



AVIS DU CONSEIL SUPERIEUR DE LA SANTE N° 9542

L'utilisation de sous-gants en nitrile sous les gants de feu ordinaires comme mesure de protection contre l'exposition aux substances cancérigènes dans les incendies

In this scientific advisory report, which offers guidance to public health policy-makers, the Superior Health Council of Belgium provides a brief overview of occupational hazards for firefighters and recommendations on the possible use of nitrile butadiene rubber gloves to reduce exposure to carcinogenic substances.

Version validée par le Collège de
07/12/2022¹

I INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Le Conseil Supérieur de la Santé (CSS) a reçu le 10 avril 2019 une demande d'avis du ministre fédéral de la Sécurité et de l'Intérieur, concernant les bénéfices et/ou risques supposés du port de gants en nitrile sous les gants de feu pour se protéger contre la contamination (croisée) des mains des pompiers. Ces conseils sont nécessaires pour fournir des recommandations uniformes aux commandants des zones d'urgence, quel que soit le type de gants de feu utilisés.

Les pompiers sont exposés à de multiples risques professionnels spécifiques en matière de santé. Outre les effets nocifs aigus tels que les brûlures, l'incidence plus élevée de cancers chez les pompiers a souvent été liée à une exposition répétée/cumulative aux composés toxiques libérés par les incendies. Pour se protéger contre ces contaminants, une utilisation correcte de l'équipement de protection individuelle (EPI) est de la plus haute importance.

En Belgique, plusieurs types de gants de feu sont utilisés. La plupart des gants sont en textile, une minorité est en cuir. Tous les gants sont conformes à la même norme européenne EN 659. Cette dernière définit les exigences minimales de performance et les méthodes d'essai pour les gants de protection des pompiers. Tous les gants contiennent une couche respirante qui bloque les contaminants. Les pompiers sont en contact étroit avec ces contaminants lors des interventions, à travers la suie et la manipulation de matériaux carbonisés. Une contamination croisée des mains peut se produire lorsque les gants sont mis et enlevés à plusieurs reprises. Par conséquent, les gants textiles doivent être lavés pour éliminer le plus grand nombre possible de contaminants potentiellement cancérigènes (voir également la directive 2004/37/CE, article 10). Les gants en cuir, en revanche, ne sont pas aussi faciles à nettoyer. Malgré ce fait, certains pompiers souhaitent continuer à travailler avec des gants en cuir, car ils considèrent que ces derniers offrent une meilleure protection contre la chaleur que

¹ Le Conseil se réserve le droit de pouvoir apporter, à tout moment, des corrections typographiques mineures à ce document. Par contre, les corrections de sens sont d'office reprises dans un erratum et donnent lieu à une nouvelle version de l'avis. Remarque : la traduction de ce rapport a été réalisée par un bureau de traduction externe. Le texte anglais de l'avis est le document source.

les gants en textile. Pour se protéger des contaminations cancérigènes et toxiques, ils portent des gants en caoutchouc nitrile-butadiène (NBR) sous leurs gants de feu en cuir.

Le 8 février 2018, le SLFP-VSOA a contacté le ministre de l'Intérieur pour demander la position du Service Public Fédéral Intérieur sur cette question. Ce dernier a répondu le 12 mars 2018, en soulignant que les gants de feu ne sont pas conçus pour être portés en combinaison avec des gants en nitrile, et que la condensation de l'eau dans le gant en nitrile peut entraîner des risques supplémentaires pour la sécurité (brûlures). Ce point de vue a été combattu par l'IILE (l'Intercommunale d'Incendie de Liège et Environs), qui a rédigé un rapport sur ce sujet, accompagné des résultats des expériences menées par l'ISSeP (Rapport n° 3501/2018). Afin d'évaluer ces questions de manière objective, l'avis du Conseil Supérieur de la Santé a été demandé par le ministre fédéral de l'Intérieur en avril 2019. Les questions suivantes ont été posées :

- Comment peut-on évaluer et comparer l'importance d'un risque direct à court terme avec un risque aléatoire à long terme ?
- Parmi les risques de cancers chez les pompiers, quelle serait l'importance de ceux causés par la contamination des mains uniquement (surface limitée du corps) ?
- Le risque de cancer dû à la contamination des mains lors de la lutte contre l'incendie est-il supérieur au risque de brûlure des mains ?
- D'un point de vue médical, peut-on considérer que dans le cas de brûlures aux mains, la présence d'un gant en nitrile partiellement fondu et décomposé n'induit-il pas un risque supplémentaire ?
- Peut-on affirmer que le traitement des brûlures ne sera pas affecté par la présence de nitrile fondu dans les plaies comme l'indique l'étude ?

Il a également été demandé s'il existe des crèmes de protection alternatives qui pourraient remplacer les gants en nitrile. En outre, il a été demandé si une douche après le feu réduit le risque de pénétration des contaminants dans la peau. Quel est le taux d'introduction irréversible de ces substances dans la peau ?

Afin de pouvoir répondre à ces différentes questions sur une base scientifique, le Conseil Supérieur de la Santé s'est réservé le droit de reformuler certaines de ces questions.

II CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

La lutte contre l'incendie comporte un certain nombre de risques spécifiques. Un aperçu des effets aigus et chroniques est présenté dans la première partie de ce rapport consultatif. Les pompiers courent un risque accru de développer un cancer. **Le Centre international de recherche sur le cancer (IARC) a trouvé des preuves suffisantes d'une incidence accrue du cancer de la vessie et du mésothéliome.** Des preuves limitées ont été trouvées pour les cancers de la prostate, des testicules et du côlon, le lymphome non hodgkinien et le mélanome malin. Certaines études indiquent également un risque élevé de cancer du rectum. Ces risques accrus de cancer sont dus à l'exposition à de **multiples substances cancérigènes dans les incendies** : hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), composés organiques volatils (COV), polychlorobiphényles (PCB), dioxines, furanes, phtalates, retardateurs de flamme, substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS), amiante, etc. Plusieurs de ces substances sont également des **perturbateurs endocriniens**. L'utilisation correcte d'équipements de protection individuelle (EPI) est nécessaire pour se protéger contre ces substances nocives, qui peuvent être absorbées par ingestion, inhalation ou par la peau. Étant donné l'utilisation courante d'appareils respiratoires isolants (ARI), **l'absorption cutanée** est considérée comme la voie d'exposition la plus importante.

Pendant la lutte contre les incendies, les mains sont exposées à ces contaminants cancérigènes. Bien que la *stratum corneum* de la surface palmaire soit plus épaisse que celle d'autres sites anatomiques (par exemple le cou), l'absorption dermique par les mains ne doit pas être ignorée. Il est important que les gants de feu soient **décontaminés de manière adéquate**, afin d'éviter toute accumulation. Les gants en textile peuvent être **nettoyés régulièrement par voie humide**, ce qui n'est pas le cas des gants en cuir. Apparemment, certains groupes de pompiers préfèrent les gants en cuir, car ils estiment que ceux-ci sont plus résistants à la chaleur. Pour éviter toute contamination, ils portent des gants en caoutchouc nitrile-butadiène (NBR) sous leurs gants en cuir. Le Conseil Supérieur de la Santé (CSS) a été contacté pour juger si l'utilisation de sous-gants en NBR ne génère pas un risque supplémentaire inacceptable.

Le caoutchouc nitrile-butadiène (NBR) n'est pas un matériau thermoplastique, mais un élastomère qui ne peut pas fondre. Il est stable jusqu'à environ 120 °C. À haute température, le nitrile devient collant pour la peau, le temps de contact sera donc plus long et les brûlures plus profondes. En termes de brûlures, **les gants en NBR présentent un risque supplémentaire.** Toutefois, ce risque aigu doit être mis en balance avec le risque de cancer chronique lié à une exposition à long terme, ce qui constitue un compromis difficile à réaliser. Les deux risques doivent être abordés. **Cependant, étant donné que les brûlures sur les mains des pompiers se manifestent rarement dans les centres de brûlés, le Conseil Supérieur de la Santé considère que le port de sous-gants en NBR sous les gants de feu est acceptable comme mesure préventive contre l'exposition cancérigène.** Un contact prolongé entre la peau et des gants en cuir présentant une forte accumulation de substances cancérigènes est inacceptable, d'autant plus que les pores de la peau s'ouvrent sous l'effet de la transpiration. Cette position du Conseil Supérieur de la Santé est basée sur une **évaluation** qui tient compte de l'expérience existante des pompiers, des centres de brûlés, des chimistes et des données scientifiques limitées disponibles. Il n'est pas exclu que de **nouvelles études scientifiques puissent modifier cette position** à l'avenir. Le rapport se termine par quelques recommandations supplémentaires visant à réduire l'exposition aux agents cancérigènes. **La possibilité de nettoyer les gants (en cuir) au CO₂ liquide (LCO₂) devrait être étudiée.**

III METHODOLOGIE

Après analyse de la demande, le Collège et le président du domaine des facteurs environnementaux chimiques ont identifié les expertises nécessaires. Sur cette base, un groupe de travail *ad hoc* a été constitué, au sein duquel des expertises en organisation des services de secours, en toxicologie, en exposition aux contaminants, en santé au travail, en dermatologie, en chirurgie plastique, en traitement des brûlures, en pharmacie, en chimie des polymère, etc. étaient représentées. Les experts de ce groupe ont rempli une déclaration générale et *ad hoc* d'intérêts et la Commission de Déontologie a évalué le risque potentiel de conflits d'intérêts.

L'avis est basé sur une revue de la littérature scientifique, publiée à la fois dans des journaux scientifiques et des rapports d'organisations nationales et internationales compétentes en la matière (*peer-reviewed*), ainsi que sur l'opinion des experts.

Après approbation de l'avis par le groupe de travail, le Collège a validé l'avis en dernier ressort.

Mots clés et MeSH descriptor terms²

MeSH terms*	Keywords	Sleutelwoorden	Mots clés	Schlüsselwörter
Firefighter	Firefighter	Brandweerman	Pompier	Feuerwehrmann
Carcinogens	Carcinogens	Carcinogenen	Cancérogènes	Karzinogene
Burns	Burns	Brandwonden	Brûlures	Verbrennungen
Nitriles	Nitriles	Nitrillen	Nitriles	Nitrile
Gloves, protective	Gloves, protective	Handschoenen, beschermend	Gants de protection	Handschuhe, Schutzhandschuhe
Occupational Health	Occupational Health	Gezondheid op het werk	Santé au travail	Gesundheit am Arbeitsplatz

MeSH (Medical Subject Headings) is the NLM (National Library of Medicine) controlled vocabulary thesaurus used for indexing articles for PubMed: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/mesh>.

Liste des abréviations utilisées

ARI	Appareil respiratoire isolant
AOP	Voies d'effets indésirables (<i>Adverse Outcome Pathways</i>)
B[a]P	Benzo[a]pyrène
BDCPP	Bis(1,3-dichloro-2-propyl)phosphate
BPCO	Bronchopneumopathie chronique obstructive
COV	Composé organique volatil
CSS	Conseil Supérieur de la Santé
DEHP	Di-(2-éthylhexyl)phtalate
EPI	Équipements de protection individuelle
HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
IARC	Centre international de recherche sur le cancer (<i>International Agency for Research on Cancer</i>)
IILE	l'Intercommunale d'Incendie de Liège et Environs
ISSeP	Institut scientifique de service public
mRR	<i>Meta Risk Ratio</i>
NBR	Butadiène-acrylonitrile (<i>Nitrile Butadiene Rubber</i>)

² Le Conseil tient à préciser que les termes MeSH et mots-clés sont utilisés à des fins de référencement et de définition aisés du scope de l'avis. Pour de plus amples informations, voir le chapitre « méthodologie ».

OR	<i>Odds ratio</i>
PBDD	Dibenzo- <i>p</i> -dioxines polybromées (<i>Polybrominated Dibenzo-p-dioxins</i>)
PBDF	Dibenzofuranes polychlorés (<i>Polybrominated Dibenzofurans</i>)
PCB	Polychlorobiphényles (<i>Polychlorinated Biphenyl</i>)
PCDD	Dibenzo- <i>p</i> -dioxines polychlorées (<i>Polychlorinated dibenzo-p-dioxins</i>)
PCDF	Dibenzofuranes polychlorés (<i>Polychlorinated dibenzofurans</i>)
PFAS	Substances per- et polyfluoroalkylées (<i>Per- and Polyfluoroalkyl Substances</i>)
POP	Polluants organiques persistants
SIR	<i>Standardized Incidence Ratio</i>
SIRE	<i>Summary Incidence Risk Estimate</i>
SLFP-VSOA	Syndicat Libre de la Fonction Publique – <i>Vrij Syndicaat voor het Openbaar Ambt</i>
SMR	<i>Standardized Mortality Ratio</i>
SMRE	<i>Summary Mortality Risk Estimate</i>
S-PMA	acide S-phénylmercapturique
SRE	<i>Summary Risk Estimate</i>
SSPT	Syndrome de stress post-traumatique
1-OHP	1-hydroxypyrrène
3-MCA	3-méthylcholanthrène

IV REVUE DE LA LITTÉRATURE : LA SANTÉ AU TRAVAIL CHEZ LES POMPIERS

1 Introduction

Les pompiers sont exposés à des conditions physiques extrêmes qui peuvent varier considérablement d'un type d'intervention à l'autre. Outre les risques physiques, chimiques et psychologiques aigus, il ne faut pas sous-estimer les effets néfastes chroniques qui apparaissent sur le long terme. On sait depuis longtemps que les pompiers ont une incidence accrue de certains cancers. Au cours de leur travail, les pompiers sont exposés à de nombreux composés toxiques, perturbateurs endocriniens et cancérigènes, libérés lors de la combustion de divers matériaux. L'exposition dépend du type d'incendie (incendies de bois et de forêts, incendies de structures dans des environnements résidentiels et industriels, etc.), du matériel de lutte contre l'incendie utilisé (par exemple, les mousses contenant des PFAS) et de divers facteurs environnementaux. L'accumulation de ces substances dangereuses dans l'organisme, qui sont souvent persistantes, peut déclencher des voies d'effets indésirables (des AOP) à différents niveaux de l'organisation biologique. Par exemple, une exposition prolongée aux HAP et aux COV augmente le stress oxydatif, ce qui entraîne des dommages aux protéines dus à la formation de ROS, la peroxydation des lipides et l'oxydation de l'ADN.

Il est donc important que les équipements de protection individuelle (EPI) des pompiers protègent non seulement contre les risques aigus, mais réduisent également l'exposition aux contaminants pour assurer une meilleure protection contre les risques sanitaires à long terme. Cette brève revue de la littérature donne un aperçu général de la santé au travail chez les pompiers, en mettant l'accent sur les effets aigus et chroniques. Outre les effets sur la santé, l'exposition, l'absorption et la biosurveillance humaine des composés dangereux sont également abordées, ainsi qu'une caractérisation générale des principaux agents cancérigènes et perturbateurs endocriniens impliqués dans la lutte contre les incendies.

2 Effets aigus

Les pompiers peuvent être confrontés à de multiples effets aigus sur la santé (principalement des traumatismes, des lésions thermiques, des problèmes respiratoires et des irritations dues à l'inhalation de fumée), car ils sont confrontés à des dangers chimiques et physiques (Guidotti & Clough, 1992). Ces dangers sont réels : les pompiers ont trois fois plus de risques de mourir que la plupart des autres travailleurs lors d'incidents mortels (Clarke & Zak, 1999). Les effets aigus peuvent être largement divisés en deux catégories : les blessures et les troubles respiratoires.

- **Risques physiques** : les blessures possibles sont très diverses, mais sont principalement causées par des brûlures, des chutes ou des chocs avec des objets tombant. En étudiant 1 343 demandes d'indemnisation pour des blessures subies par des pompiers entre 1992 et 1999 aux États-Unis, Walton et al (2003) ont constaté que les blessures les plus courantes étaient les foulures/entorses (38 %), le surmenage (33 %), les brûlures (27 %) et les coupures/lacérations/fractures (22 %). Une enquête sur internet présentée par Hong et al (2012) mentionne les claquages et entorses musculaires (74 %), les blessures des extrémités (60 %), les blessures du dos (54 %) et les brûlures (28 %). Une perte d'audition peut également se produire, bien qu'il n'existe actuellement que des preuves limitées par rapport au groupe témoin (Crawford & Graveling, 2012). Le risque de brûlures est lié à la tâche du pompier (par exemple, tenir la lance, entrer précocement) et à l'emplacement et aux caractéristiques du feu (par exemple les feux de sous-sol) (Guidotti & Clough, 1992).

Une utilisation correcte des EPI est extrêmement importante pour réduire les blessures par brûlure : chez 20 pompiers, Kahn et al (2012) ont constaté qu'une mauvaise utilisation et des zones non contiguës des EPI étaient à l'origine de 70 % des blessures. Les brûlures des pompiers sont survenues sur des sites anatomiques prévisibles (visage 29 %, main et poignet

23 %, oreilles 16 %, ...) avec des schémas de blessures communs. Kim et al (2016) ont discuté des statistiques de 24 pompiers qui se sont présentés dans un centre de brûlés coréen entre 2006 et 2015, tous les patients souffraient de brûlures de 2^e ou 3^e degré. Le visage a été le plus souvent brûlé (25,8 %), suivi par la main/le poignet (19,4 %), les extrémités supérieures (12,9 %) et le cou (11,3 %) comme groupes les plus importants. Rabbitts et al (2005) ont étudié les brûlures des pompiers en consultation externe dans un centre de brûlés à New York entre 2000 et 2002 (n = 131). Les zones les plus fréquemment brûlées étaient la tête et le cou (33,2 % et 12,2 %), suivies des jambes (24,7 %). Les mains et les bras représentaient respectivement 9,4 % et 13,5 %. Cette étude fait état d'une différence entre les pompiers hospitalisés et les pompiers ambulatoires traités : chez les pompiers hospitalisés, les brûlures étaient principalement présentes sur les extrémités inférieures. Auparavant, Madden et al (1995) ont étudié 746 pompiers traités pour des brûlures à New York entre 1981 et 1991. D'après leurs statistiques, les extrémités inférieures semblent être les plus touchées, suivies par les mains. Il s'agissait également des régions anatomiques présentant les brûlures les plus profondes, les plus susceptibles de nécessiter une greffe de peau. Madden et al (1995) ont toutefois conclu que nombre de ces brûlures étaient dues à un mésusage ou à un usage impropre des équipements de protection. Une diminution des brûlures aux mains a été observée grâce à un programme éducatif.

