionisation de flamme (FID) ou par spectrométrie de masse
	Ethylbenzène	100-41-4		Oui	
	Toluène	108-88-3		Oui	
	Xylène	1330-20-7		Oui	
Alcènes et alcynes	1,3-Butadiène	106-99-0	Tube en verre type NIOSH (TCAN), longueur 70 m, Ø intérieur 4 mm contenant 2 plages de 100 et 50 mg de charbon actif, séparées et maintenues par des tampons de laine de verre	Non	Chromatographie en phase gazeuse, détection par ionisation de flamme (FID)
TOUS LES C.O.V.		/	Tube de prélèvement multi-phase Carbotrap TM 349 contenant successivement une plage de Carbopack Y 40/60 mesh, une plage de Carbopack B 40/60 mesh et une plage de Carboxrn 1003 40/60 mesh. Le Carbopack Y piège les substances dont la volatilité est équivalente aux alcanes de la gamme nC7 à nC20, le Carbopack B, les substances de nC5 à nC12 et les Carboxen 1003, les substances très volatiles tels que certains gaz permanents et les hydrocarbures très légers dont la température d'ébullition est supérieure à -60°C.	/	Désorbeur thermique couplé avec une ligne de transfert en silice chauffée à 180-220°C. CPG adaptée pour recevoir des colonnes capillaires 0,25 mm ou 0,32 mm. Spectromètre de masse avec bibliothèques de spectres. Balance analytique. Système d'intégration des données. Clefs plates 1/2" et 9/16" Problème : mesure semi-quantitative

Cyanures	Cyanure d'hydrogène	74-90-8	Cassette porte-filtre, Ø 25 mm, contenant un filtre en cellulose imprégné de soude	/	- Chromatographie ionique avec détection conductimétrique - Ou potentiométrie directe par électrode spécifique
	Sulfure d'hydrogène	7783-06-4	Cassette porte-filtre, Ø 37 mm, contenant : * 2 filtres en fibre de quartz imprégnés d'une solution d'acétate de cadmium + glycérol, * un tampon de cellulose humidifié juste avant prélèvement	/	Spectrophotométrie d'absorption moléculaire dans le visible
HAP	Naphtalène	91-20-3	- Tube de prélèvement : ✓ Tube type NIOSH, longueur 70 mm, Ø intérieur 4 mm, contenant deux plages de 100 et 50 mg de charbon actif (TCAN) ✓ Ou tube en verre, longueur 150 mm, Ø intérieur 8 mm, contenant deux plages de 900 et 300 mg de charbon actif (TCA) - Ou badge (échantillonneur par diffusion)	Oui	Chromatographie en phase gazeuse, détection par ionisation de flamme (FID) ou par spectrométrie de masse
Métaux et métalloïdes	Arsenic	7440-38-2	Cassette porte-filtres, Ø 37 mm, contenant : * 1 filtre en fibre de quartz imprégné d'une solution de Na ₂ CO ₃ à 10% et de glycérol à 5% (QIAS), * 2 filtres en fibres de quartz imprégnés de 500 µL de solution de nitrate d'argent à 10% (QIAG)	/	- Spectrométrie d'absorption atomique (concentrations faibles) - Ou spectrométrie d'émission à plasma (concentrations plus fortes)

Plomb	7439-92-1	Cassette porte-filtres, Ø 37 mm, contenant 1 filtre en fibre de quartz	/	<ul style="list-style-type: none"> - Spectrophotométrie d'absorption atomique flamme : SAA flamme (air - acétylène ou oxyde nitreux - acétylène) - Spectrophotométrie d'absorption atomique avec atomisation électrothermique (four graphite) : SAA-AET - Spectrométrie d'émission à plasma (ICP/DCP)
-------	-----------	--	---	--

Le groupe de travail a décidé de privilégier les méthodes de prélèvement suivantes:

- Badge (dichlorométhane, trichlorométhane, benzène, éthylbenzène)
- Casquette porte-filtres (HCN, H₂S, arsenic, plomb)
- Tube de prélèvement avec pompe (C.O.V., naphtanène)

Ces méthodes sont des méthodes facilement utilisables sur le terrain avec plus ou moins de complexité. Tout d'abord, le badge {arelco, 2011 #19} , {arelco, 2011 #20} est facile à porter, léger, il peut passer inaperçu et est donc sans contrainte pour le primo-intervenant. La casquette porte-filtre est, quant à elle, très intéressante d'un point de vue des polluants mesurés mais peut être plus compliquée à mettre en place qu'un badge. En effet, si le primo-intervenant porte déjà un casque, il va sans doute falloir penser à adapter quelque peu l'appareil pour que celui-ci ne mette pas en danger le porteur (il ne faudrait pas que l'intervenant porte une simple casquette au détriment de son casque). Enfin, le tube de prélèvement avec pompe, est un système qui convient pour le prélèvement des C.O.V., cependant il est le moyen de prélèvement le plus contraignant. En effet, porter une pompe sur soi pendant la durée de l'intervention peut gêner le primo-intervenant dans son activité. Cependant, il ne faut pas oublier le bénéfice d'une telle mesure ; c'est pourquoi il semble important de se pencher sur cet éventuel problème afin que les mesures soient faites dans les meilleures conditions qui soient pour l'intervenant.

Concernant les prélèvements, étant donné que le tube de prélèvement proposé par l'INRS (fiche 107, technique 62) est une méthode permettant un dosage semi quantitatif de la grande majorité des C.O.V., le groupe de travail a trouvé judicieux d'en mesurer quelques uns séparément grâce au badge GABIE qui permet, quant à lui, une mesure quantitative des polluants. Ainsi, une fois les valeurs des dichlorométhane, trichlorométhane, benzène et éthylbenzène et connaissant les rapports entre ceux-ci et les autres C.O.V., on pourra s'attendre à améliorer la quantification de ces derniers passant alors d'une mesure semi-quantitative à une mesure certes imprécise mais plus quantitative.

Il est à noter que les méthodes de mesures de tous ces composés requièrent des appareils complexes (CPG, spectrométrie de masse, spectrométrie d'absorption atomique, ...), le coût des mesures sera très vraisemblablement élevé. Cependant, si l'on veut que les mesures soient de bonnes précisions (en comparaison à des méthodes colorimétriques par exemple), de tels appareils sont indispensables. Il serait donc intéressant de mener une enquête bénéfice/coût d'une telle campagne de mesure.

IV. Limites de l'étude et recommandations

Lors de cette étude, des incertitudes portant sur un nombre non négligeable de facteurs ont pu compromettre le degré de risque encouru lors de l'intervention de primo-intervants en situation d'incendie domestique. Ces incertitudes ont alors été à l'origine soit d'une sur-estimation du risque, soit d'une sous-estimation du risque, ou encore d'un manque de précision dans la démarche d'évaluation de ce risque.

1. **Éléments contribuant à une sous-estimation du risque**

Tout d'abord, lors de la phase d'identification des polluants présents dans les fumées émises lors d'un incendie domestique, ces derniers ont été sélectionnés dans des publications traitant de sujets similaires, pour la plupart expérimentaux, pour lesquels des mesures de détection et de quantification avaient été entreprises. Il s'agit donc de substances dont la mise en évidence de leur présence avait été décidée dès le début de l'expérience. Seul ce qui a souhaité être mesuré l'a effectivement été. De ce fait, certaines substances ont été écartées alors que leur présence aurait pu être avérée. Même si un recoupement entre différentes publications a été effectué, une sous-estimation du risque n'a pu être empêchée à ce niveau.

De plus, en retenant les fumées des principaux composants combustibles d'une habitation, l'hétérogénéité et la diversité de ces derniers ne sont pas prises en compte, critères qui pourraient intervenir au niveau de la composition des fumées émises et donc des polluants présents. Il y a là aussi une sous-estimation du risque encouru.