- **Dangers chimiques** : Les effets respiratoires aigus peuvent causer des dommages graves, mais l'inhalation de fumée est souvent combinée à des brûlures et autres traumatismes. Des effets persistants peuvent survenir après une exposition à des fumées d'isocyanate ou à la combustion de chlorure de polyvinyle, qui peut induire des symptômes semblables à ceux de l'asthme (Guidotti & Clough, 1992). Les risques d'inhalation les plus importants dans la lutte contre les incendies de forêt sont dus au monoxyde de carbone (CO), aux aldéhydes et aux particules respirables (Gaughan et al, 2008). Walton et al (2003) ont constaté que l'asphyxie/inhalation ne représentait que 3 % des demandes d'indemnisation des pompiers. Le nombre d'effets respiratoires peut être réduit par l'utilisation correcte d'un appareil respiratoire isolant (ARI). Cette utilisation spécifique de l'équipement de protection réduit également les éventuels effets respiratoires chroniques. D'autres effets aigus possibles dus à l'exposition chimique comprennent l'irritation de la peau ou des yeux.

3 Effets chroniques : cancers

Le Centre international de Recherche sur le Cancer (IARC, 2010b) a classé l'exposition professionnelle en tant que pompier comme « peut-être cancérigène pour l'homme » (Groupe 2B). Cependant, dans le prochain Volume 132 des Monographies du IARC, cette classification sera mise à jour pour devenir « cancérigène pour l'homme » (Groupe 1) (Demers et al, 2022). Cette nouvelle évaluation s'applique à tous les pompiers (professionnels et volontaires, hommes et femmes).

3.1. Estimations des risques

Un très grand nombre d'études ont été menées pour étudier l'incidence des cancers chez les pompiers. Il est impossible, d'un point de vue logistique, que le Conseil Supérieur de la Santé procède ici à un examen complet. Par conséquent, une sélection de revues de haute qualité et de grandes études de cohorte et de contrôle de cas a été faite (Tableau 1). De multiples types d'estimations du risque de cancer ont été rapportés dans ces publications : un aperçu est présenté dans l'Annexe 1.

Un consensus relatif a été trouvé parmi les études sélectionnées pour les types de cancer suivants : cancer du côlon, mésothéliome, cancer du testicule, cancer de la vessie, mélanome malin, cancer de la prostate et cancer du rectum (Tableau 2, Annexe 1). Les estimations de risque les plus élevées (SRE, SIR[E], SMR[E]) ont été rapportées pour le mésothéliome, avec un SIR maximal de 2.29 (Daniels et al, 2014). Pour les autres cancers, les résultats étaient

plus contradictoires. Cette estimation de 7 types de cancers n'est qu'indicative : un éventuel biais pourrait déjà avoir commencé lors de la sélection des publications de l'étude. Chaque étude suit une méthodologie différente. Les examens utilisent des critères de sélection différents pour l'amélioration et la dégradation des articles. La recherche épidémiologique exige des données de grande qualité et doit tenir compte de nombreux biais possibles. Dans les études de cohorte, toutes les données ne sont pas toujours enregistrées/collectées de manière uniforme, un risque qui augmente avec la durée de l'étude (parfois, les observations sont effectuées pendant plusieurs décennies). En outre, il peut y avoir des sous-estimations dues à l'effet du travailleur en bonne santé, et des surestimations dues à un dépistage plus large dans certains pays, par exemple pour les cancers de la prostate, du sein et du côlon. En outre, il est très difficile d'établir un lien de causalité direct entre un type particulier de cancer et l'exposition chez les pompiers, étant donné les nombreux facteurs internes (gènes, mode de vie, ...) et environnementaux impliqués.

Demers et al (2022) ont annoncé que le groupe de travail du IARC pour le Volume 132 a trouvé des preuves suffisantes d'un risque accru de cancer de la vessie et de mésothéliome. Des preuves limitées indiquent également des risques plus élevés de cancers de la prostate, du côlon et des testicules, de mélanome et de lymphome non hodgkinien. Un total de 52 études de cohorte et de cas-témoins, 12 rapports de cas et sept méta-analyses ont été pris en compte pour cette évaluation. Il y a une bonne correspondance avec les cancers « consensus » trouvés dans notre sélection de la littérature (Tableau 2). Le groupe de travail du IARC a conclu « *qu'il existe une association causale entre l'exposition professionnelle en tant que pompier et le mésothéliome et le cancer de la vessie* » (Demers et al (2022)). Ceci est cohérent avec notre observation que les estimations de risque les plus élevées ont été rapportées pour le mésothéliome. Cependant, l'intervalle de confiance à 95 % pour l'estimation du risque de mésothéliome présente une large fourchette, contrairement au cancer de la vessie où le risque supplémentaire est plus faible, mais plus précis statistiquement et avec une hétérogénéité moindre (Demers et al, 2022) (Tableau 2). Demers et al (2022) mentionnent l'exposition à l'amiante comme agent causal plausible de l'augmentation du nombre de cas de mésothéliome chez les pompiers. Pour le cancer de la vessie, les agents cancérigènes (« HAP et suie ») ont été mentionnés comme étant les agents causaux plausibles. Pour les autres cancers, seules des « preuves limitées » d'un risque élevé ont été mentionnées, en raison d'un biais possible dû à une surveillance/détection médicale plus importante, à des caractéristiques physiques/de style de vie ou à une forte hétérogénéité des estimations de la méta-analyse. Le cancer du rectum n'était pas mentionné par Demers et al (2022), alors que des associations avec la lutte contre les incendies ont été trouvées dans plusieurs des études que nous avons examinées. Dans le même temps, Demers et al (2022) ont conclu que les preuves d'une association avec le lymphome non hodgkinien étaient limitées, alors que cela n'a été observé que dans une minorité des études que nous avons examinées. **L'importance du prochain Volume 132 du IARC et d'un examen approfondi pour chaque type de cancer ne peut donc être sous-estimée.**

Tableau 1. Une vue d'ensemble des études sélectionnées et des estimations de risque se trouve à l'Annexe 1.

Study	Type	Details
LeMasters et al (2006)	Revue & méta-analyse	32 études (combinaison d'évaluation quantitative et qualitative)
Graveling & Crawford (2010)	Revue	71 études
Daniels et al (2014)	Étude de cohorte	29 993 pompiers à San Francisco, Chicago & Philadelphia (1950 - 2009)
Pukkala et al (2014)	Étude de cohorte	16 433 pompiers masculins dans les pays nordiques (1961 - 2005)
Tsai et al (2015)	Étude cas-témoins	3 996 pompiers masculins en Californie (1988 - 2007)
Jallian et al (2019)	Revue & méta-analyse	50 études en revue, 48 en méta-analyse
Laroche & L'Espérance (2021)	Revue	11 revues systématiques

Tableau 2. Niveaux élevés de risques de cancer chez les pompiers. La sélection de la littérature CSS peut être consultée à l'Annexe 1.

	Sélection de littérature (CSS)	IARC Volume 132 (en imprimé) (Demers et al, 2022)	Intervalle de confiance + 95 % IC et hétérogénéité (Demers et al, 2022)
Prostate	6/7 études	Preuves limitées	Pas encore donné
Rectal	5/6 études	/	/
Mélanome malin	5/5 études	Preuves limitées	Pas encore donné
Vessie	4/7 études	Preuves suffisantes	16 % (CI 8 – 26 %, $I^2 = 0$ %)
Testicules	4/7 études	Preuves limitées	Pas encore donné
Côlon	3/6 études	Preuves limitées	Pas encore donné
Mésothéliome	3/5 études	Preuves suffisantes	58 % (CI 14 – 120 %, $I^2 = 8$ %)
Lymphome non hodgkinien	/	Preuves limitées	Pas encore donné

3.2. L'influence de l'âge

Pukkala et al (2014) ont étudié un ensemble de données européennes de haute qualité sur les incidences de cancer chez les pompiers nordiques au cours des 45 dernières années. Bien qu'un excès de risque modéré ait été constaté pour tous les cancers combinés, Pukkala et al (2014) ont identifié moins de types de cancer avec une incidence élevée chez les pompiers par rapport à la plupart des autres études. En général, on a constaté une augmentation significative du risque d'adénocarcinome des poumons, de mélanome malin, de cancer de la peau et de cancer de la prostate (Annexe 1). Toutefois, ces tendances diffèrent selon les groupes d'âge. L'excès de risque de cancer de la prostate (SIR = 2,59, IC 95 % 1,34 – 4,52) et de mélanome cutané (SIR = 1,62, IC 95 % = 1,14 – 2,23) était presque entièrement situé chez les 30 - 49 ans (Pukkala et al, 2014). Le cancer de la peau non mélanique (SIR = 1,40, IC 95 % 1,10 – 1,76), le myélome multiple (SIR = 1,69, IC 95 % 1,08 – 2,51), l'adénocarcinome du poumon (SIR = 1,90, IC 95 % 1,35 – 2,62) et le mésothéliome (SIR = 2,59, IC 95 % 1,24 – 4,77) étaient plus fréquents chez les personnes âgées (> 70 ans) (Pukkala et al, 2014).

3.3. Les lacunes des connaissances actuelles

La plupart des études qui ont été menées sur les pompiers concernaient principalement des hommes de race blanche. Daniels et al (2014) ont constaté que les pompiers masculins non caucasiens avaient une mortalité plus faible, toutes causes confondues, avec généralement moins de cancers. Seul le cancer de la prostate s'est révélé un peu plus élevé. Cependant, leurs résultats sont contrastés par Tsai et al (2015), qui ont constaté que les pompiers d'une autre race/ethnie (62,2 % d'hispaniques, 27,7 % de noirs) présentaient des risques significativement élevés pour 12 types de cancer (langue, mélanome, prostate, testicules, vessie, rein, cerveau, lymphome non hodgkinien, myélome multiple, leucémie générale, LLC et CMS), contrairement à seulement 6 types de cancer chez les pompiers blancs (œsophage/œsophage-adénocarcinome, non spécifique non à petites cellules (poumon), mélanome, prostate, cerveau, leucémie AML). Les raisons de ces éventuelles différences liées à l'origine ethnique ne sont pas claires et doivent être étudiées plus avant. De bonnes bases de données font actuellement défaut.

Outre l'origine ethnique, l'accent a traditionnellement été mis sur les pompiers masculins. Ces dernières années, les femmes sont de plus en plus nombreuses à se lancer dans la lutte contre les incendies. Une étude portant sur 5 000 femmes pompiers en Floride pendant 34 ans a montré des risques spécifiques pour la santé (Lee et al, 2020). Par exemple, les femmes pompiers étudiées présentaient un risque significativement plus élevé de cancer du cerveau (OR = 2,54, IC 95 % 1,19 – 5,42) et de la thyroïde (OR = 2,42, IC 95 % 1,56 – 3,74), et un risque peut-être plus élevé de mélanome malin (OR = 1,68, IC 95 % 0,97 – 2,90). Daniels et al (2014) ont constaté une incidence significativement plus élevée du cancer de la vessie chez les femmes (uniquement sur la base de quelques cas). La moitié des cancers chez les

femmes pompiers se sont révélés être des cancers du sein (Daniels et al, 2014), qui est l'un des cancers les plus fréquents dans la population féminine générale. Graveling & Crawford (2010) ont conclu qu'il n'existe aucune preuve cohérente d'un risque généralement élevé chez les femmes pompiers. Une étude rapporte un risque significativement plus élevé de cancer du col de l'utérus chez les pompiers (Ma et al, 2006 ; SIR = 5,24, IC 95 % 2,93 – 8,65). Il est clair que des recherches supplémentaires sont nécessaires pour objectiver les risques spécifiques chez les femmes pompiers.

4 Effets chroniques non cancéreux

4.1 Perturbation endocrinienne

L'augmentation des niveaux de plusieurs produits chimiques (par exemple les HAP, les retardateurs de flamme, les dioxines/furanes, les phtalates), telle qu'observée à partir des données de biosurveillance humaine, indique également des risques accrus de maladies liées au système endocrinien. Les risques peuvent être estimés à partir des données et des programmes de biosurveillance humaine. Les effets de la perturbation endocrinienne peuvent être très divers et sont parfois difficiles à identifier, quelques exemples : Stevenson et al (2015) ont conclu que les pompiers sont exposés à des agents tant œstrogéniques qu'antioestrogéniques, probablement des phtalates. Cela peut entraîner des risques pour la santé en raison de la perturbation de l'homéostasie hormonale. Caban-Martinez et al (2022) ont observé une corrélation positive entre les PFAS à chaîne longue et courte, le PFHxS et le PFBS et l'indice de masse corporelle des pompiers. Trowbridge et al (2022) ont constaté que chez les femmes pompiers, un doublement du niveau de l'ignifugeant bis(1,3-dichloro-2-propyl)phosphate (BDCPP) était associé à une diminution de 2,88 % de la thyroxine (T₄).

4.2 Risques cardiovasculaires

Guidotti & Clough (1992) mentionnent deux risques principaux de maladies cardiovasculaires chez les pompiers :

- (1) La présence documentée de degrés élevés de stress cardiovasculaire pendant la réponse aux alarmes et la lutte contre l'incendie (150 - 160 battements/min pendant l'incendie) en raison de l'anxiété, du stress et de l'effort.
- (2) Les fortes concentrations de monoxyde de carbone dans la fumée.

Bien qu'on le suppose souvent, Guidotti & Clough (1992) mentionnent qu'il n'a pas été démontré de façon constante que les pompiers courent un risque élevé de mourir de maladies cardiaques. De plus, de multiples études montrent même une réduction du risque de maladies coronariennes et de maladies des artères coronaires (Crawford & Graveling, 2012). Cela est probablement dû aux procédures de sélection, les pompiers étant souvent considérés comme étant en meilleure santé que la population générale. En général, les facteurs liés au mode de vie sont associés à l'hypertension artérielle (HTA), plutôt que les facteurs professionnels. Par exemple, bien que l'étude de Bates (1987) ait trouvé un SMR élevé pour les maladies coronariennes chez les pompiers de Toronto (SMR = 1,73, IC 95 % 1,12 – 2,26), le tabagisme pourrait être un facteur de confusion potentiel important. Byczek et al (2004) ont constaté une présence élevée d'obésité, de lipoprotéines de haute densité basses, de lipoprotéines de basse densité hautes et des niveaux de cholestérol total plus élevés chez les pompiers par rapport à la population générale. Ces facteurs augmentent le risque individuel de maladies cardiovasculaires et le risque de morbidité qui y est associé, conjointement avec d'autres facteurs tels que l'âge, le sexe, les antécédents familiaux ou le diabète sucré. Pour l'instant, on peut conclure que les recherches existantes ne permettent pas d'établir un lien de causalité clair entre la profession de pompier et les problèmes cardiovasculaires (Crawford et Graveling, 2012).

4.3 Maladies pulmonaires

Pour lutter contre les maladies respiratoires chroniques, le port de l'ARI est essentiel. Une étude de cohorte réalisée par Mathias et al (2020) sur 5 ans chez 662 pompiers (hommes, $38,1 \pm 7,7$ ans, IMC $28 \pm 3,9$ kg/m²) en Virginie (USA) a montré une diminution de la fonction pulmonaire (volume expiratoire forcé VEMS₁ ; capacité vitale forcée CVF ; VEMS₁/CVF). La perte de la fonction pulmonaire était deux à quatre fois plus importante que la diminution estimée attendue sur la même période dans la population générale. Mathias et al (2020) ont noté que leurs résultats étaient plus prononcés que ceux d'autres études similaires, ce qui peut être dû en partie à l'âge moyen plus élevé des pompiers et au fait que l'ARI était retiré trop rapidement.

Pedersen et al (2018) ont réalisé une étude de cohorte à l'échelle nationale auprès de 11 968 pompiers masculins danois. Par rapport aux autres employés masculins, les pompiers danois à plein temps étaient confrontés à un risque d'asthme significativement plus élevé (SIR = 1,58, IC 95 % 1,32 – 1,88). Ce risque accru n'a pas pu être lié à la durée de l'emploi, mais n'a pas été constaté chez les pompiers volontaires. En outre, un risque accru de bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) n'a pu être prouvé, peut-être en raison de l'âge relativement jeune des cohortes étudiées. Rajnoveanu et al (2022) ont passé en revue les études existantes concernant l'occurrence de la BPCO chez les pompiers. La plupart des études n'ont pas fait état d'une augmentation significative des diagnostics de BPCO. Par conséquent, l'association entre la BPCO et l'exposition professionnelle chez les pompiers reste peu claire, en l'absence d'événements désastreux comme « l'effondrement du WTC » ou les « incendies de forêt ». Il a été noté que certaines études présentent un risque de biais dû à « l'effet du travailleur sain ».

4.4 Conditions de santé mentale

Les pompiers sont souvent exposés à des expériences mettant leur vie en danger, ce qui les pousse à leurs limites psychologiques. Plusieurs facteurs augmentent le stress : les catastrophes majeures, les exigences physiques et psychosociales élevées, les menaces pour sa propre sécurité, le fait d'être témoin des blessures et de la mort de collègues et de victimes, l'exposition à des produits chimiques, etc. En particulier, le sauvetage des victimes est une activité stressante et émotionnellement exigeante. La plupart des études se concentrent sur le syndrome de stress post-traumatique (SSPT), la dépression, l'anxiété, l'abus (d'alcool) et les problèmes de sommeil (Vargas de Barros et al, 2012 ; Cook & Mitchell, 2013). Les niveaux de prévalence des problèmes psychologiques sont généralement estimés plus élevés que dans la population générale et vont de 6,5 % à 37 % (Cook & Mitchell, 2013). Malheureusement, le suicide est une conséquence possible de ces problèmes psychologiques, bien que le lien avec le stress professionnel ne puisse pas toujours être établi avec certitude.

Igboanugo et al (2021) affirment que les pompiers subissent de multiples facteurs de stress psychosocial, y compris des conflits interpersonnels et des préoccupations concernant l'équité organisationnelle. Une association avec différents résultats liés à la santé a été trouvée par ces derniers : dépression-suicidalité, problèmes de santé mentale non dépressifs, épuisement professionnel, abus d'alcool, qualité du sommeil et paramètres physiologiques et troubles somatiques. Cook & Mitchell (2013) mentionnent de multiples prédicteurs des problèmes psychologiques : un âge plus jeune, le fait d'être célibataire, des problèmes psychologiques antérieurs, un sentiment d'insécurité, des blessures, une faible estime de soi, un manque de soutien social, une expérience professionnelle plus longue et le fait d'assister à davantage d'événements traumatiques, etc. Ces auteurs mentionnent également deux facteurs de protection importants : les stratégies d'adaptation (parler à des collègues, humour, etc.) et le soutien social (reconnaissance par les autres, assistance). Comme tous les risques ne peuvent être évités, il est important que les pompiers eux-mêmes puissent identifier les signes

précurseurs de problèmes psychologiques. Igboanugo et al (2021) suggèrent que les politiques des institutions devraient être développées pour promouvoir la résilience, l'estime de soi, le soutien social, la tolérance à la détresse, une vision positive du lieu de travail, et pour décourager les conflits interpersonnels et le harcèlement. À ce jour, trop peu de recherches ont été menées sur la santé mentale des pompiers. En outre, il n'est pas toujours facile de comparer les résultats, car les tâches, la charge de travail et l'organisation peuvent différer d'un pays à l'autre (voir également Crawford & Graveling, 2012).

5 Exposition à des substances cancérigènes et/ou à des perturbateurs endocriniens

5.1 Caractéristiques générales des composés

Lors des interventions, les pompiers sont souvent exposés à de grandes quantités de substances potentiellement (géo)toxiques et cancérigènes qui sont libérées lors d'une combustion (incomplète). L'exposition et l'absorption répétées de ces composés au fil des ans peuvent entraîner des effets chroniques à long terme sur la santé, comme le cancer. On peut s'attendre à ce que cette question devienne de plus en plus pertinente, car de plus en plus de matériaux synthétiques sont aujourd'hui utilisés dans les bâtiments. Cela crée une exposition différente par rapport au passé, où l'on utilisait relativement plus de bois dans les constructions. Certains groupes importants de composés chimiques sont abordés ici.

- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP ; Fig. 1) se forment toujours dans les incendies, par combustion incomplète du carbone et pyrolyse de la matière organique. Par conséquent, les HAP sont très répandus et se retrouvent dans l'air, l'eau, les sols et les sédiments, principalement à l'état de traces près de leurs sources primaires (IARC, 2010b). De multiples HAP sont classés comme cancérigènes, ou probablement et éventuellement cancérigènes pour l'homme (Groupes 1, 2A, 2B) (IARC, 2010). Par ailleurs, des effets mutagènes, génotoxiques et perturbateurs endocriniens sont également connus (Zhang et al, 2016 ; Stec et al, 2018). Les HAP constituent la plus importante catégorie de contaminants cancérigènes à laquelle les pompiers sont exposés. Cela est dû à la bioactivation des HAP par des isoformes spécifiques du cytochrome P450 en intermédiaires réactifs (époxydes de diol, quinones, cations radicalux de HAP, etc.), qui peuvent se lier à l'ADN dans les cellules/tissus pour former des adduits à l'ADN (Simpson & Naeher, 2010 ; Gao et al, 2018 ; Gill & Britz-McKibbin, 2020). Ces adduits induisent des erreurs de réplication et des mutations, qui (si elles ne sont pas réparées) peuvent transformer des gènes normaux en oncogènes (Gao et al, 2018). Les HAP sont classés parmi les polluants organiques persistants (POP), car ils sont persistants dans l'environnement, mais sont rapidement métabolisés en composés cancérigènes chez l'homme et par conséquent excrétés. Quelques exemples importants de HAP hautement cancérigènes trouvés sur les EPI des pompiers sont le benzo[a]pyrène (B[a]P), le 3-méthylcholanthréne (3-MCA) et le 7-12-diméthylbenz[a]anthracène (Stec et al, 2018). Néanmoins, le groupe des HAP est très diversifié.

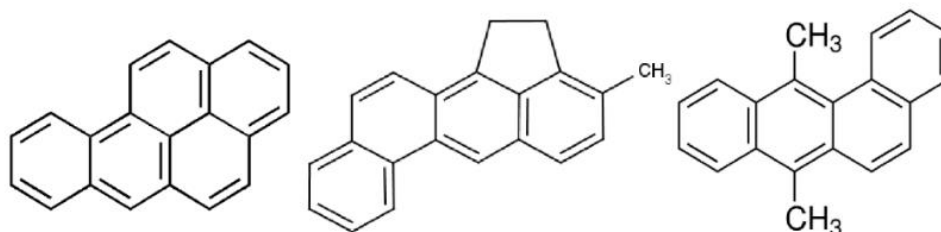


Figure 1 : Structure chimique de certains HAP cancérigènes importants : benzo[a]pyrène (à gauche), 3-méthylcholanthréne (au milieu) et 7-12-diméthylbenz[a]anthracène (à droite).

- Les composés organiques volatils (COV ; Fig. 2) sont des gaz dont la pression de vapeur est élevée à température ambiante. Des exemples courants sont le benzène, le toluène, l'éthylbenzène, le xylène et le styrène, qui sont des hydrocarbures organiques. Bien que restant en grande partie en phase vapeur, de petites quantités peuvent se condenser sur la peau et être absorbées par l'organisme (Fent et al, 2020b). Les COV anthropiques sont omniprésents dans les produits ménagers et les matériaux de construction (par exemple les peintures) et sont donc fréquemment libérés lors des incendies. Certaines de ces substances peuvent nuire gravement à la santé humaine. Le benzène est l'un des COV les plus courants auxquels les pompiers sont exposés. Depuis 1979, le benzène est classé comme cancérigène pour l'homme (Groupe 1 du IARC ; associations positives avec, par exemple, différentes formes de leucémie, lymphome non hodgkinien, cancer du poumon dans de nombreuses études) (par exemple, Loomis et al, 2017 ; IARC, 2018b). En outre, des effets génotoxiques se produisent également.

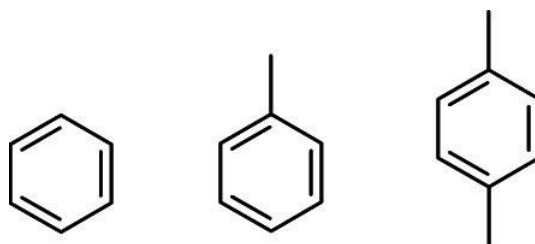


Figure 2 : Structure chimique de quelques COV anthropiques typiques ; benzène (gauche), toluène (centre), (para-)xylène (droite). Le benzène est un agent cancérigène bien connu.

- Les polychlorobiphényles (PCB) (Fig. 3) constituent un groupe très diversifié, composé de composés tant de type dioxine que de type non dioxine. Les PCB sont classés comme « cancérigènes pour l'homme » (Groupe 1 ; IARC, 2015) et ont des effets de perturbation endocrinienne. Les PCB provoquent des mélanomes malins et des associations positives ont été observées pour le lymphome non hodgkinien et le cancer du sein (IARC, 2015). Les PCB sont des POP stables qui sont facilement solubles dans les graisses. Ils ont été utilisés dans des plastifiants, des matériaux de construction ignifugés et des fluides diélectriques pour les transformateurs électriques (Baum et al, 2020). Bien que les PCB aient été systématiquement interdits vers la fin du 20^e siècle (USA : 1979 ; Belgique : 1985), ils sont encore présents comme réfrigérants et fluides dans les anciens transformateurs et condenseurs. Lors des incendies de ces installations, les pompiers sont en contact intensif avec les PCB et des dérivés encore plus nocifs comme les dibenzofuranes polychlorés (PCDF) ou les dibenzo-*p*-dioxines polychlorées (PCDD) (Kelly et al, 2002).

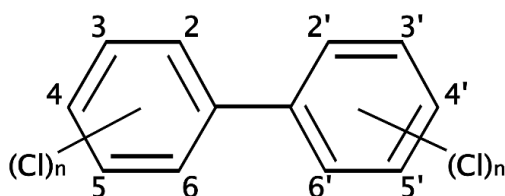


Figure 3 : Structure chimique des PCB. Les positions possibles des atomes de chlore sur la structure du cycle sont indiquées par des numéros.

- Les dioxines et les furanes (Fig. 4) sont souvent émis lors d'incendies de structures en tant que sous-produits non intentionnels, ainsi que les retardateurs de flamme bromés et organophosphorés (Fent et al, 2020a). Selon Zhang et al (2015), les retardateurs de flamme bromés (PBDE, HBCD et TBBP-A) sont les principales sources de dibenzo-*p*-dioxines polybromées (PBDD) et de dibenzofuranes polychlorés (PBDF) dans le processus de

combustion. Outre les composés bromés, les pompiers sont également exposés aux dibenzo-*p*-dioxines polychlorées (PCDD) et aux dibenzofuranes polychlorés (PCDF) (Kelly et al, 2002 ; Hsu et al, 2011). Les dibenzodioxines et les furanes sont persistants dans l'environnement et se retrouvent dans les tissus adipeux des animaux et des humains en raison de leur nature hydrophobe et de leur résistance au métabolisme (Van den Berg et al, 1998). Des effets cancérigènes et des effets sur la reproduction et le développement dus à des perturbateurs endocriniens sont rapportés (Pollitt, 1999 ; Tang-Péronard et al, 2011). Le IARC a classé la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-*para*-dioxine et le 2,3,4,7,8-pentachlorodibenzofurane comme cancérigènes pour l'homme (Groupe 1 ; IARC, 2012).

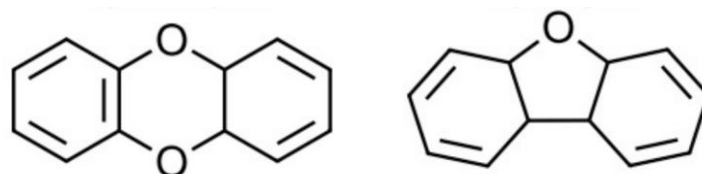


Figure 4 : Structure chimique de la dibenzo-*p*-dioxine (à gauche) et du dibenzofurane (à droite).

- Les phtalates sont des esters d'acides phtaliques, principalement utilisés comme plastifiants de matières plastiques telles que le chlorure de polyvinyle (PVC). Ils sont fréquemment émis lors d'incendies dans les bâtiments modernes. Un exemple important est le di-(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP) (Fig. 5). Ce dernier est classé par le IARC comme possiblement cancérigène pour l'homme (Groupe 2B, IARC 2013). Alexander & Baxter (2014) ont trouvé des concentrations alarmantes de DEHP sur les tenues d'intervention des pompiers. Outre ses éventuelles propriétés cancérigènes, le DEHP est connu pour sa toxicité pour la reproduction et le développement en raison d'une perturbation endocrinienne (Latini et al, 2004). Ces propriétés de perturbation endocrinienne ont été démontrées pour de nombreux phtalates (Sheikh et al, 2016).

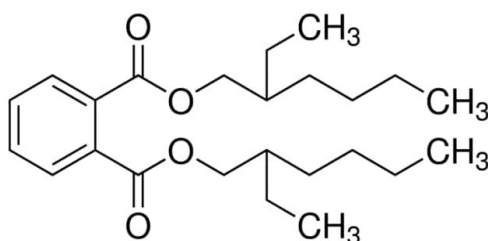


Figure 5. Structure chimique du phtalate di-(2-éthylhexyl)phtalate (DEHP).

- Les substances per- et polyfluoroalkylées (PFAS) comme le PFOA et le PFOS (Fig. 6) sont encore présentes dans certains types de mousse d'extinction, provoquant une exposition des pompiers (Laitinen et al, 2014). De plus, les résidus de PFAS restent présents dans le corps pendant une longue période après une exposition passée en raison de leur longue demi-vie (Nilsson et al, 2022). Bien que les mousses à base de PFOS soient interdites en Belgique depuis 2011, les PFOS sont encore utilisés occasionnellement pour éteindre de grands incendies de réservoirs dans le port d'Anvers. Les PFAS sont des perturbateurs endocriniens bien connus (par exemple, Rickard et al, 2022), tandis que certains représentants comme le PFOA sont également classés comme possiblement cancérigènes pour l'homme (Groupe 2B, IARC 2016).

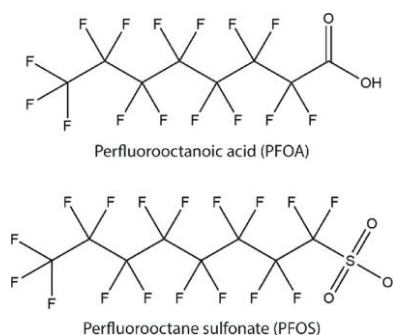


Figure 6. Structure chimique de l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et du sulfonate de perfluorooctane (PFOS).

- Les matériaux bruts dans les bâtiments sont également préoccupants, car leur destruction lors d'incendies constitue également une menace sérieuse pour la santé. Par exemple, l'exposition répétée à l'amiante pendant la lutte contre les incendies est une explication plausible du risque accru de mésothéliome chez les pompiers (Demers et al, 2022). Outre l'amiante, il existe de nombreux autres matériaux, tels que le goudron, le charbon, le pétrole, les métaux lourds, qui présentent chacun des risques spécifiques.

5.2 Mesurer l'exposition : la biosurveillance humaine

Barros et al (2021) donnent une vue d'ensemble des différents biomarqueurs utilisés pour évaluer les effets néfastes de l'exposition professionnelle (stress oxydatif, dommages à l'ADN et aux protéines, inflammation, hormones de stress, lésions cardiovasculaires et pulmonaires, etc.) Il existe une association entre l'exposition aux émissions de feux et les valeurs fortement altérées des biomarqueurs de l'inflammation (molécules d'adhésion solubles, facteur de nécrose tumorale, interleukines et nombre de leucocytes), des lésions vasculaires et des lésions tissulaires (pentraxine-2, facteur de croissance endothéliale vasculaire et troponine T cardiaque) (Barros et al, 2021).

Certains métabolites typiques sont identifiés et quantifiés, afin d'évaluer l'exposition et l'absorption des HAP et des COV :

- HAP : Les métabolites typiques qui sont ciblés dans les échantillons d'urine sont le 1-hydroxypyrene (1-OHP), le 1-hydroxynaphtalène et les multiples isomères de l'hydroxyphénanthrène et de l'hydroxyfluorène (Stec et al, 2018 ; Gill & Britz-McKibbin, 2020). Outre l'urine, les métabolites sont également présents dans le sang. On peut noter que les HAP ayant plus de 4 cycles carbonés sont principalement éliminés dans les fèces (Gill & Britz-McKibbin, 2020). Une autre façon de quantifier l'exposition cutanée est de mesurer les HAP directement sur la peau exposée, en utilisant des lingettes appropriées immédiatement après l'intervention des pompiers.
- COV : Pour quantifier l'exposition au benzène (le COV le plus important), son métabolite, l'acide S-phénylmercapturique (S-PMA), est détecté dans les échantillons d'urine (Fent et al, 2014).

Le 1-OHP a un temps de demi-vie allant de 6 à 32h avec des concentrations urinaires élevées à 6h et 20h après l'exposition (Wingfors et al, 2018 ; Gill & Britz-McKibbin, 2020). En raison de ce temps de demi-vie rapide, les expositions peuvent être fortement sous-estimées lorsque la collecte des échantillons d'urine est retardée. Jongeneelen (2014) a recommandé une limite d'exposition professionnelle pour le 1-OHP urinaire de 1,0 µmol/mol de créatinine, ce qui correspond au « niveau sans effet génotoxique observé ». Le niveau de fond dû à l'exposition environnementale se situe entre 0 et 0,5 µmol/mol de créatinine, tandis que le « niveau le plus bas d'effet génotoxique observé » est de 1,9 µmol/mol (Jongeneelen, 2014). Un autre biomarqueur intéressant est la 8-hydroxydéoxyguanosine, car c'est un indicateur des

dommages oxydatifs de l'ADN qui peut être corrélé aux HAP biotransformés (Gill & Britz-McKibbin, 2020). Les adduits HAP-ADN ont également été proposés comme biomarqueurs de l'intoxication et de la cancérogenèse induite par les HAP lors de l'exposition à la fumée. Cependant, les études immunohistochimiques sur des biopsies de tissus ne sont pas pratiques pour la biosurveillance, et l'utilisation de leucocytes pour mesurer la formation d'adduits HAP-ADN après exposition semble moins sensible (Gill & Britz-McKibbin, 2020).

Les effets additifs et synergiques doivent également être pris en compte. Compte tenu des nombreux points d'interrogation et des incertitudes en jeu, de nombreuses études ignorent actuellement cette question. Dans leur étude sur les évaluations de l'exposition multiple des pompiers, Laitinen et al (2012) ont calculé l'effet additif pour les risques de cancer pour plusieurs COV en utilisant la méthode de l'indice de risque. L'indice de risque était de 0.39 ± 0.21 pour l'exposition dans le simulateur conventionnel et de 0.06 ± 0.01 dans le simulateur moderne. Ces valeurs sont inférieures au seuil de 1.

Comme décrit ci-dessus, les pompiers sont exposés à plusieurs composés autres que les HAP et les COV dans les bâtiments plus récents. Alexander & Baxter (2014) ont trouvé des niveaux alarmants du plastifiant DEHP sur les vêtements de protection, étant 52 à 875 fois plus élevés que toute concentration de HAP. Ces substances n'ont pas été prises en compte dans la plupart des études précédentes. Ces auteurs ont déterminé les concentrations de HAP et de phtalates dans les trois couches des gants (couche extérieure, résistance aux coupures ; couche intermédiaire, barrière contre l'humidité ; couche intérieure, isolation). Les concentrations de HAP dans la couche moyenne étaient plus élevées que dans la couche extérieure, tandis que les HAP étaient presque absents dans la couche intérieure. Pour les phtalates (et le DEHP en particulier), un gradient décroissant a pu être trouvé des couches externes aux couches internes. Il a été suggéré que les phtalates de la couche interne pouvaient être le résultat d'une contamination croisée. Néanmoins, la présence de DEHP dans la couche interne reste préoccupante, car cette substance lipophile est susceptible d'être bien absorbée par la peau. Les équipements de protection doivent donc être fréquemment décontaminés selon un protocole adéquat.

5.3. Voies d'exposition et d'absorption

Les pompiers sont exposés à des substances cancérigènes par différentes voies (inhalation, ingestion, absorption). Toutefois, la plupart des études indiquent que l'absorption cutanée est la principale voie d'exposition (Fent et al, 2014 ; Stec et al, 2018). Pour quantifier les risques et l'efficacité des équipements de protection, la biosurveillance humaine reste essentielle.

5.2.1 Absorption par la peau

L'absorption cutanée de composés chimiques peut être influencée par de multiples facteurs (par exemple, les propriétés physicochimiques du contaminant, l'épaisseur de la *couche cornée*, la densité des canaux sudoripares et des follicules pileux, l'humidité, la friction, la température, etc.). Il est donc important de quantifier (1) l'exposition restante sur la peau lorsque les EPI sont correctement appliqués, et (2) les variations des taux d'absorption entre les différents sites anatomiques de la peau.