Lors de la recherche des concentrations des polluants identifiés dans les fumées d'incendies domestique, un bon nombre de valeurs n'ont pas été trouvées dans la littérature : le cas des substances jamais mesurées. Sans concentration pour effectuer la classification des substances en fonction du ratio concentration/VTR, il a donc fallu les éliminer. Cela a conduit là encore à se soustraire de substances potentiellement dangereuses et a sous-estimé un fois de plus le risque encouru.

Au niveau du scénario d'exposition, seules des expositions chroniques ont été retenues aussi bien pour le choix des VTR que sur l'effet des polluants sur la santé. Les expositions chroniques présentent des effets moins sévères, du moins sur le cours terme (non constatables dans l'immédiat), ce qui sous-estime l'impact des composés sur la santé si l'exposition s'avérait être plus importante que prévue (en cas d'exposition aiguë). A l'inverse, les VTR retenues sont plus faibles que pour les expositions aiguës ce qui pourrait, dans ce cas, sur-estimer les risques.

2. Éléments contribuant à une sur-estimation du risque

Considérant le budget espace-temps, la version la plus extrême a été choisie. En effet, une exposition continue de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, 10 mois sur 12 pendant 40 ans a été retenue pour l'étude. Or, les primo-intervenants ne restent pas toujours cantonnés à des interventions types incendie, ils ne seront donc pas systématiquement exposés de manière si intense vis à vis de polluants sélectionnés. Une sur-estimation du risque a donc eu lieu.

Cependant, certaines substances identifiées lors de cette étude peuvent également avoir été identifiées pour d'autres interventions (incendies de bateaux, de biomasses (forêts), ...). Dans ce cas, l'exposition des primo-intervenants à ces polluants deviendrait réellement quotidienne. Il serait intéressant d'approfondir ce raisonnement.

Lors du choix des VTR, tout autre critère étant égale par ailleurs (date de l'étude, individus testés, transparence de la démarche, etc.), les VTR retenues ont été celles présentant la valeur la plus protectrice. Les ratios (ou produits) [concentration vs VTR] ont donc été d'autant plus grands. Une sur-estimation a donc été faite à ce niveau.

Concernant les concentrations des polluants, celles-ci sont issues de la bibliographie et ont été mesurées au coeur de l'action. Etant donné qu'ici le scénario envisagé est celui d'un primo-intervenant à au moins à quelques mètres du coeur de l'action, on peut considérer qu'il sera sans doute exposé à des concentrations en polluant plus faibles. Le risque a donc été surestimé lors de son calcul.

3. Éléments contribuant à une imprécision sur le risque

Les effets des polluants ont tous été considérés individuellement. L'effet synergique possible entre tel et tel polluant n'a pas été pris en compte. Ceci peut conduire à une sous/sur-estimation du risque, dans tous les cas à une imprécision dans la démarche d'évaluation de risque.

En se basant uniquement sur des concentrations renseignées dans la littérature, l'étude s'est effectuée à l'aide de quelques cas particuliers qui ne reflètent en rien la réalité. De plus, les concentrations des polluants dans l'air ont été extraites de différentes publications ayant des moyens de mesure différents et induisant donc sans doute un problème dans la comparaison des valeurs. Il y a donc ici aussi un manque de précision dans la démarche.

Lors de la classification des polluants identifiés dans les fumées en fonction de leur gravité, leurs effets sur la santé peuvent se recouper, présenter des effets délétères équivalents ou encore avoir des effets dont la gravité est avant tout subjective (par exemple, est-il préférable d'avoir des « troubles digestifs » ou subir « céphalées, vertiges et asthénie »?). Tout en essayant d'être le plus objectif possible et en se basant sur des données médicales scientifiquement approuvées, un manque certain de connaissance et de ressenti vécu n'a pu être empêché à ce niveau.

Enfin, la biodisponibilité des polluants traceurs n'a pas du tout été prise en compte. Sachant que la toxico-cinétique et que la toxico-dynamique peuvent également différer d'une espèce à l'autre et

d'un individu à l'autre au sein d'une même espèce, l'effet d'un polluant et le choix de sa VTR repose sur un manque de précision inhérent à la démarche qui se répercutera sur la l'évaluation finale du risque.

Conclusion

Aux vues des différentes hiérarchisations (effets sur la santé, ratios/produits VTR-concentration mesurée dans l'environnement), cinq familles de composés ont été jugées prioritaires pour le suivi de l'état sanitaire de primo-intervenants accompagnateurs lors de situation d'incendies domestiques. Il s'agit des C.O.V., de l'hydrogène sulfuré, du cyanure d'hydrogène, des métaux et métalloïdes ainsi que du naphtalène.

Lors de la caractérisation du risque associée à ces composés, la pertinence de ces mesures s'est confirmée. En effet, le risque qu'ils procurent était inacceptable pour chacun d'entre eux selon les critères de QD et de ERI (respectivement supérieurs à 1 et 10^{-6}).

Pour des mesures de terrain en temps réel, les primo-intervenants devront donc se prémunir d'outils nécessaires à leur détection/quantification lors de leurs interventions. En tenant compte des difficultés spatiales propre à leur métiers, des outils basés sur une ergonomie adaptée ont été choisis : un badge pour le dichlorométhane, le trichlorométhane, le benzène et l'éthylbenzène, un casquette porte-filtres pour le HCN, le H₂S, l'arsenic et le plomb, ainsi qu'un tube de prélèvement avec pompe pour les C.O.V. et le naphtanène.

Ces mesures pourront alors servir de bases d'entrée des données impactables à la survenue future de dommage auprès des primo-intervenants et /ou de support à une potentielle étude épidémiologique en cas de maladie suspectée.

ANNEXE

Effets à seuil

Classement	Polluant	Gamme de concentration dans l'air	VTR	VTR (g/m ³)	Concentration (ppm)	Masse molaire (g/mol)	Concentration (g/m ³)	Ratio
1	Acroléine (C.O.V.)	150 ppm	0,35 µg/m ³ (OEHHA 2008) <i>VTR construite à partir d'une étude basée sur une approche BMC, révisée par l'OEHHA</i>	3,50E-07	150	56	3,44E-01	9,84E+05
2	Trichlorométhane (C.O.V.)	0,96 - 465ppm	9,8 µg/m ³ (ATSDR)	9,80E-06	465	119	2,27E+00	2,31E+05
3	Benzène (C.O.V.)	0,07 - 250 ppm	9,7 µg/m ³ (ATSDR)	9,70E-06	250	78	7,99E-01	8,24E+04
4	Sulfure d'hydrogène	28,5 mg/m ³	2.10 ⁻³ mg/m ³ (US EPA 2003)	2,00E-06	-	-	2,85E-02	1,43E+04
5	Cyanure d'hydrogène	75 ppm	9 µg/m ³ (US EPA 1999)	9,00E-06	75	27	8,30E-02	9,22E+03
6	Formaldéhyde (C.O.V.)	15 ppm	3 µg/m ³ (OEHHA)	3,00E-06	15	30	1,84E-02	6,15E+03
7	1,3-Butadiène (C.O.V.)	0,03 - 4,84 ppm	2 µg/m ³ (US EPA 2002)	2,00E-06	4,84	54	1,07E-02	5,36E+03
8	Arsenic	0,14 mg/m ³	3.10 ⁻⁵ mg/m ³ (OEHHA, 2005)	3,00E-08	-	-	1,40E-04	4,67E+03