Pleil et al (2014) ont analysé des échantillons d'haleine post-combat à Chicago (États-Unis) en utilisant la chromatographie en phase gazeuse-spectrométrie de masse (CG-SM). Comme les pompiers portaient un appareil respiratoire isolant (ARI), l'exposition par inhalation a été exclue, et les changements dans l'expiration ont été entièrement attribués à l'exposition cutanée et à la pénétration des particules à travers l'EPI. Les niveaux de certains aromatiques à un seul cycle (principalement le benzène) et des HAP (par exemple le naphthalène, le HAP le plus volatil) étaient quelque peu élevés, mais toujours inférieurs à ceux obtenus lors d'expériences similaires avec le personnel de maintenance de l'*Air Force* (exposition au

carburéacteur). Les concentrations dans l'air ambiant variaient entre de faibles niveaux (parties par trillion en volume, pptv) et des centaines de parties par milliard en volume (ppbv). Il a donc été conclu que les EPI des pompiers sont plutôt efficaces pour prévenir l'exposition cutanée (Pleil et al, 2014). Des résultats similaires ont été obtenus par Fent et al (2013 ; 2014), qui ont conclu que les HAP et le benzène ont probablement pénétré dans l'organisme par la peau. Cependant, pour les hydrocarbures organiques tels que le benzène, une (très petite) partie de l'exposition peut également se faire par le biais des gaz d'échappement, inhalés lors du retrait de l'EPI.

Dans une autre expérience, Baum et al (2020) ont utilisé des bracelets en silicone sous les EPI pour évaluer l'exposition aux HAP. Bien qu'il y ait eu une contamination de fond par l'exposition à la combustion du diesel, les niveaux de HAP étaient constamment élevés après les incidents d'incendie. En particulier, les concentrations de HAP de faible poids moléculaire (avec 2 ou 3 cycles, par exemple naphthalène, phénanthrène, acénaphthylène) étaient 42 % plus élevées après les interventions du feu (Baum et al, 2020 ; concentration moyenne d'environ 10 ppb). Levasseur et al (2022) ont également utilisé des bracelets en silicone pour quantifier l'exposition des pompiers aux produits chimiques pendant et après leur service. Plus de 130 COSV ont été identifiés. Il a été démontré que l'exposition aux retardateurs de flamme bromés, aux esters organophosphorés et aux HAP est associée à la lutte contre les incendies (exposition 0,5 à 8,5 fois plus élevée pendant le service). De plus, l'exposition aux PFOS était 2,5 fois plus élevée pendant le service, lors des interventions sur les incendies.

Dans les expériences de Wingfors et al (2018), il a été montré que les concentrations totales de HAP étaient 150 fois plus faibles à l'intérieur des vêtements de protection qu'à l'extérieur. Ces auteurs ont également noté que les composés les plus et les moins volatils avaient des facteurs de protection du travail d'environ 100, tandis que les substances moyennement volatiles (par exemple, le fluorène, le phénanthrène et l'anthracène) avaient des facteurs de protection du travail supérieurs à 1 000. En conclusion : une forte réduction de l'exposition peut être obtenue en utilisant des équipements de protection. Cependant, de petites quantités de HAP atteignent encore la peau en pénétrant à travers les EPI lors des interventions.

Les parties de la peau n'absorbent pas toutes identiquement les contaminants chimiques. Dans leur étude sur l'exposition cutanée aux HAP chez les pompiers, Fent et al (2013 ; 2014) ont identifié le cou comme la partie de la peau la plus exposée, probablement en raison du niveau de protection cutanée plus faible offert par les cagoules. Les niveaux médians d'HAP sur le cou variaient de 40,4 et 53,8 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ avant, à 52,0 et 62,8 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ après l'intervention. Les niveaux de post-exposition sur les mains étaient considérablement plus faibles (15,9 et 23,7 $\mu\text{g}/\text{m}^2$). Le cou compte pour 2 % de la surface totale du corps (0,042 m^2 sur 2,1 m^2 ; soit 2x la surface de la paume d'une main), tandis que les mains ne représentent que 0,11 m^2 (5,2 %). En général, les niveaux de HAP sur la peau après exposition diminuent selon la région anatomique : cou > scrotum > visage > main et bras (Fent et al, 2013 ; 2014). De nombreux niveaux sont restés en dessous de leur concentration minimale détectable. À l'exception du cou, les concentrations post-exposition ne variaient pas significativement par rapport aux niveaux préexposition (Fent et al, 2013). Soit l'exposition a été plus limitée grâce à une meilleure protection, soit les HAP ont été plus rapidement absorbés par la peau avant la période de collecte/échantillonnage post-exposition. Cette dernière hypothèse semble moins probable, compte tenu des résultats expérimentaux de Vanrooij et al (1993). Ces auteurs ont étudié l'absorption des HAP dans différents sites anatomiques de la peau en appliquant une pommade au goudron de houille. Ils ont surveillé (1) la disparition de la surface en mesurant la fluorescence des HAP, et (2) l'excrétion urinaire de 1-OHP. Après 45 minutes, les constantes de vitesse d'absorption moyennes pour les HAP étaient de 0,036 et 0,037 pour la cheville et la main (palmaire), et de 0,053, 0,065, 0,070 et 0,135 pour l'aine, le front, l'avant-bras et l'épaule (Vanrooij et al, 1993 : Tableau 3). En outre, les taux d'excrétion urinaire de 1-OHP après application de la pommade au goudron de houille sur le tronc étaient généralement plus élevés qu'après application sur les mains. Il en va de même pour la quantité cumulative

d'excrétion de 1-OHP, avec des moyennes de 7,7, 10,8, 11,3, 13,9 et 14,6 nmol après application sur la main, le tronc, l'avant-bras, le mollet et le cou respectivement (Vanrooij et al, 1993 : Tableau 4). En général, Vanrooij et al (1993) ont estimé que 20 à 56 % d'une faible dose de HAP seront absorbés par la peau après 6h.

Contrairement aux résultats de Fent et al (2013, 2014), Stec et al (2018) ont mesuré les plus grandes quantités de HAP sur les mains (entre 300 et 600 mg/m²) après l'exposition. Dans cette dernière étude, une caractérisation du risque (pire cas) (1 sur 100 000 habitants) a été estimée à l'aide des facteurs de pente du cancer. On a supposé que les pompiers (âge : 70 ans) portent leur équipement de protection 2 jours par semaine, 50 semaines/an pendant 40 ans. On a supposé que l'absorption cutanée était de 20 %. Toutefois, il a été noté que les taux d'absorption cutanée sont plus faibles sur les mains, par rapport au cuir chevelu, à l'aisselle et au front, en raison de l'épaisseur de la peau. Un ratio de caractérisation du risque de cancer plus élevé de 25 a été calculé à partir des niveaux de HAP mesurés sur les mains des pompiers (Stec et al, 2018). Cela signifie que jusqu'à 25 pompiers sur 100 000 peuvent développer un cancer à cause de mains contaminées. Dans la même étude, il a été estimé que jusqu'à 350 pompiers pourraient développer un cancer à cause des concentrations de HAP détectées sur les vêtements (Stec et al, 2018). Toutefois, il convient de noter que les échantillons de lingettes cutanées n'ont été prélevés que chez 4 pompiers (dont 1 instructeur et 3 stagiaires), ce qui permet une variabilité par rapport à d'autres études.

Dans leur étude sur l'exposition des pompiers formateurs, Laitinen et al (2010) ont constaté que la quantité de HAP sur les mains diminuait de 80 % lorsque des sous-gants (en coton) étaient utilisés sous les gants de feu. Les concentrations moyennes sur les mains sont passées de 48 ng/cm² (n = 12) à 8,7 ng/cm² (n = 8). En comparaison, l'exposition moyenne totale dans le simulateur de la caserne de pompiers était de 1 200 ng/cm². En France, la « Caisse nationale de retraites des agents des collectivités locales » prescrit le port de sous-gants jetables ou lavables (nitrile ou coton) sous les gants de feu lors des formations et des interventions sur le feu (phases de déblaiement et de surveillance) pour obtenir une meilleure prévention et protection (CNRACL, 2017 ; ANSES, 2019). Malheureusement, aucune autre donnée ou évaluation n'est fournie par le CNRACL et l'ANSES.

L'absorption cutanée des COV, et des hydrocarbures organiques en particulier, doit également être prise en compte. Cependant, la plupart de ces substances se volatilisent avant de pouvoir pénétrer dans la peau. L'exemple le plus important, le benzène, peut être mesuré dans l'haleine, et son métabolite, le S-PMA, se retrouve dans l'urine. Alors que les concentrations de benzène après exposition étaient significativement élevées dans les échantillons d'haleine de Fent et al (2014), les traces dans l'urine sont restées inférieures à la limite minimale de détection de 8,5 µg/g. Les niveaux respiratoires après exposition (médiane de 19 µg/m³) étaient comparables à ceux des mécaniciens automobiles non-fumeurs (médiane de 19 µg/m³ après 4h de travail) et des ouvriers de l'US Air Force chargés de l'entretien des systèmes de carburant (moyennes de 1,9-50 µg/m³). De même, les niveaux urinaires (médiane de 62 µg/g) étaient comparables à ceux des poseurs d'asphalte non-fumeurs (médiane de 110 µg/g) et des non-fumeurs sans exposition professionnelle (médiane de 67 µg/g) (Fent et al, 2014). Lorsque le benzène entre en contact avec la peau, la *couche cornée* de l'épiderme constitue la principale barrière de diffusion. Après avoir pénétré le derme, il atteint la circulation sanguine et est transporté dans tout le corps. La dose cutanée est un produit du flux (coefficient de perméabilité x différentiel de concentration), de la surface cutanée exposée et de la durée de l'exposition (Kalnas & Teitelbaum, 2000). Hanke et al (1961) ont trouvé un taux moyen de 0,4 mg/cm²/h pour l'absorption du benzène sur l'avant-bras humain, une valeur maximale calculée pour une peau complètement humidifiée. Blank & McAuliffe (1985) ont mesuré que le flux moyen de benzène à travers l'épiderme (*in vitro*) à partir d'air (31 °C) saturé en benzène était d'environ 1,0 µl cm²h⁻¹. Sur la base de leurs expériences, Maibach & Anjo (1981) ont conclu que la paume de la main des singes rhésus absorbe plus du double de la quantité absorbée par l'avant-bras, et que des expositions

multiples entraînent une absorption plus importante qu'une exposition unique de durée totale égale. Cependant, il n'est pas possible d'appliquer directement à l'homme l'absorption palmaire observée chez le rhésus, car aucune littérature n'est disponible à ce sujet. Maibach & Anjo (1981) ont également ajouté que la méthode occlusive de Hanke et al (1961) peut avoir augmenté le taux d'absorption de plus de 10x. Les conditions physiques du milieu environnant influencent également la capacité d'absorption de la peau. Franz (1984 ; cité dans Fent et al, 2014) a constaté que l'absorption cutanée de la vapeur de benzène était 2,5 à 7,5 fois plus élevée dans une humidité relative de 100 %, par rapport à une humidité relative de 40 %. En outre, Franz (1984, cité dans Fent et al, 2013) a également constaté que l'absorption du benzène dissous dans l'eau était beaucoup plus élevée que celle du benzène dissous dans le toluène. Par conséquent, une peau en sueur peut faciliter davantage l'absorption cutanée du benzène. Il est probable qu'avec l'augmentation des températures, le taux de perméation de la peau augmente également (Fent et al, 2015). L'ouverture des pores, la transpiration accrue et l'augmentation du flux sanguin y contribuent probablement. En supposant une épaisseur d'épiderme pour le cou similaire à celle de l'avant-bras (75 µm), Fent et al (2015) ont estimé que le benzène peut être absorbé dans la circulation sanguine en 6 minutes, avec un coefficient de perméation estimé à 0,08 cm/h à température normale.

5.2.2 Absorption par inhalation

L'utilisation d'un ARI est de la plus haute importance pour prévenir les effets aigus et chroniques sur la santé dus à l'inhalation de contaminants toxiques. En maintenant une pression positive dans la pièce faciale, le pompier est protégé des gaz nocifs pendant l'intervention. Bien que le phénomène de « surrespiration » puisse se produire lors d'une activité physique intense, le degré de protection reste très élevé (Burgess & Crutchfield, 1995). Cependant, l'EPI des pompiers est contaminé pendant les interventions sur le feu, après quoi des dégagements gazeux peuvent se produire. Ensuite, lors du déshabillage des EPI et des déplacements dans des véhicules confinés avec l'équipement contaminé, l'exposition peut se faire par inhalation (Fent et al, 2015). Baum et al (2020) ont constaté qu'il existe une différence significative dans le dégazage des HAP entre les tenues d'intervention qui ont été récemment utilisées dans un incendie et les EPI qui ne l'ont pas été. Le dégazage se produit principalement avec des molécules de faible poids moléculaire. À l'exception, par exemple, du naphthalène (deux cycles, semi-volatile), la plupart des HAP sont trop lourds pour être vaporisés. Les COV sont dominants lors des dégagements gazeux, notamment le benzène et le propène sont abondants dans les feux de structure (Fent et al, 2015). Ces derniers auteurs ont mesuré le dégagement gazeux 25 minutes après la fin de la révision. Une multiplication par plus de 5 des concentrations de styrène, de benzène, de 1,4-dichlorobenzène, d'acétone et de cyclohexane a été mesurée par rapport aux niveaux de fond. Cette augmentation était statistiquement significative pour les 3 dernières molécules. Cependant, toutes les concentrations de COV dégagés (la plupart < 25 ppb) sont restées bien en dessous des limites d'exposition professionnelle (LEP) à court terme. En outre, la contribution des tenues d'intervention (n = 2) à l'exposition totale n'a pas été observable dans l'étude ultérieure de Fent et al (2020b). Cependant, afin de réduire les risques d'inhalation, (1) il peut être conseillé de ne retirer l'ARI que lorsque tous les autres EPI ont été enlevés, (2) de garder les vêtements contaminés sous clé à l'écart des pompiers pendant le transport et (3) de prendre une douche dès que possible après le retrait.

5.2.3 Exposition par affectation/attaque tactique

Fent et al (2020b) ont examiné si l'affectation et la tactique d'attaque des pompiers lors d'incendies résidentiels contrôlés influençaient le degré d'exposition aux HAP et aux COV. Il s'est avéré que les pompiers d'attaque et de recherche étaient plus exposés que les pompiers de l'extérieur (concentration de benzène dans l'air expiré multipliée par 2 contre 1,4). De plus, l'attaque transitoire a entraîné une absorption de pyrène, de phénanthrène et de fluorène inférieure de 50 %, 36 % et 20 % par rapport à l'attaque intérieure (Fent et al, 2020b). Lors

des attaques transitoires, l'eau est appliquée depuis l'extérieur de la structure avant de passer à l'attaque intérieure, où l'on entre dans la structure pour pulvériser l'eau. L'exposition du personnel de commandement/pompe est probablement principalement due à l'inhalation.

V ASPECTS GÉNÉRAUX DES GANTS EN CAOUTCHOUC NITRILE-BUTADIÈNE (NBR)

1 Caractéristiques chimiques

Le caoutchouc nitrile-butadiène (NBR, CAS 9003-18-3, également appelé caoutchouc nitrile ou caoutchouc acrylonitrile-butadiène) est un élastomère résultant de la copolymérisation du butadiène et de l'acrylonitrile (par exemple Hertz et al, 1995) (Fig. 7). Il a de nombreuses applications dans l'industrie, et est souvent utilisé comme joint d'étanchéité en contact avec l'huile (Treadingham et al, 2011). La résistance à l'huile dépend largement de la teneur en acrylonitrile, qui peut varier entre 15 et 50 % (nitrile élevé > 45 %, nitrile moyen 30 - 34 %, nitrile faible < 30 %) (par exemple, ERIKS, 2022 ; Polymerdatabase, 2022). Avec l'augmentation de la teneur en acrylonitrile, certaines propriétés comme la densité, la facilité de traitement, la vitesse de polymérisation, la dureté, l'imperméabilité au gaz et la compatibilité avec les polymères à teneur polaire accrue sont améliorées, alors qu'à l'inverse, le comportement à basse température, la résilience, la compression, etc. sont affectés négativement (Pazur et al, 2014). Plus la teneur en nitrile est élevée, plus la résistance aux hydrocarbures aromatiques est importante (Polymerdatabase, 2022). La teneur en acrylonitrile de 7 gants en NBR de différentes marques a été mesurée par Phalen et al (2007), avec des moyennes comprises entre 12,7 et 29,9 %.

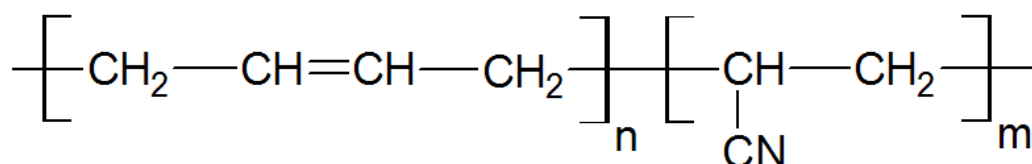


Figure 7 : Structure chimique du caoutchouc acrylonitrile-butadiène (NBR) (Source : polymerdatabase.com).

Les températures de fonctionnement rapportées vont des limites inférieures entre -35 et -25 °C aux limites supérieures entre 100 et 120 °C selon les différentes compositions de NBR (Coronado et al, 2014 ; ERIKS, 2022 ; Polymerdatabase, 2022). Treadingham et al (2011) mentionnent une température de service maximale T_{max} de 125 °C. T_{max} est la température à laquelle on observe une chute des performances mécaniques, c'est-à-dire une diminution de 50 % de l'allongement après une période de vieillissement de 1000 h. Par conséquent et au-delà de 100 – 120 °C, le NBR devient « gluant », ce qui rend les gants plus « collants » à la peau. Ensuite, une dégradation se produira à partir de 200 °C. LanXess (2014) mentionne que les événements d'allumage et de décomposition se produisent effectivement au-dessus de 200 °C. Lors de la destruction thermique et de la combustion, du monoxyde/dioxyde de carbone, du cyanure d'hydrogène, de l'oxyde nitreux et de la suie sont libérés (SIBUR, 2011).

On peut en conclure que les gants normaux en NBR sont stables lorsqu'ils sont utilisés dans une certaine plage de températures, jusqu'à 100 °C au moins.

2 Perméation des gants

Connor (1999) a étudié la perméabilité de différents matériaux de gants (caoutchouc nitrile, latex, polyuréthane et néoprène) à 18 médicaments antinéoplasiques, hydrophiles et hydrophobes, exposés pendant 30, 60, 90 et 120 minutes. Il a été constaté que tous les matériaux étaient généralement imperméables à chaque médicament. Une perméation mineure n'a été constatée que dans certains échantillons, en raison de défauts.

Phalen et al (2007) ont étudié l'influence de la teneur en acrylonitrile des gants jetables en NBR sur la résistance à la perméation de solutions aqueuses de captane. Le temps de

détection normalisé (NBT) a augmenté de 120 min pour chaque augmentation de 5 % d'acrylonitrile, tandis que la vitesse de perméation à l'état d'équilibre (SSPR) a diminué. Le SSPR moyen allait de 0,002 à 0,40 $\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{min}$, tandis que les NBT allaient de 35,9 min à 420 min (Phalen et al, 2007).

Nielsen & Sørensen (2012) ont constaté que les gants en nitrile offrent une protection significativement meilleure contre l'acide benzoïque par rapport aux gants en latex. Le flux maximal ($\mu\text{g}/\text{h}/\text{cm}^2$) était de 1,8 dans le nitrile, et de 11,2 dans le latex. Cependant, la différence de protection entre les deux types de gants a diminué lorsque les concentrations d'acide benzoïque ont augmenté. Les auteurs ont également souligné que ces gants à usage unique perdent leur protection en cas d'utilisation répétée, car les temps de latence des gants fins sont limités et l'accumulation peut atteindre le point de saturation.

On peut conclure que les gants en nitrile sont très efficaces pour réduire la perméation des composés organiques pendant une courte période (heures) et lors d'un usage unique. Cependant, l'efficacité de la protection dépend de la composition du NBR, car une teneur plus élevée en acrylonitrile assure une meilleure protection.

VI BRÛLURES (GÉNÉRALITÉS)

Les brûlures sont un type courant de blessure cutanée, et une évaluation précise de leur gravité est de la plus haute importance pour déterminer le traitement approprié. L'incidence des brûlures dépend de plusieurs facteurs : par exemple, l'épaisseur de la peau, l'humidité de l'air/de la peau, la température, la durée du contact, etc. Certains types généraux de brûlures peuvent être caractérisés, en fonction de la profondeur des plaies :

Premier degré

Toute brûlure limitée à l'épiderme est considérée comme une brûlure du premier degré. La barrière cutanée étant intacte, la brûlure est sèche et rouge. La douleur ressentie est limitée. Un traitement minimal (analgésie et crème hydratante) ou aucun traitement n'est nécessaire avec une guérison très rapide (Greenhalgh, 2019).

Deuxième degré

Une brûlure de deuxième degré, ou d'épaisseur partielle, s'étend dans le derme mais ne le traverse pas (Greenhalgh, 2019). La barrière épidermique étant perdue, la plaie forme une cloque ou, si elle n'est pas couverte, suinte du liquide interstitiel. En fonction de la profondeur de la brûlure dans le derme, on peut la classer en deuxième degré superficiel ou en deuxième degré profond. Dans le premier cas, comme le plexus dermique des vaisseaux et des nerfs est intact, la plaie blanchira à la pression et la douleur sera intense. Les brûlures superficielles du deuxième degré guérissent spontanément par réépithélialisation. La limite de migration à partir du bord de la plaie n'est que de 1 à 2 cm, mais dans ces plaies superficielles, les kératinocytes des follicules pileux résiduels et des autres annexes cutanées prolifèrent et migrent à la surface pour réépithélialiser la plaie. Si les annexes sont proches les unes des autres, comme dans le cuir chevelu, la réépithélialisation est beaucoup plus rapide (en 4 à 5 jours) que si les annexes sont moins denses. Les patients âgés ont tendance à avoir moins de follicules pileux que les patients plus jeunes, de sorte que la réépithélialisation peut être altérée. La peau est également plus fine chez les patients âgés, de sorte que les conséquences de la brûlure peuvent être plus importantes. Au fur et à mesure que les brûlures du deuxième degré deviennent plus profondes, il reste moins d'annexes cutanées ; ainsi, les brûlures plus profondes nécessitent plus de temps pour guérir et peuvent nécessiter un traitement chirurgical pour guérir à temps (Greenhalgh, 2019).

Troisième degré

Une brûlure démontrant une destruction complète du derme jusqu'au niveau de la graisse sous-cutanée est considérée comme une brûlure du troisième degré, ou brûlure de pleine épaisseur (Greenhalgh, 2019). Comme tous les vaisseaux et les nerfs du derme sont détruits, il n'y a pas de blanchiment et la brûlure est beaucoup moins douloureuse qu'une brûlure au deuxième degré. Les plaies peuvent être de n'importe quelle couleur et sont plus sèches que les brûlures plus superficielles. Les annexes dermiques étant détruites, la migration épithéliale se limite aux cellules basales des bords de la plaie. Par conséquent, la majeure partie de la guérison résulte de la formation et de la contraction du tissu de granulation. Les petites blessures sur des zones sans importance peuvent guérir sans problème, mais les brûlures plus importantes, surtout sur des structures importantes, entraînent des contractures qui altèrent la fonction. Avec suffisamment de temps, la contraction peut fermer la majorité des plaies, mais entraîne une perte de fonction profonde (Greenhalgh, 2019). Par conséquent, ces brûlures nécessitent un débridement chirurgical et une greffe de peau.

Quatrième degré

Les brûlures du quatrième degré s'étendent aux muscles, aux os ou aux tendons et doivent être traitées dans des centres de brûlés, car elles peuvent nécessiter des lambeaux ou des amputations.

La relation entre les différentes catégories de brûlures et la température/le temps de contact a été visualisée par Lawrence & Bull (1976) (Fig. 8). Une revue systématique a été réalisée par Loo et al (2018). Un accord global a été trouvé dans toutes les études qu'ils ont examinées : la température la plus basse qui a conduit à des brûlures mi-dermiques avec une durée d'exposition de > 10 minutes était de 50 °C, la température la plus élevée était de 100 °C qui a conduit à des brûlures profondes d'épaisseur partielle en 10 secondes (Loo et al, 2018).

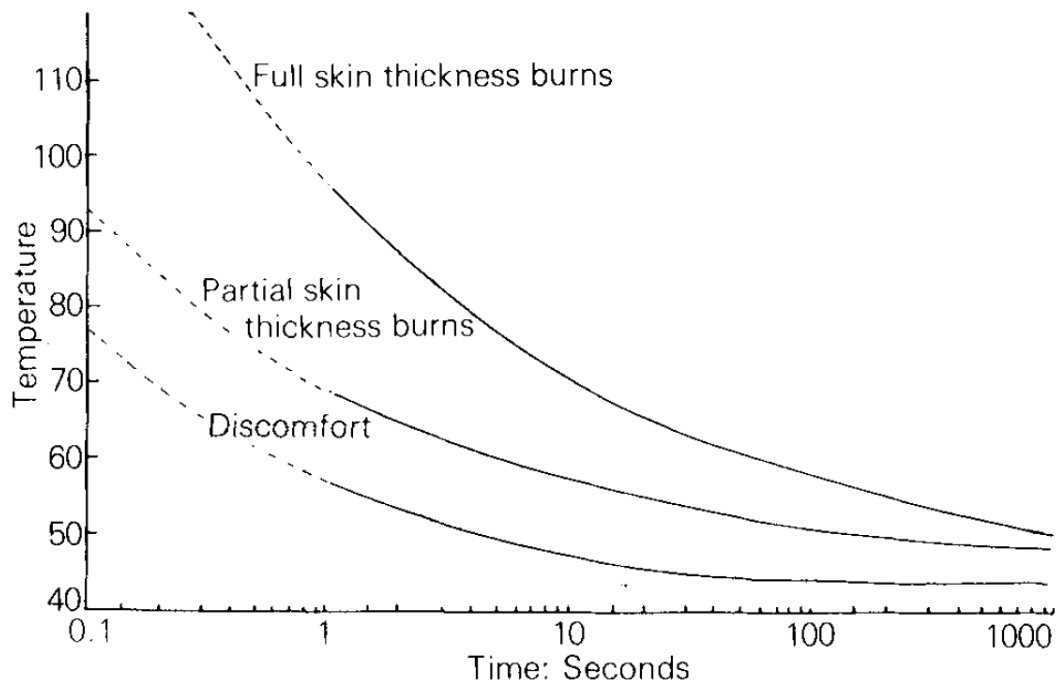


Figure 8 : Résultat pour la peau par exposition (temps x température) (Source : Lawrence & Bull, 1976 : Fig. 2).

VII QUESTIONS ORIGINALES

1 Comment peut-on évaluer et comparer l'importance d'un risque direct à court terme avec un risque aléatoire à long terme ?

Il est très difficile de répondre à cette question, car il est presque impossible de comparer un risque aigu avec les effets d'une exposition chronique. Les effets à court terme tels que les brûlures sont d'une nature différente de ceux d'une maladie qui se manifeste plus tard, comme le cancer. La relation entre « exposition » et « effet » est plus facile à établir dans le cas d'accidents ou de problèmes de santé aigus (par exemple, l'empoisonnement au CO). Les maladies chroniques sont souvent multifactorielles et certaines n'ont qu'une faible probabilité de se produire, tandis que les risques à court terme se manifestent après une certaine agression. Pour ces raisons, cette question ne sera pas abordée. Une protection optimale contre les deux risques est nécessaire, mais un compromis doit être fait dans certains cas. Il convient ensuite d'atténuer au maximum les risques restants.

2 Parmi les risques de cancers chez les pompiers, quelle serait l'importance de ceux causés par la contamination des mains uniquement (surface limitée du corps) ?

L'exposition totale est beaucoup plus déterminante que la seule exposition des mains. Dans la pratique, l'exposition ne passe pas seulement par les mains. Différentes voies d'absorption doivent être envisagées : cutanée, perorale, respiratoire, etc. Cette question sera reformulée comme suit : « *Quelle est l'importance de la contamination des mains dans l'exposition totale aux agents cancérigènes chez les pompiers ?* ».

3 Le risque de cancer dû à la contamination des mains lors de la lutte contre l'incendie est-il supérieur au risque de brûlure des mains ?

Veuillez consulter notre réponse à la première question. Ces deux risques sont réels et ont été pris en compte par le Conseil Supérieur de la Santé dans ce rapport consultatif, y compris les mesures préventives. Le risque de brûlures dépend de nombreux facteurs, tels que le type d'incendie, la tâche à accomplir pendant l'intervention et l'utilisation correcte des équipements de protection individuelle (EPI). Dans le même temps, le risque de cancer est également multifactoriel et beaucoup moins prévisible sur une base individuelle. Cette question sera partiellement abordée en répondant à la question suivante.

4 D'un point de vue médical, peut-on considérer que dans le cas de brûlures aux mains, la présence d'un gant en nitrile partiellement fondu et décomposé n'induit-il pas un risque supplémentaire ?

Une réponse sera fournie sur la base de l'expertise des experts et de la littérature.

5 Peut-on affirmer que le traitement des brûlures ne sera pas affecté par la présence de nitrile fondu dans les plaies comme l'indique l'étude ?

Une réponse sera apportée, largement basée sur l'expertise des centres de brûlés et des hôpitaux universitaires belges. Elle est incluse dans la réponse à la question précédente.

6 Existe-t-il des crèmes de protection (comme les crèmes antisalissures utilisées dans les ateliers de mécanique) qui pourraient être appliquées sur les mains des pompiers sous les gants d'incendie et qui pourraient remplacer les gants en nitrile ?

Cette question sera reformulée comme suit : « *Existe-t-il d'autres mesures préventives possibles pour réduire l'exposition aux contaminants cancérigènes ?* ».

7 Dans quelle mesure le fait de prendre une douche après un incendie réduit-il le risque de pénétration des contaminants dans la peau ? À quelle vitesse ces substances cancérigènes pour la peau sont-elles introduites de manière irréversible ?

Ces questions seront brièvement abordées dans « *Existe-t-il d'autres mesures préventives possibles pour réduire l'exposition aux contaminants cancérigènes ?* ».

VIII QUESTIONS ET RÉPONSES RÉVISÉES

1 « Quelle est l'importance de la contamination des mains dans l'exposition totale aux agents cancérigènes chez les pompiers ? ».

Il existe suffisamment de preuves pour suggérer que l'exposition professionnelle chez les pompiers entraîne une augmentation de l'incidence de certains cancers (Demers et al, 2022). Il est donc très important d'empêcher l'inhalation des particules de combustion et des composants gazeux en portant un appareil respiratoire isolant (ARI), et de protéger la peau en utilisant correctement et au maximum les équipements de protection individuelle (EPI). Cet équipement est efficace (Pleil et al, 2014). Après l'exposition, Wingfors et al (2018) ont constaté que les concentrations totales d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) étaient environ 150 fois plus faibles dans les vêtements de protection qu'à l'extérieur. Cependant, l'équipement de protection n'offre pas une protection totale. Fent et al (2013 ; 2014) ont constaté une concentration de benzène dans l'haleine post-exposition significativement élevée ($P < 0,05$) chez les pompiers, ce qui indique une absorption limitée par la peau malgré l'utilisation d'EPI. Keir et al (2017) ont conclu que la décontamination de la peau et des EPI après l'événement permettra de réduire efficacement l'exposition aux émissions de combustion et le risque sanitaire associé.

1.1. Exposition par région anatomique

Toutes les régions anatomiques ne sont pas exposées de la même manière, ce qui est souvent lié à l'efficacité différente des EPI. Certaines études récentes permettent d'en savoir plus :

Fent et al (2013, 2014) (USA) : Plus de 80 % des pompiers participant à un questionnaire de Fent et al (2013) ont rapporté avoir vu de la suie sur leur peau à un moment ou à un autre lors du retrait de l'EPI, et ce sur le visage, le cou et les mains. Plus de 50 % ont également signalé la présence de suie sur les bras. Par conséquent, les surfaces des avant-bras ($0,15 \text{ m}^2 \sim 7,1 \%$ de la surface corporelle totale de $2,1 \text{ m}^2$ des hommes adultes), des mains ($0,11 \text{ m}^2 \sim 5,2 \%$), du visage ($0,068 \text{ m}^2 \sim 3,2 \%$), du cou ($0,042 \text{ m}^2 \sim 2 \%$) et du scrotum ($0,054 \text{ m}^2 \sim 2,6 \%$) ont été analysées pour déterminer les niveaux de HAP après exposition. Au total, 15 pompiers ont été étudiés. Les niveaux de HAP après exposition étaient légèrement élevés, mais cette augmentation n'était statistiquement significative que sur le cou dans un des deux tours. Le classement des niveaux post-exposition par site anatomique est : cou > scrotum > visage > main et bras (Fent et al, 2013, 2014). Dans les deux tours, des concentrations médianes de HAP de $15,9$ et $23,7 \mu\text{g}/\text{m}^2$ ont été trouvées sur les mains et $52,0$ et $62,8 \mu\text{g}/\text{m}^2$ sur le cou. Contrairement aux autres parties du corps couvertes par plusieurs couches, le cou était principalement protégé par une cagoule en Nomex avec une double couche de tissu ignifuge.

Stec et al (2018) (Royaume-Uni) : Ces auteurs ont étudié des échantillons de peau et de vêtements de 4 pompiers avant et après un exercice d'entraînement dans un conteneur d'expédition où un morceau de panneau à copeaux orientés a été brûlé. Les concentrations post-exposition de HAP sur les échantillons de lingettes cutanées étaient significativement élevées, en particulier sur les mains (jusqu'à $550 \text{ mg}/\text{m}^2$), et dans une moindre mesure sur le devant du cou.

Baum et al (2020) (USA) : Des bracelets en silicone étaient portés sous l'EPI. Les concentrations de HAP de faible poids moléculaire (naphtalène, phénanthrène, etc.) étaient 42 % plus élevées après les interventions du feu, bien que les concentrations soient restées faibles (augmentation d'environ 7 ppb à 10 ppb). En revanche, la concentration moyenne de HAP de poids moléculaire élevé n'a pas différé de manière significative après l'exposition (augmentation de 0,79 ppb à 0,88 ppb).

Levasseur et al (2022) (USA) : Des bracelets en silicone ont été utilisés pour quantifier l'exposition aux produits chimiques pendant et après les heures de travail de 20 pompiers. 134 produits chimiques ont été détectés. L'exposition aux PFOS pendant les heures de travail était 2,5 fois plus élevée que l'exposition en dehors des heures de travail. L'exposition aux HAP, aux retardateurs de flamme bromés et à certains esters organophosphorés était également associée au travail (0,5 à 8,5 fois plus élevée en service).

Toutes les études s'accordent à dire que les mains sont contaminées malgré l'utilisation de gants. L'ampleur du problème diffère selon les études : alors que Fent et al (2013, 2014) ont trouvé les concentrations post-exposition les plus faibles sur les mains (n = 15), les mains étaient la principale zone contaminée chez Steck et al (2018) (n = 4). Nous supposons que beaucoup de choses dépendent de l'EPI et de la tâche d'un pompier pendant l'intervention. Cependant, les deux études indiquent des risques élevés pour le cou, car celui-ci est moins facile à protéger de manière homogène avec des EPI.

1.2. Absorption par la peau sur différentes régions anatomiques

Les taux d'absorption de composés chimiques par la peau dépendent de nombreux facteurs (par exemple, les caractéristiques physico-chimiques du produit chimique, l'humidité, la température, la quantité de sueur, la densité des pores, l'épaisseur de la peau).

Certaines expériences ont été menées par Vanrooij et al (1993) afin de déterminer les différences d'absorption des HAP entre les sites anatomiques et les différents individus. Par conséquent, la pommade au goudron de houille a été appliquée sur la peau de différents sites. Les mesures de disparition de surface ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- En général, 20 à 56 % des faibles doses de HAP sont absorbées par la peau après 6 heures. La constante de vitesse d'absorption moyenne globale (k_a) était de 0,066/h.
- Les mesures de disparition de la surface montrent des différences faibles, mais significatives dans l'absorption dermique des HAP entre les sites suivants : épaule (0,135/h) > front (0,065/h), avant-bras (0,070/h), aine (0,053/h) > cheville (0,036/h), main (site palmaire, 0,037/h).
- Les différences entre individus dans l'absorption des HAP étaient faibles (7 %), comparées aux différences entre sites anatomiques (69 %).

On peut supposer que l'absorption cutanée des HAP par les mains est inférieure à celle du cou, étant donné que la *couche cornée* des paumes est plus épaisse. Pour l'absorption des composés organiques volatils (COV), les résultats de la littérature sont plus difficiles à interpréter, étant donné que pour le benzène, l'exposition à des dilutions liquides a souvent été utilisée dans les expériences.

À l'heure actuelle, les pompiers sont de plus en plus exposés à d'autres polluants que les HAP et les COV (par exemple, Levasseur et al, 2022). Par exemple, les pompiers ont été plus exposés aux PFAS que la population générale au cours des dernières décennies (Nilsson et al, 2022). Actuellement, on manque de données pour quantifier le taux d'absorption de toutes ces substances par la peau.