9	Naphtalène	0,01 - 2,14 ppm	3 µg/m ³ (ATSDR)	3,00E-06	2,14	128	1,12E-02	3,74E+03
10	Dioxyde de soufre	0,2 - 41,7 ppm	0,01 ppm (0,03 mg/m ³) (ATSDR 1998)	3,00E-05	41,7	64	1,09E-01	3,65E+03
11	Acide chlorhydrique	13,3 ppm	9 µg/m ³ (OEHHA) <i>VTR construite à partir d'études sur l'Homme</i>	9,00E-06	13,3	36,46	1,99E-02	2,21E+03
12	Silice	0,04 - 0,35 mg/m ³	3 µg/m ³ (OEHHA) <i>VTR construite à partir d'une étude basée sur l'approche BMC, sur l'Homme</i>	3,00E-06	-	-	3,50E-04	1,17E+02
13	Acétaldéhyde	8,1 ppm	140 µg/m ³ (OEHHA 2008)	1,40E-04	8,1	44,1	1,46E-02	1,05E+02
14	Plomb	0,03 mg/m ³	0,5.10 ⁻³ mg/m ³ (OMS 2002)	5,00E-07			3,00E-05	6,00E+01
15	Ethylbenzène	0,01 - 5,97 ppm	0,3 ppm (ATSDR 2007)	1,30E-03	5,97	106	2,59E-02	2,00E+01
16	Styrène	2,01 ppm	0,9 mg/m ³ (OEHHA 2003)	9,00E-04	2,01	104	8,57E-03	9,52E+00
17	Pentachlorophénol	14 - 300 µg/m ³	4,7.10 ² µg/m ³ (OEHHA 1999)	4,70E-04			3,00E-04	6,38E-01

Effets sans seuil

Classement	Polluant	Concentration dans l'air	VTR	VTR (g/m ³)	Concentration (ppm)	Masse molaire (g/mol)	Concentration (g/m ³)	Produit
1	Benzène (C.O.V.)	0,07 - 250 ppm	7,8.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (OMS, US EPA)	7,80E+00	250	78	7,99E-01	6,23E+00
2	Arsenic	0,14 mg/m ³	3,3.10 ⁻³ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA, 2005)	3,30E+03	-	-	1,40E-04	9,90E-01
3	1,3-Butadiène (C.O.V.)	0,03 - 4,84 ppm	1,3.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹ (USEPA)	1,30E+01	4,84	54	1,07E-02	1,46E-01
4	Formaldéhyde (C.O.V.)	15 ppm	6.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA)	6,00E+00	15	30	1,84E-02	1,11E-01
5	Ethylbenzène (C.O.V.)	0,01 - 5,97 ppm	2,5.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA 2007)	2,50E+00	5,97	106	2,59E-02	4,61E-02
6	Acétaldéhyde (C.O.V.)	8,1 ppm	2,7.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA 2002)	2,70E+00	8,1	44,1	1,46E-02	3,95E-02
7	Plomb	0,03 mg/m ³	1,2.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA 2005)	1,20E+01	-	-	3,00E-05	1,17E-02
8	Naphtalène	0,01 - 2,14 ppm	3,4.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA)	3,40E+01	2,14	128	1,12E-02	4,76E-03
9	Tetrachloroéthylène (C.O.V.)	0,064 - 0,138 mg/m ³	2.10 ⁻⁶ à 2.10 ⁻⁵ (µg/m ³) ⁻¹ (US EPA 2008)	2,00E+01	-	-	1,38E-04	2,76E-03
10	Pentachlorophénol	14 - 300 µg/m ³	4,6.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹ (OEHHA 2002)	4,60E+00	-	-	3,00E-04	1,38E-03
11	Dichlorométhane (C.O.V.)	0,28 ppm	4.7.10 ⁻⁷ (µg/m ³) ⁻¹ (US EPA 1986) <i>VTR construite à partir d'une étude basée sur des souris femelles</i>	4,70E-01	0,28	85	9,75E-04	4,58E-04
12	Trichloroéthylène (C.O.V.)	0,181 ppm	4,3.10 ⁻⁷ (µg/m ³) ⁻¹ (OMS 2000)	4,30E-01	0,181	131,4	9,75E-04	4,19E-04
13	Trichlorophénol	0,1 mg/m ³	3,1.10 ⁻⁶ (µg/m ³) ⁻¹	3,10E+00	-	-	1,00E-04	3,23E-05

- Cas des incendies domestiques -

Références bibliographiques :

- AFSSET, du groupe de travail Afsset « Parcs de stationnement couverts ». (Janvier 2007). Recommandations pour la qualité de l'air des parcs de stationnement couverts. In Saisine n°2005/006 (Ed.). Paris, France: AFSSET.
- arelco. (2011). Badges de prélèvement des C.O.V., from <http://www.arelco.fr/fr/catalogue/1/hygiene-toxicologie/37/badges-de-prelevement/91/prelevement-C.O.V.>
- arelco, INRS. (2011). BADGE GABIZ Gas Adsorbent Badge for Individual Exposure.
- Bonger S, Janssen NA, Reiss B, Grievink L, Lebre E, Kromhout H. . (2008). Challenges of exposure assessment for health studies in the aftermath of chemical incidents and disasters. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* , 18(4), 341-359.
- Canada, Health. Environmental and Workplace Health, from <http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl1-lsp1/index-eng.php>
- D., Ribera. (Juin 2008). Mise en évidence d'effets à long terme lors d'expositions courtes (accidentelles). Perspectives méthodologiques pour les évaluations de risques - Rapport final - Etude n°06-0665/1A, from http://www.record-net.org/record/RFPdf/Rap_record06-0665_1A.pdf
- Dawn M., Jefferey L., Clifton D, Steve Storment, Richard Gerkin, Jeffrey R. Characterization of firefighter exposures during fire overhaul.
- Gouvernement. Prévention Incendie, from [<http://www.prevention-incendie.gouv.fr/mesurer-les-risques/scenario-d-un-incendie>]
- Hartzell, G. E. (1996). Overview of combustion toxicology. [Proceedings Paper]. *Toxicology*, 115(1-3), 7-23.
- INERIS. Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, from <http://www.ineris.fr/fr/rapports-d%C3%A9tude/toxicologie-et-environnement/fiches-de-donn%C3%A9es-toxicologiques-et-environnementales->
- INERIS, M. Bisson – S. Vivier – B. La Rocca – C. Gourland. (17/03/2009). Point sur les Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR). In DRC-08-94380-11776C (Ed.). Verneuil en Halatte , OISE, France: INERIS.
- INRS. (01/12/2010). Fiches toxicologiques, from [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/INRS-FR/\\$FILE/fset.html](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/INRS-FR/$FILE/fset.html)
- INPES. from <http://www.inpes.sante.fr/70000/dp/04/dp041019.pdf>
- INRS. MétroPol. Retrieved from [http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParIntranetID/OM:Rubrique:47350F3843DCDBD4C1256C94004A3A9A/\\$FILE/Visu.html](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParIntranetID/OM:Rubrique:47350F3843DCDBD4C1256C94004A3A9A/$FILE/Visu.html)
- K.Sumii, Y.Tsuchiya. (1978). Evaluating the Toxic Hazard of Fires. *National Research Council Canada, CBD-197.*
- Laitinen, J., Makela, M., Mikkola, J., & Huttu, I. (2010). Fire fighting trainers' exposure to carcinogenic agents in smoke diving simulators. *Toxicology Letters*, 192(1), 61-65. doi: 10.1016/j.toxlet.2009.06.864
- NF-EN-529. (Janvier 2006). Appareils de protection respiratoire : Recommandations pour le choix, l'utilisation, l'entretien et la maintenance.
- OEHHA. (2008). OEHHA Acute, 8-hour and Chronic Reference Exposure Level (REL)s, from <http://oehha.ca.gov/air/allrels.html>
- Stefanidou, M., Athanaselis, S., & Spiliopoulou, C. (2008). Health impacts of fire smoke inhalation. *Inhalation Toxicology*, 20(8), 761-766. doi: 10.1080/08958370801975311
- USEPA. Integrated Risk Information System (IRIS), from http://cfpub.epa.gov/ncea/iris/index.cfm?fuseaction=iris.showSubstanceList&list_type=alpha&view=T

WHO IARC. (2010). Painting, Firefighting, and Shiftwork Vol. 98. IARC (Ed.) *Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans* (pp. 397-451). Retrieved from <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol98/index.php>