1.3. Contamination des mains et risques de cancer

Le risque de cancer chez les pompiers est dû à l'exposition générale du corps à des substances cancérigènes. L'influence exacte des mains est difficile à déterminer. Dans la littérature, seuls Stec et al (2018) ont réalisé une estimation (Fig. 9) à partir de leurs mesures sur les mains de quatre pompiers après une exposition lors d'un exercice de lutte contre le feu.

Dans cette dernière étude, les facteurs de pente du cancer (CSF) ont été utilisés pour estimer le risque de cancer lié à une exposition sur toute une vie. Sur la base de la loi californienne Proposition 65, les résultats des échantillons de peau et de vêtements ont été utilisés pour évaluer l'évaluation des risques, via l'exposition cutanée, pour les paramètres de cancer (Stec et al, 2018). Selon les directives de l'EPA pour l'évaluation des risques cancérigènes, le facteur de risque défini a été estimé pour 1 cas de cancer sur 100 000 par habitant. En supposant que (1) l'absorption cutanée des HAP est de 20 %, (2) le port d'une tenue d'intervention 2 jours par semaine, 50 semaines/an pendant une carrière de 40 ans et (3) un âge de 70 ans, Stec et al (2018) ont estimé que le risque le plus élevé était dû à l'exposition cutanée. Sur la base de leurs mesures de HAP sur les vêtements, il a été calculé que jusqu'à 350 pompiers peuvent développer un cancer à partir de ces concentrations, tandis qu'un ratio de caractérisation du risque plus élevé de 25 a été identifié à partir des HAP identifiés sur la peau des mains après exposition (Fig. 9). Il convient toutefois de noter que les concentrations de HAP mesurées par Stec et al (2018) sur les échantillons de peau étaient nettement plus élevées que dans la plupart des autres études. L'exposition aux mains, comme prévu, ne peut expliquer qu'une petite partie du problème beaucoup plus vaste du cancer chez les pompiers.

Compte tenu des résultats expérimentaux de la littérature, mais aussi des incertitudes existantes, on peut conclure que les mains des pompiers sont exposées à des substances cancérigènes. Cependant, elles absorbent les HAP moins rapidement que la région du cou, qui est également très exposée. Les niveaux d'exposition peuvent être liés à l'efficacité de l'équipement de protection. Néanmoins, la contamination des mains ne peut être ignorée, et le contact avec les agents cancérigènes doit être réduit autant que possible pour minimiser les risques de cancer.

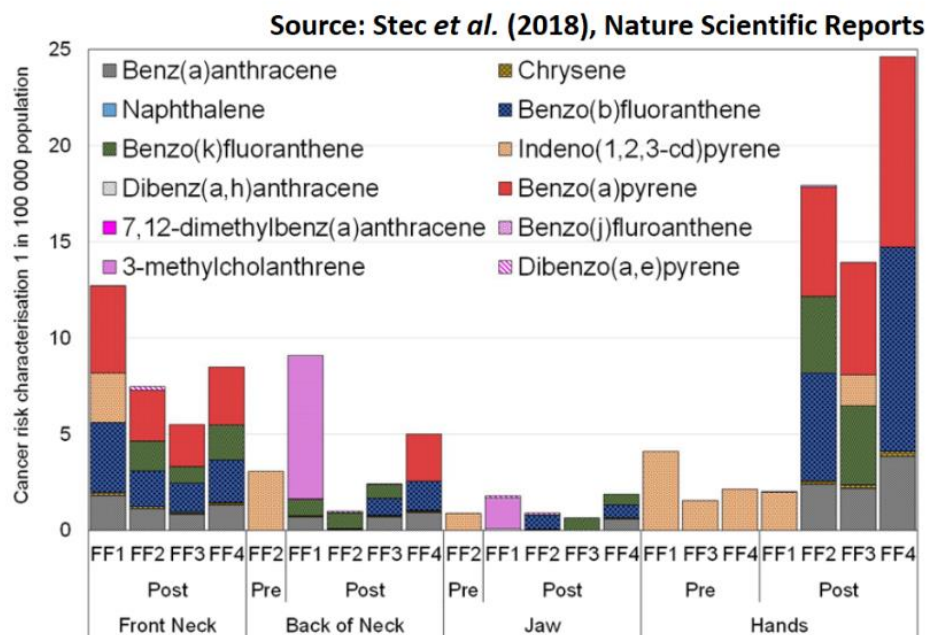


Figure 9. Caractérisation du risque de cancer estimé (1 pour 100 000 habitants) par absorption cutanée pour chaque composé cancérigène détecté, mesuré sur différentes régions anatomiques du corps après exposition (Stec et al, 2018 : Fig. 6A).

2. « D'un point de vue médical, peut-on considérer que dans le cas de brûlures aux mains, la présence d'un gant en nitrile partiellement fondu et décomposé n'induit-il pas un risque supplémentaire ? »

2.1. Le caoutchouc nitrile-butadiène peut-il fondre ?

Le caoutchouc nitrile butadiène (NBR) n'est pas un matériau thermoplastique, mais un matériau élastomère. Les élastomères sont obtenus par durcissement irréversible (« *curing* ») avec la création de réticulations entre les chaînes de polymères. Contrairement aux polymères thermoplastiques, les élastomères ne peuvent pas fondre pour être remodelés. **Par conséquent, il ne peut y avoir de NBR fondu.**

Le NBR est stable et conserve ses propriétés jusqu'à environ 120 °C. Au-delà de cette température maximale, la dégradation commence. Le caoutchouc devient « gluant » et sera plus « collant » à la peau.

Contrairement à la fonte, le NBR se décompose. À très haute température (plusieurs centaines de degrés, > 200 °C), il y a destruction thermique et combustion, avec émission de composés toxiques comme le cyanure d'hydrogène. Toutefois, ces températures sont si élevées que les pompiers mourraient probablement dans de tels accidents graves, indépendamment des gants en NBR.

2.2. Qu'est-ce que cela implique pour les brûlures ?

À haute température, le NBR devient collant pour la peau, ce qui allonge le temps de contact, car retirer les gants chauds prendra probablement plus de temps. La durée de contact avec le matériau chaud est proportionnelle à la profondeur de la brûlure. On peut donc supposer que les **gants en NBR présentent un risque supplémentaire**, augmentant la gravité des brûlures. De plus, le soin de la plaie ne peut commencer qu'après le retrait du caoutchouc nitrile chaud dégradé, ce qui peut poser une complication supplémentaire.

2.3. Le port de (sous-) gants en NBR est-il une mesure préventive acceptable ?

Plusieurs situations doivent être envisagées.

Contact direct du gant NBR avec des surfaces froides (sans gant de pompier)

Dans les zones froides, il n'y a aucun risque de brûlure. Dans ce cas, les gants en NBR offrent une très bonne protection de la peau contre les contaminants cancérigènes lors du nettoyage ou de la manipulation d'objets exposés ou d'EPI.

L'audition a révélé que plusieurs pompiers belges portent en fait des gants en NBR sous des gants de feu (en textile et en cuir), dans le but principal d'être protégés des contaminants le plus longtemps possible après l'intervention, lorsque les gants de feu sont retirés.

Contact direct du gant NBR avec des surfaces (potentiellement) chaudes (sans gant pompier)

Aucun risque ne peut être admis pour tout contact avec des objets chauds. Les brûlures seront aggravées par les gants NBR.

Gants en NBR portés sous les gants de feu lors d'interventions à chaud

En cas d'utilisation combinée de sous-gants en NBR et de gants de feu, deux risques doivent être pesés :

- Le risque d'exposition de la peau et d'absorption de substances cancérigènes émises par le feu. Étant donné l'importance des mains dans les tâches de lutte contre

l'incendie, il est essentiel qu'elles soient protégées au maximum pendant les interventions. Les sous-gants en nitrile constituent une barrière très adaptée à ces substances (HAP, COV, etc.), surtout lorsqu'on utilise des gants de feu en cuir, dans lesquels les substances cancérigènes peuvent s'accumuler.

- Le risque de brûlures plus graves en raison du temps de contact plus long avec les sous-gants en NBR, lors d'incidents graves où les mains sont brûlées malgré l'utilisation d'EPI.

Tant le risque chronique de cancer que le risque aigu de brûlures sont des préoccupations légitimes. Il est donc important d'examiner la pertinence du second scénario :

- L'audition des représentants des pompiers de Bruxelles et de Verviers a révélé qu'il n'y a pas de cas connu en Belgique de brûlures des mains liées aux gants NBR des pompiers. Cette combinaison est considérée comme positive par de nombreuses personnes.
- Aucun rapport n'a été trouvé dans la littérature scientifique concernant des brûlures dues au contact avec des gants en NBR.
- En Norvège (Bergen), on connaît un cas de mains brûlées d'un pompier qui portait des gants en nitrile (NBR) sous ses gants de feu lors d'un entraînement à la fumée chaude (Kristoffersen, comm. pers. 2022). Il y a eu un embrasement général pendant cet exercice, et une augmentation soudaine de la température dans la pièce a fait bouillir l'humidité sur ses mains. Après coup, il a été dit qu'il se serait brûlé les mains même sans sous-gants en NBR, et que le pompier n'a pas fait ce qu'il fallait pour refroidir la température de la pièce assez tôt. Malheureusement, aucun rapport écrit n'est disponible.
- Sur la base de l'expérience des experts de notre groupe de travail, issus des centres de brûlés et des hôpitaux universitaires belges, il apparaît que les brûlures aux mains des pompiers sont plutôt rares. Les brûlures étaient plus fréquemment observées sur la région du cou, par exemple. La littérature scientifique internationale confirme en partie cette image et souligne qu'une utilisation incorrecte des EPI est responsable de la grande majorité des brûlures des pompiers (par exemple, Madden et al, 1995 ; Kahn et al, 2012). La région anatomique la plus brûlée varie selon les études, beaucoup mentionnent le visage et les régions du cou (Kahn et al, 2012 ; Kim et al, 2016 ; Rabbitts et al, 2005 pour les cas ambulatoires), tandis que d'autres études indiquent que les extrémités inférieures sont les sites les plus brûlés (Madden et al, 1995 ; Rabbitts et al, 2005 pour les cas hospitalisés). Dans les études citées, la proportion de brûlures de la main varie de 9,4 % à plus de 20 %.

Étant donné l'excellente protection qu'offrent les sous-gants en NBR contre les contaminants cancérigènes (nécessaires dans les gants de feu en cuir non lavés) et l'incidence limitée des brûlures sur les mains (avec une utilisation correcte de l'EPI), le groupe de travail du CSS considère que l'utilisation des sous-gants en NBR en combinaison avec les gants de feu (en cuir et en textile) est acceptable. Cette position est basée sur les connaissances actuelles et peut changer à tout moment si de nouvelles données pertinentes deviennent disponibles.

Il est de la plus haute importance que le sous-gant en NBR soit toujours entièrement recouvert par les gants de feu, afin que le NBR ne soit pas exposé à la chaleur. En outre, les sous-gants en NBR ne doivent être utilisés qu'une seule fois, car le risque de déchirure est trop élevé en cas de réutilisation, ce qui réduit la protection contre les agents cancérigènes. Bien que les gants en nitrile soient assez stables, la perte lente et progressive de leur qualité au fil du temps peut être influencée par plusieurs facteurs (voir également Esmizadeh et al, 2021).

3. « Existe-t-il d'autres mesures préventives possibles pour réduire l'exposition aux contaminants cancérigènes ? ».

Plusieurs zones de feu ont des directives complètes sur la décontamination. La zone Vesdre - Hoëgne & Plateau a développé une vidéo didactique sur la procédure personnelle de décontamination et d'évitement de la contamination croisée (lien consulté le 10/11/22) : <https://www.youtube.com/watch?v=sr12RV9YVGc>.

Quelques considérations importantes sont présentées ici par le Conseil Supérieur de la Santé. Ce paragraphe est partiellement basé sur les « Recommandations pour la protection des pompiers » de Fent et al (2013).

3.1. Alternatives aux sous-gants en NBR ?

Il n'existe pas de crèmes barrières (gants invisibles) qui permettent de protéger efficacement les mains contre les contaminants sous les gants de feu. Des alternatives telles que des sous-gants en coton plutôt qu'en nitrile (NBR) peuvent être envisagées, mais leur efficacité sera moindre. Laitinen et al (2010) ont constaté que la quantité de HAP sur les mains diminuait de 80 % lorsque des sous-gants en coton étaient utilisés. Les gants en coton antidérapants sont utilisés par les instructeurs de lutte contre les incendies en Finlande, car ils semblent plus confortables. Toutefois, ces gants ne sont portés que lorsque peu d'eau d'extinction est utilisée. Des gants mouillés peuvent entraîner des brûlures lors d'incidents. En raison de ce risque et de l'incertitude quant à savoir si les sous-gants en coton mouillé transporteront plus rapidement les contaminants vers la peau, nous ne recommandons pas leur utilisation.

3.2. L'utilisation la plus large possible des ARI « du début à la fin ».

Pour minimiser l'inhalation de contaminants cancérigènes, l'ARI doit être utilisé autant que possible pendant les interventions. Travailler avec un ARI est épuisant, mais il n'y a pas d'alternative viable. L'ARI doit être vérifié régulièrement pour s'assurer de son bon fonctionnement. Après chaque intervention, l'ARI doit être nettoyé, car il est fortement exposé à la fumée et à la suie.

3.3. Vent

Rester en amont des feux si on ne participe pas directement à l'intervention.

3.4. Ventilation

Les espaces brûlés inspectés par les pompiers doivent être ventilés autant que possible.

3.5. Utilisation correcte des EPI

Il est important que tous les EPI soient utilisés correctement. La peau doit être couverte au maximum pour éviter toute contamination pendant et immédiatement après les interventions. Une attention particulière doit être accordée à la couverture et à la protection du cou, car il est très exposé et sa peau semble absorber les contaminants plus rapidement.

3.6. Protection des mains lors des interventions sur le feu

Les gants de feu ont trois fonctions lors des interventions : (1) protection contre la chaleur, (2) protection contre les blessures mécaniques et (3) formation d'une barrière pour empêcher les substances toxiques d'atteindre la peau. Malheureusement, les gants de feu n'arrêtent pas toutes les substances, de sorte que la peau est toujours légèrement exposée. Cependant, comme les gants en cuir sont difficiles à laver, les substances toxiques peuvent s'accumuler

dans ce type de gants. Il est donc important de porter des sous-gants en nitrile (NBR) (gants jetables) sous les gants en cuir pendant les interventions. Les gants en nitrile doivent être entièrement recouverts, car ils ne doivent pas entrer en contact avec la chaleur. Ils ne peuvent être utilisés qu'une seule fois. Les sous-gants en nitrile peuvent également être combinés avec des gants de feu en textile, mais le besoin aigu est ici moindre, car les gants en textile peuvent être nettoyés plus facilement.

3.7. Protection des mains après des interventions sur le feu

Après l'intervention, il est important de garder les gants en nitrile le plus longtemps possible lorsque vous retirez votre propre équipement de protection afin d'éviter tout contact avec la suie et les contaminants. Ils doivent également être portés lors du nettoyage des zones froides après l'incendie. Les gants en nitrile ne doivent jamais entrer en contact direct avec des surfaces chaudes. S'il y a encore un risque que les objets n'aient pas complètement refroidi, les gants en nitrile ne doivent être portés que sous un gant de pompier ordinaire. Ils sont destinés à un usage unique.

3.8. Protection contre les dégagements gazeux après des interventions sur le feu

L'ARI et les cagoules ne doivent être enlevés qu'à la fin, lors du retrait des EPI après une intervention. Tous les EPI usagés doivent être transportés dans un espace distinct, physiquement séparé de la cabine où les pompiers séjournent pendant leur transport vers la caserne. Les EPI contaminés ne peuvent pas être stockés dans les véhicules personnels ou les lieux de vie des pompiers.

3.9. Protection de toute la peau après des interventions sur le feu

Les mains doivent être lavées immédiatement après l'intervention. Les pompiers doivent prendre soin d'enlever la suie de la peau dès que possible. Les lingettes humides froides peuvent être utilisées pour nettoyer d'abord les zones les plus contaminées. La douche doit commencer par une douche froide, afin de fermer les pores pendant que la plupart des suies sont éliminées. Ensuite, la douche peut se poursuivre avec une température chaude confortable, pour rouvrir les pores. Il est important d'utiliser un savon contenant des agents tensioactifs pour éliminer efficacement les HAP.

3.10. Décontamination et nettoyage des EPI

Il est important de nettoyer les EPI après chaque intervention. Les EPI contaminés ne doivent en aucun cas être emportés à la maison et doivent être décontaminés régulièrement par des professionnels (voir également la norme ISO 15797-2).

La *National Fire Protection Association* (USA) définit trois niveaux de nettoyage (NFPA 1851 *Guideline*) :

- 1) Nettoyage de routine/Décontamination du terrain (à chaque intervention).
- 2) Nettoyage avancé par la laveuse-essoreuse appropriée (au moins deux fois par an).
- 3) Traitement spécialisé (produits chimiques / biologiques dangereux).

Une vidéo est fournie par la NFPA sur leur procédure de « nettoyage avancé » des gants : <https://www.youtube.com/watch?v=R3Ozwc7UgD4>. (lien consulté le 25/10/22). Certains fabricants de vêtements de pompiers proposent des services de blanchisserie spécialisés : <https://sioenfire.com/nl/gebruik/wasunit-graulhet> (lien consulté le 25/10/22).

L'efficacité des différentes méthodes de nettoyage varie fortement.

- Décontamination par voie aérienne : Un jet d'air fourni par un souffleur de feuilles électrique modifié a été utilisé par Fent et al (2017). Cette méthode n'a permis de réduire la contamination par les HAP que d'une médiane de 2 %. Cette méthode est donc inadéquate.
- Décontamination à la brosse sèche : Une brosse à récurer industrielle pour gratter les débris et les contaminants de l'équipement. Cette méthode a permis de réduire la contamination par les HAP d'une médiane de 23 % (Fent et al, 2017). Cette méthode est facile à mettre en œuvre, malgré son efficacité limitée.
- Décontamination au savon humide : Plusieurs protocoles sont possibles. Fent et al (2017) ont pré-rincé l'équipement à l'eau, puis l'ont pulvérisé avec un mélange de savon, l'ont frotté avec une brosse industrielle avec le mélange de savon, et l'ont rincé à l'eau. Cette méthode a permis de réduire la contamination par les HAP d'une médiane de 85 % (Fent et al, 2017). Les HAP étant des composés liposolubles, les tensioactifs du savon entourent ces molécules et les libèrent de leur environnement (Fent et al, 2017). Malheureusement, cette procédure prend du temps et n'est donc souvent pas exécutée après chaque intervention, malgré sa relative efficacité.

Un rapport géré par l'Institut finlandais de la santé au travail, l'Institut national de la santé et du bien-être de Finlande et l'Institut néerlandais pour la sécurité au travail (IFV) (2018) a montré une efficacité moindre pour les méthodes de nettoyage à l'eau les plus utilisées (efficacité maximale de 40 %). Mayer et al (2019) ont nettoyé des cagoules dans une machine à laver à chargement frontal sans agitateur avec un cycle de lavage/rinçage de 55 min, avec des détergents commerciaux ARM & HAMMER Plus OxiClean. Les cagoules ont été nettoyées quatre fois. Ils ont constaté que l'efficacité du lavage dépend largement du type de contaminants chimiques : un pourcentage élevé de HAP a été éliminé, mais une contamination croisée entre les cagoules s'est produite avec différents retardateurs de flamme (NPBFR, OPFR, PBDE). Banks et al (2021) ont constaté que les techniques actuelles de lavage et de décontamination sur le terrain à l'eau seulement n'éliminaient pas efficacement les COSV des uniformes des pompiers, et que la contamination des machines à laver et la contamination croisée du linge peuvent se produire. En utilisant une machine à laver domestique à chargement frontal à 60 °C, Engelsman et al (2023) ont également détecté une contamination croisée, surtout sur les sous-vêtements synthétiques et moins sur ceux en coton.

- Décontamination de la chambre à l'ozone : Selon les fabricants, les fractions volatiles sont largement réduites en 2 à 5 minutes par la dégradation par l'ozone et l'oxydation en CO₂ et en eau. Cependant, de Melo Lucena et al (2021) ont constaté que la simple exposition des EPI à une atmosphère d'ozone n'est pas suffisante pour obtenir une ozonolyse significative. En outre, ces auteurs ont averti que les HAP nouvellement oxygénés pourraient être encore plus nocifs pour la santé humaine que les composés d'origine.
- Décontamination au LCO₂ : Le CO₂ liquide est appliqué sous une pression élevée (environ 53 bars) à basse température (environ 22 °C), de sorte qu'il peut pénétrer en profondeur dans les fibres des structures multicouches (Szymtke et al, 2022). Les contaminants à l'intérieur du textile sont presque entièrement éliminés par le CO₂. Le niveau de HAP total après le traitement était toujours inférieur au seuil de détection (< 0,6 mg/kg) dans l'étude de Szymtke et al (2022). Ces derniers auteurs recommandent vivement que le nettoyage au LCO₂ soit appliqué au moins deux fois par an et après des incidents où une contamination est probable. Un autre avantage est qu'aucun dommage mécanique ne se produit sur les vêtements EPI. Par conséquent, cette méthode peut être une option pour le nettoyage des gants de feu

en cuir. L'inconvénient est le coût plus élevé par rapport aux méthodes traditionnelles de nettoyage à l'eau.

Une bonne stratégie de décontamination des EPI consiste en une combinaison de différentes mesures, dont l'efficacité varie, permettant d'atteindre le plus haut degré de propreté possible au meilleur coût. La décontamination à la brosse sèche et au savon humide peut être appliquée de manière routinière, une décontamination totale au LCO₂ sur une base régulière (au moins deux fois par an) est également recommandée.

IX REFERENCES

Alexander BM, Baxter CS. Plasticizer Contamination of Firefighter Personal Protective Clothing. A Potential Factor in Increased Health Risks in Firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2014;11:D43-D48.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/15459624.2013.877142>>

ANSES. Risques sanitaires liés aux expositions professionnelles des sapeurs-pompiers. Rapport d'appui scientifique et technique. Demande « n°2018-SE-0066 – Pompiers ». ANSES 2019;1-154.

Available from : URL: <<https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2018SA0066Ra.pdf>>

Barros, B., Oliveira, M., & Morais, S. Firefighters' occupational exposure: Contribution from biomarkers of effect to assess health risks. *Environment international* 2021;156:106704.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106704>>

Bates JT. Coronary artery disease deaths in the Toronto fire department. *Journal of Occupational Medicine* 1987;29:132–35.

Banks APW, Wang X, Engelsman M, He C, Osorio AF, Mueller JF. Assessing decontamination and laundering processes for the removal of polycyclic aromatic hydrocarbons and flame retardants from firefighting uniforms. *Environmental Research* 2021;194:110616.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110616>>

Baum JL, Bakali U, Killawala C, Santiago KM, Dikici E, Kobetz EN et al. Evaluation of silicone-based wristbands as passive sampling systems using PAHs as an exposure proxy for carcinogen monitoring in firefighters: Evidence from the firefighter cancer initiative. *Ecotoxicology and environmental safety* 2020;205:111100.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111100>>

Blank IH, McAuliffe DJ. Penetration of benzene through human skin. *Journal of Investigative Dermatology* 1985;85:522-526.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1111/1523-1747.ep12277325>>

Burgess JL, Crutchfield CD. Quantitative Respirator Fit Tests of Tucson Fire Fighters and Measurement of Negative Pressure Excursions During Exertion. *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 1995;10:29-36.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/1047322X.1995.10387608>>

Byczek, L., Walton, S. M., Conrad, K. M., Reichelt, P. A., & Samo, D. G. (2004). Cardiovascular risks in firefighters: implications for occupational health nurse practice. *AAOHN Journal*, 52,66-76.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1177%2F216507990405200205>>

Caban-Martinez AJ, Lauzado Feliciano P, Oduwole S, Schaefer Solle N, Gonzalez-Umana C, Stone T et al. Abstract 25: Per- and polyfluoroalkyl substances and obesity in Florida firefighters. *Cancer Research* 2022, 82 (12_Supplement):25.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1158/1538-7445.AM2022-25>>

Clarke C, Zak MJ. Fatalities to Law Enforcement Officers and Firefighters, 1992-1997. *Compensation and Working Conditions* 1999;3-7.

CNRACL. Impacts et prevention des risques relatifs aux fumées d'incendie pour les sapeurs-pompiers. France, Bordeaux : Caisse Nationale de Retraites des Agents des Collectivités locales 2017;1-19.

Connor TH. Permeability of nitrile rubber, latex, polyurethane and neoprene gloves to 18 antineoplastic drugs. American Journal of Health-System Pharmacy 1999;56:2450-2453.
Available from: URL: <<https://doi.org/10.1093/ajhp/56.23.2450>>

Cook B, Mitchell W. Occupational health effects for firefighters: The extent and implications of physical and psychological injuries. Centre of Full Employment and Equity 2013;1-71.
Available from: URL: <<https://www.aph.gov.au/DocumentStore.ashx?id=6b768cf1-2ead-450a-8037-f03a53e8d7b2&subId=613112>>

Crawford JO, Graveling RA. Non-cancer occupational health risks in firefighters. Occupational Medicine 2012;62:485-95.
Available from: URL: <<https://doi.org/10.1093/occmed/kqs116>>

Daniels RD, Kubale TL, Yiin JH, Dahm MM, Hales TR, Baris D et al. Mortality and cancer incidence in a pooled cohort of US firefighters from San Francisco, Chicago and Philadelphia (1950-2009). Occupational & Environmental Medicine 2014;71:388-97.
Available from: URL: <<http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2013-101803>>

De Melo Lucena MA, Zapata F, Mauricio FGM, Ortega-Ojeda FEO, Quintanilla-López MG et al. Evaluation of an Ozone Chamber as a Routine Method to Decontaminate Firefighters' PPE. International Journal of Environmental Research and Public Health 2021;18:10587.
Available from: URL: <<https://doi.org/10.3390/ijerph182010587>>

Demers PA, DeMarini DM, Fent KW, Glass DC, Hansen J, Adetona O et al. Carcinogenicity of occupational exposure as a firefighters. The Lancet 2022;23 :985-86.
Available from: URL: <[https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(22\)00390-4](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(22)00390-4)>

Engelsman M, Toms LML, Wang X, Banks APW. Firefighter undergarments: Assessing contamination and laundering efficacy. Environmental Research 2023;216:114344.
Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114344>>

ERIKS. NBR.

Available from: URL: <<https://o-ring.info/en/materials/nitrile-nbr/#:~:text=About%20NBR,in%20the%20seal%20industry%20today>> [Accessed on 18/07/2022]

Esmizadeh E, Chang BP, Jubinville D, Seto C, Ojogbo E, Tzoganakis C et al. Stability of nitrile and vinyl latex gloves under repeated disinfection cycles, Materials Today Sustainability 2021;11–12:100067.
Available from : URL: <<https://doi.org/10.1016/j.mtsust.2021.100067>>

Fent KW, Eisenberg J, Evans D, Sammons D, Robertson S, Striley C et al. Evaluation of dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in fire fighters. Health Hazard Evaluation Program, Report No. 2010-0156-3196. U.S. Department of Health and Human Services Centers for Disease Control and Prevention. National Institute for Occupational Safety and Health; 2013.
Available from: URL: <<https://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2010-0156-3196.pdf>>

Fent KW, Eisenberg J, Snawder J, Sammons D, Pleil JD, Stiegel MA et al. Systemic Exposure to PAHs and Benzene in Firefighters Suppressing Controlled Structure Fires. The Annals of Occupational Hygiene 2014;58:830-45.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1093/annhyg/meu036>>

Fent KW, Evans DE, Booher D, Pleil JD, Stiegel MA et al. Volatile Organic Compounds Off-gassing from Firefighters' Personal Protective Equipment Ensembles after Use. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2015;12:404-14.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1025135>>

Fent KW, LaGaurdia M, Luellen D, McCormick S, Mayer A, Chen I-C et al. Flame retardants, dioxins and furans in air and on firefighters' protective ensembles during controlled residential firefighting. *Environment International* 2020a;140:105756.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105756>>

Fent KW, Toennis C, Sammons D, Robertson S, Bertke S, Calavat AM et al. Firefighters' absorption of PAHs and VOCs during controlled residential fires by job assignment and fire attack tactic. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology* 2020b;30:338-49.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1038/s41370-019-0145-2>>

Finnish Institute of Occupational Health, the National Institute of Health and Welfare of Finland, Dutch Institute for Occupational Safety (IFV); Study report on the effectiveness of PPE water cleaning, 8th European Conference on Protective Clothing, 7th - 9th May 2018, Porto, Portugal.

Gao P, da Silva E, Hou L, Denslow ND, Xiang P, Ma LQ. Human exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons: Metabolomics perspective. *Environment International* 2018;119:466-77.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.017>>

Gaughan DM, Cox-Ganser JM, Enright PL, Castellan RM, Wagner GR, Hobbs GR et al. Acute Upper and Lower Respiratory Effects in Wildland Firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2008;50:1019-28.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/jom.0b013e3181754161>>

Gill B, Britz-McKibbin P. Biomonitoring of smoke exposure in firefighters: A review. *Current Opinion in Environmental Science & Health* 2020;15:57-65.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.coesh.2020.04.002>>

Guidotti TI, Clough VM. Occupational health concerns of firefighting. *Annual Review of Public Health*; 1992;13:151-71.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1146/annurev.pu.13.050192.001055>>

Graveling RA, Crawford JO. Occupational health risks in firefighters. IOM 2010; Strategic Consulting Report: P530,1-256.

Available from: URL: <https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/330372/occu-health-risk-in-firefighters.pdf>

Hanke J, Dutkiewicz T, Piotrowski J. The absorption of benzene through the skin of man. *Medycyna Pracy* 1961;12:413-26.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1179/oeh.2000.6.2.104>>

Hertz DL, Bussem H, Ray TW. Nitrile Rubber – Past, Present and Future. *Rubber Chemistry and Technology* 1995;63:540-46.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.5254/1.3538754>>

Hong S, Chin DL, Phelps S, Feld J, Vogel S. Occupational injuries, duty status and factors associated with injuries among firefighters. Workplace Health & Safety 2012;60:517-23.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1177/216507991206001203>>

Hsu JF, Guo HR, Wen Wang H, Liao CK, Liao PC. An occupational exposure assessment of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofurans in firefighters. Chemosphere 2011;83:1353-59.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.079>>

IARC. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: vol. 92 some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. WHO International Agency for Research on Cancer; 2010a.

Available from: URL: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/mono92.pdf>>

IARC. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: vol. 98 Painting, Firefighting, and Shiftwork. WHO International Agency for Research on Cancer; 2010b.

Available from: URL: <<https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Painting-Firefighting-And-Shiftwork-2010>>

IARC. Chemical agents and related occupations. Volume 100 F. A Review of human carcinogens. WHO International Agency for Research on Cancer; 2012.

Available from: URL: <<https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono100F.pdf>>

IARC. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: vol. 101 Some chemicals present in industrial and consumer products, food and drinking water. WHO International Agency for Research on Cancer; 2013.

Available from: URL: <<https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/06/mono101.pdf>>

IARC. . Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: vol. 107. Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Biphenyls. WHO International Agency for Research on Cancer; 2015.

Available from: URL: <<https://publications.iarc.fr/publications/media/download/5979/c395f7fad077e8a5774c72c089a212d67cc18de1.pdf>>

IARC. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risks to humans: vol. 110 Some chemicals used as solvents and in polymer manufacture. WHO International Agency for Research on Cancer; 2016.

Available from: URL: <<https://publications.iarc.fr/publications/media/download/5626/38eb12059ccc7026d9c3b073e0ca7a7c667bd4c6.pdf>>

IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: vol. 107. Polychlorinated Biphenyls and Polybrominated Biphenyls. WHO International Agency for Research on Cancer; 2018a.

Available from: URL: <<https://publications.iarc.fr/publications/media/download/5979/c395f7fad077e8a5774c72c089a212d67cc18de1.pdf>>

IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: vol. 120. Benzene. WHO International Agency for Research on Cancer; 2018b.

Available from: URL: <https://publications.iarc.fr/publications/media/download/6043/20a78ade14e86cf076c3981a9a094f45da6d27cc.pdf>

Igboanugo S, Bigelow PL, Mielke JG. Health outcomes of psychosocial stress within firefighters: A systematic review of the research landscape. *Journal of occupational health* 2021;63:e12219.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12219>

Jalilian H, Ziaei M, Weiderpass E, Rueegg CS, Khosravi Y, Kjaerheim K. Cancer incidence and mortality among firefighters. *International journal of Cancer* 2019;145:2639-46.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1002/ijc.32199>

Jongeneelen, FJ. A guidance value of 1-hydroxypyrene in urine in view of acceptable occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Toxicology Letters* 2014;231:239-48.

Available from: URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.05.001>

Kahn SA, Patel JH, Lentz CW, Bell DE. Firefighter Burn Injuries : Predictable Patterns Influenced by Turnout Gear. *Journal of Burn Care & Research* 2012;33:152-56.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1097/BCR.0b013e318234d8d9>

Kalnas J, Teitelbaum DT. Dermal absorption of Benzene: implications for work practices and regulations. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 2000;6:114-21.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1179/oeht.2000.6.2.114>

Keir JLA, Akhtar US, Matschke DMJ, Kirkham TL, Man Chan H, Ayotte P et al. Elevated Exposures to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and other Organic Mutagens in Ottawa Firefighters Participating in Emergency On-Shift Fire suppressions. *Environmental Science & Technology* 2017;51(21):12745-55.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02850>

Kelly KJ, Connelly E, Reinhold GA, Byrne M, Prezant DJ. Assessment of Health Effects in New York City Firefighters after Exposure to Polychlorinated Biphenyls (PCBs) and Polychlorinated Dibenzofurans (PCDFs): The Staten Island Transformer Fire Health Surveillance Project. *Archives of Environmental Health: An International Journal* 2002;57:282-93.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1080/00039890209601411>

Kim H, Kang GH, Jang YS, Kim W, Choi HY, Kim JG et al. The Characteristics of Firefighter Burn Injuries in a Burn Center: A retrospective Epidemiological Study. *Journal of Korean Burn Society* 2016;19:12-15.

Available from: URL:

<http://www.kburnj.or.kr/journal/view.html?volume=19&number=1&spage=12>

Laitinen J, Mäkelä M, Mikkola J, Huttu I. Fire fighting trainers' exposure to carcinogenic agents in smoke diving simulators. *Toxicology Letters* 2010;192:61-65.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2009.06.864>

Laitinen J, Mäkelä M, Mikkola J, Huttu I. Firefighters' multiple exposure assessments in practice. *Toxicology Letters* 2012;213:129-33.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2012.06.005>

Laitinen JA, Koponen J, Koikkalainen J, Kiviranta H. Firefighters' exposure to perfluoroalkyl acids and 2-butoxyethanol present in firefighting foams. *Toxicology Letters* 2014;231:227-32.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.09.007>>

Laroche E, L'Espérance S. Cancer incidence and mortality among firefighters: an overview of epidemiologic systematic reviews. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021;18:2519.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.3390/ijerph18052519>>

Latini G, Verrotti A, De Felice C. DI-2-Ethylhexyl Phthalate and Endocrine Disruption : A Review. *Current Drug Targets – Immune, Endocrine & Metabolic Disorders* 2004;4:37-40.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.2174/1568008043340017>>

Lawrence JC, Bull JP. Thermal conditions which cause skin burns. *Engineering in Medicine* 1976;5:61-63.

Available from: URL: <https://doi.org/10.1243%2FEMED_JOUR_1976_005_023_02>

Lee, D.J.; Koru-Sengul, T.; Hernandez, M.N.; Caban-Martinez, A.J.; McClure, L.A.; MacKinnon, J.A.; Kobetz, E.N. Cancer risk among career male and female Florida firefighters: Evidence from the Florida Firefighter Cancer Registry (1981–2014). *Am. J. Ind. Med.* 2020, 63, 285–299.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1002/ajim.23086>>

LeMasters GK, Genaidy AM, Succop P, Seddens J, Sogeih T, Barriera-Viruet H et al. Cancer Risk Among Firefighters: A Review and Meta-analysis of 32 Studies. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2006;48:1189-1202.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/01.jom.0000246229.68697.90>>

Levasseur JL, Hoffman K, Herkent NJ, Cooper E, Hay D, Stapleton HM. Characterizing firefighter's exposure to over 130 SVOCs using silicone wristbands: A pilot study comparing on-duty and off-duty exposures. *Science of the Total Environment* 2022;834:155237.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155237>>

Loomis D, Guyton KZ, Grosse Y, El Ghissassi F, Bouvard, V, Benbrahim-Tallaa L. et al. Carcinogenicity of benzene. *The Lancet Oncology* 2017;18:1574-75.

Available from: URL: <[https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(17\)30832-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(17)30832-X)>

Ma F, Fleming LE, Lee DJ, Trapido E, Gerace TA. Cancer Incidence in Florida Professional Firefighters, 1981-1999. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2006;48:883-88.

Available from: URL: <<http://dx.doi.org/10.1097/01.jom.0000235862.12518.04>>

Madden MR, Mathwick M, Valentin L, Finkelstein JL, Goodwin CW. The Epidemiology and Prevention of Burn Injuries to Firefighters. *Journal of Burn Care & Rehabilitation* 1995;16:461-65.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/00004630-199507000-00016>>

Maibach HI, Anjo DM. Percutaneous penetration of benzene and benzene contained in solvents used in the rubber industry. *Archives of Environmental Health: An International Journal* 1981;36:256-60.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/00039896.1981.10667633>>

Mathias KC, Elliot G, Stewart D, Denise S. Decreased Pulmonary Function over 5 years in US firefighters. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2020;62:816-19.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000001944>>

Mayer AC, Fent KF, Bertke S, Horn GP, Smith DL, Kerber S et al. Firefighter hood contamination: Efficiency of laundering to remove PAHs and FRs. *Journal of Occupational and Environmental* 2019;16:129-40.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/15459624.2018.1540877>>

Nilsson S, Smurthwaite K, Aylward LL, Kay M, Toms LM, King L et al. Serum concentration trends and apparent half-lives of per- and polyfluoralkyl substances (PFAS) in Australian firefighters. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2022;146:114040.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114040>>

Pazur RJ, Cormier JG, Korhan-Taymaz K. The effect of acrylonitrile content on the thermo-oxidative aging of nitrile rubber. *Rubber Chemistry and Technology* 2014;87:53-69.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.5254/rct.13.87937>>

Pedersen JE, Petersen KU, Ebbenhøj NE, Bonde JP, Hansen J. Risk of asthma and chronic obstructive pulmonary disease in a large historical cohort of Danish firefighters. *Occupational & Environmental Medicine* 2018;75:871-76.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1136/oemed-2018-105234>>

Phalen RN, Que Hee SS, Xu W, Wong WK. Acrylonitrile Content as a Predictor of the Captan Permeation Resistance for Disposable Nitrile Rubber Gloves. *Journal of Applied Polymer Science* 2007;103:2057-63.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1002/app.25349>>

Pleil JD, Stiegel MA, Fent KW. Exploratory breath analyses for assessing toxic dermal exposures of firefighters during suppression of structural burns. *Journal of Breath Research* 2014;8:037107.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1088/1752-7155/8/3/037107>>

Pollitt F. Polychlorinated Dibenzodioxins and Polychlorinated Dibenzofurans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 1999;30:S63-S68.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1006/rtp.1999.1328>>

Polymerdatabase. NBR – Butadiene Nitrile Rubber. 2022.

Available from: URL: <<https://polymerdatabase.com/Elastomers/NBR.html>>

Pukkala E, Martinsen JI, Widerpass E, Kjaerheim K, Lyng E, Tryggvadottir L et al. Cancer incidence among firefighters: 45 years of follow-up in five Nordic countries. *Occupational & Environmental Medicine* 2014;71:398-404.

Available from: URL: <<http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2013-101662>>

Rabbitts A, Alden NE, Scalabrin M, Yurt RW. Outpatient Firefighter Burn Injuries : A 3-Year review. *Journal of Burn Care & Research* 2005;26:348-51.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/01.bcr.0000169898.48655.7f>>

Rickard BP, Rizvi I & Fenton SE. Per- and poly-fluoralkyl substances (PFAS) and female reproductive outcomes: PFAS elimination, endocrine-mediated effects, and disease. *Toxicology* 2022;465:153031.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.tox.2021.153031>>

Sheikh IA, Turki R, Abuzenadah AM, Amanhour GA, Beg MA. Endocrine Disruption: Computational perspectives on Human Sex Hormone-Binding Globulin and Phthalate Plasticizers. *PLOS ONE* 2016;11(3):e0151444.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151444>>

Stec AA, Dickens KE, Salden M, Hewitt FE, Watts DP, Houldsworth PE et al. Occupational exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Elevated Cancer Incidence in Firefighters. *Scientific Reports* 2018;8:2467.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1038/s41598-018-20616-6>>

Stevenson M, Alexander B, Stuart Baxter C, Leung Y-K. Evaluating Endocrine Disruption Activity of Deposits on Firefighting Gear Using a Sensitive & High Throughput Screening Method. *Journal of Occupational and Environmental Medicine* 2015;57:153-57.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1097/JOM.0000000000000577>>

SIBUR. Krasnoyarsk Synthetic Rubbers Plant JSC. Safety Data Sheet Nitrile Butadiene Rubber (NBR). Version 2.1. 2011.

Available from: URL: <<https://www.google.be/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwinpPSmtYL5AhUhJcUKHaHSBW0QFnoECAgQAQ&url=https%3A%2F%2Fsibur-int.com%2Fupload%2Fiblock%2Fa05%2Fa05daa17e1d47c5cac98de3f8396a50b.pdf&usq=AOvVaw0CoBVNjWzN7URmqgbbOoLx&cshid=1658146596074133>>

Szmytke E, Brzezinska D, Machnowski W, Kodot S. Firefighters' protective clothing – water cleaning method vs liquid CO₂ method in aspect of efficiency. *Architectue, Civil Engineering, Environment* 2022;2:169-76.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.2478/acee-2022-0024>>

Tang-Péronard JL, Andersen HR, Jense TK, Heitmann BL. Endocrine-disrupting chemicals and obesity development in humans: a review. *Obesity Reviews* 2011;12:622-36.

Available from: URL: <<https://www.doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00871.x>>

Rajnovceanu AG, Rajnovceanu RM, Motoc NS, Postolache P, Gusetu G, Man MA. COPD in firefighters: a specific event-related condition rather than a common occupational respiratory disorder. *Medicina* 2022;58:239.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.3390/medicina58020239>>

Simpson CD, Naeher LP. Biological monitoring of wood-smoke exposure. *Inhalation Toxicology* 2010;22:99-103.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.3109/08958370903008862>>

Tsai RJ, Luckhaupt SE, Schumacher P, Cress RD, Deapen DM, Calvert GM. Risk of Cancer Among Firefighters in California, 1988-2007. *American Journal of Industrial Medicine* 2015;58:715-29.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1002%2Fajim.22466>>

Trowbridge J, Gerona R, McMaster M, Ona K, Clarity C, Bessonneau V et al. Organophosphate and Organohalogen Flame-Retardant Exposure and Thyroid Hormone Disruption in a Cross-Sectional Study of Female Firefighters and Office Workers from San Francisco. *Environmental Science & Technology* 2022;56:440-50.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1021/acs.est.1c05140>>

Van den Berg M, Birnbaum L, Bosveld ATC, Brunström B, Cook P, Feeley M et al. Toxic Equivalency Factors (TEFs) for PCBs, PCDDs, PCDFs for Humans and Wildlife. *Environmental Health Perspectives* 1998;106:775-92.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1289%2Fehp.98106775>>

Vanrooij JGM, de Roos JHC, Bodelier-BAde MM, JO-ongeneelen FJ. Absorption of polycyclic aromatic hydrocarbons through human skin: differences between anatomical sites and individuals. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 1993;38:355-68.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1080/15287399309531724>>

Vargas de Barros V, Martins LF, Saitz R, Bastos RR & Ronzani TM. Mental health conditions, individual and job characteristics and sleep disturbances among firefighters. *Journal of health psychology* 2012;18(3):350-58.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1177%2F1359105312443402>>

Walton SM, Conrad KM, Furner SE, Samo DG. Cause, Type, and Workers' Compensation costs of Injury to Fire Fighters. *American Journal of Industrial Medicine* 2003;43:454-58.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1002/ajim.10200>>

Wingfors H, Rattfelt Nyholm J, Mangusson R, Hammar Wijkmark C. Impact of Fire Suit Ensembles on Firefighter PAH Exposures as Assessed by Skin Deposition and Urinary Biomarkers. *Annals of Work Exposures and Health* 2018;62:221-31.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1093/annweh/wxx097>>

Zhang M, Buekens A, Li X. Brominated flame retardants and the formation of dioxins and furans in fires and combustion. *Journal of Hazardous Materials* 2016;304:26-39.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.10.014>>

Zhang Y, Dong S, Wang H, Tao S, Kyama. Biological impact of environmental polycyclic aromatic hydrocarbons (ePAHs) as endocrine disruptors. *Environmental Pollution* 2016;213:809-24.

Available from: URL: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.050>>

X COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

La composition du Bureau et du Collège ainsi que la liste des experts nommés par arrêté royal se trouvent sur le site internet du CSS (page : [Qui sommes-nous](#)).

Tous les experts ont participé **à titre personnel** au groupe de travail. Leurs déclarations générales d'intérêts ainsi que celles des membres du Bureau et du Collège sont consultables sur le site internet du CSS (page : [conflits d'intérêts](#)).

Les experts suivants ont participé à l'élaboration et à l'approbation de l'avis. Le groupe de travail a été présidé par **Lode GODDERIS** et le secrétariat scientifique a été assuré par Stijn EVERAERT.

BUFFEL Bart	Chimie des polymères	<i>KULeuven</i>
CLAES Karel	Chirurgie plastique & traitement des brûlures	<i>UZ Gent</i>
DUBRUEL Peter	Chimie des polymères	<i>UGent</i>
GODDERIS Lode	Médecine du travail & toxicologie	<i>KULeuven</i>
HENS Luc	Écologie humaine	<i>VITO</i>
JACQUEMIN Denise	Chirurgie plastique & traitement des brûlures	<i>CHU Liège</i>
LAITINEN Juha	R&D et réforme des services de secours	<i>Pelastusopisto (FIN)</i>
MOENS Jonas	Pharmacie	<i>Antigifcentrum</i>
RAQUEZ Jean-Marie	Chimie des polymères	<i>UMons</i>
SCHOETERS Greet	Santé environnementale et toxicologie	<i>UAntwerpen</i>
VAN BAELEN Jonas	Pharmacie	<i>Antigifcentrum</i>
VANDERKELEN Alain	Traitement des brûlures	<i>Ex-MHKA</i>
VANHAECKE Tamara	Toxicologie expérimentale <i>in vitro</i>	<i>VUB</i>
VAN LAREBEKE Nicolas	Toxicologie et cancérologie	<i>UGent</i>

Les représentants des pompiers suivants ont été entendus :

BÉCRET Philippe	Maj. Ir.	Service d'Incendie et d'Aide médicale Urgente de la Région Bruxelles - Capitale
BODEUX Fabian	Adjudant	Pompiers Verviers, zone Vesdre-Hoëgne-Plateau

Cet avis a été traduit de l'anglais via une agence de traduction externe.

XI ANNEXES

Annexe 1. Estimations du risque de cancer chez les pompiers dans une sélection d'études

Risques de cancer chez les pompiers à travers plusieurs études. SRE (*Summary Risk Estimates*), mRR (*Meta Risk Ratio*), SRE à travers tous les types d'études d'incidence et de mortalité), SIR (*Standardized Incidence Ratio*), SIRE (*Summary Incidence Risk Estimate*), SMR (*Standardized Mortality Ratio*), SMRE (*Summary Mortality Risk Estimate*), OR (*Odds Ratio*). Pour chaque Valeur, l'intervalle de confiance à 95 % est fourni. Autres abréviations : p.a. (association positive), - (non mentionné/étudié).

- **SRE bleu foncé**: évaluation du risque de cancer probable (LeMasters et al, 2006); bleu clair SREs: risque de cancer possible; SRE blanc: risque de cancer improbable.
- **Rouge**: élévation statistiquement significative ($p = 0.05$).
- **Vert**: association positive ou risqué accru signalé.
- **Orange**: consensus relative, lorsqu'au moins 50 % des articles traitant d'un cancer particulier concluent à une augmentation statistiquement significative du risque ou à une association positive.

Cancer	LeMasters et al (2006)	Pukkala et al (2014)	Daniels et al (2014)		Jalilian et al (2019)		Tsai et al, (2015)	Graveling & Crawford (2010)	Laroche & L'Espérance (2021)	Consensus
	SRE/mRR	SIR	SIR	SMR	SIRE	SMRE	OR	Association	Association	
All cancers	1.05 (1.00-1.09)	1.06 (1.02-1.11)	1.09 (1.06-1.12)	1.14 (1.10-1.18)	0.99 (0.93-1.05)	0.99 (0.92-1.06)	-	-	-	/
Buccal cavity and pharynx	1.23 (0.96-1.55)	0.92 (0.62-1.31)	1.39 (1.19-1.62)	1.40 (1.13-1.72)	1.15 (0.91-1.44)	1.21 (0.95-1.55)	-	No p.a.	No p.a.	2/6 (33%)
Esophageal	1.16 (0.86-1.57)	0.98 (0.66-1.39)	1.62 (1.31-2.00)	1.39 (1.14-1.67)	1.09 (0.87-1.37)	1.01 (0.76-1.34)	1.59 (1.20-2.09)	No p.a.	No p.a.	2/7 (28.7%)
Stomach	1.22 (1.04-1.44)	1.09 (0.91-1.30)	1.15 (0.93-1.40)	1.10 (0.91-1.33)	1.04 (0.90-1.20)	1.03 (0.92-1.15)	0.81 (0.59-1.11)	No p.a.	No p.a.	1/7 (14.3%)
Small intestine	-	1.15 (0.61-1.97)	1.15 (0.67-1.85)	1.66 (0.72-3.27)	1.27 (0.89-1.82)	-	-	-	No p.a.	0/3 (0%)
Colon	1.21 (1.03-1.41)	1.14 (0.99-1.31)	1.21 (1.09-1.34)	1.31 (1.16-1.48)	1.14 (1.06-1.23)	1.10 (0.91-1.34)	-	Modest p.a.	No p.a.	3/6 (50%)
Rectal	1.29 (1.10-1.51)	0.99 (0.82-1.19)	1.11 (0.94-1.30)	1.45 (1.16-1.78)	1.09 (1.00-1.20)	1.36 (1.18-1.57)	-	Modest p.a.	Incidence + death rate	5/6 (83.3%)
Colo-rectal	-	-	-	-	1.12 (0.99-1.27)	1.07 (0.54-2.12)	1.10 (0.93-1.31)	-	-	0/2 (0%)
Liver/Gallbladder	-	-	-	1.30 (1.06-1.57)	0.93 (0.80-1.08)	1.05 (0.79-1.39)	-	-	-	1/2 (50%)
Liver	1.04 (0.72-1.49)	0.91 (0.59-1.34)	-	-	-	-	1.07 (0.75-1.53)	-	No p.a.	0/4 (0%)
Gallbladder	-	1.45 (0.86-2.29)	-	-	-	-	-	-	-	0/1 (0%)
Pancreatic	1.10 (0.91-1.34)	1.17 (0.94-1.45)	-	-	1.09 (0.96-1.24)	1.13 (0.99-1.29)	1.10 (0.83-1.46)	No p.a.	No p.a.	0/6 (0%)
Laryngeal	1.22 (0.87-1.70)	1.06 (0.72-1.50)	1.50 (1.19-1.85)	-	0.93 (0.66-1.30)	0.74 (0.48-1.15)	0.59 (0.39-0.89)	No p.a.	No p.a.	1/7 (14.3%)
Lung cancer	1.03 (0.97-1.08)	0.97 (0.87-1.09)	1.12 (1.04-1.21)	1.10 (1.04-1.17)	0.94 (0.84-1.06)	1.00 (0.92-1.09)	1.08 (0.92-1.28)	No excess risk	No p.a.	1/7 (14.3%)
Mesothelioma	-	1.55 (0.90-2.48)	2.29 (1.60-3.19)	2.00 (1.03-3.49)	1.60 (1.09-2.34)	-	1.40 (0.89-2.21)	-	Incidence	3/5 (60%)
Malignant melanoma	1.32 (1.10-1.57)	1.25 (1.03-1.51)	-	-	1.21 (1.03-1.45)	1.33 (0.98-1.81)	1.75 (1.44-2.13)	-	Incidence	5/5 (100%)
Breast	-	-	1.26 (0.82-1.85)	1.39 (0.60-2.73)	1.02 (0.47-2.25)	2.47 (0.65-9.48)	-	-	No p.a.	0/3 (0%)
Prostate	1.28 (1.15-1.43)	1.13 (1.05-1.22)	1.03 (0.98-1.09)	1.09 (0.96-1.22)	1.15 (1.05-1.27)	1.08 (0.92-1.27)	1.45 (1.25-1.69)	p.a.	Incidence	6/7 (85.7%)
Testicular	2.02 (1.30-3.13)	0.51 (0.23-0.98)	0.75 (0.42-1.24)	0.73 (0.15-2.14)	1.34 (1.08-1.68)	-	1.10 (0.73-1.66)	p.a.	Incidence	4/7 (57.1%)
Bladder	1.20 (0.97-1.48)	1.11 (0.96-1.28)	1.12 (1.00-1.25)	0.99 (0.79-1.22)	1.12 (1.04-1.21)	1.22 (0.93-1.60)	0.99 (0.78-1.26)	Slight excess risk	Incidence	4/7 (57.1%)
Kidney	1.07 (0.78-1.46)	0.94 (0.75-1.17)	1.27 (1.09-1.48)	1.29 (1.05-1.58)	1.12 (0.93-1.36)	1.19 (0.90-1.58)	1.27 (1.01-1.59)	Not statist. significant	No p.a.	2/7 (28.6%)
Brain (and nervous system)	1.32 (1.12-1.54)	0.86 (0.66-1.10)	1.02 (0.76-1.34)	1.01 (0.79-1.27)	1.07 (0.87-1.33)	1.25 (0.96-1.63)	1.54 (1.19-2.00)	1.2 ± 0.2	No p.a.	2/7 (28.6%)
Thyroid	-	1.28 (0.75-2.05)	-	-	1.22 (1.01-1.48)	-	1.27 (0.88-1.84)	No consist. evidence	No p.a.	1/5 (20%)
Non-Hodgkin's Lymphoma	1.51 (1.31-1.73)	1.04 (0.83-1.29)	0.99 (0.85-1.15)	1.17 (0.97-1.40)	1.07 (0.96-1.20)	1.42 (1.05-1.90)	1.22 (1.00-1.50)	p.a. (+ <20%)	No p.a.	3/7 (42.9%)
Hodgkin's disease	1.07 (0.59-1.92)	-	-	-	1.12 (0.86-1.47)	1.21 (0.46-3.18)	1.15 (0.72-1.83)	No consist. evidence	Death rate	1/5 (20%)
Multiple myeloma	1.53 (1.21-1.94)	1.13 (0.81-1.53)	0.72 (0.50-0.99)	0.89 (0.64-1.20)	1.00 (0.83-1.23)	1.07 (0.83-1.37)	1.35 (1.00-1.82)	p.a.	No p.a.	3/7 (42.9%)
Leukemia	1.14 (0.98-1.31)	0.91 (0.71-1.22)	0.94 (0.77-1.15)	1.10 (0.91-1.31)	0.97 (0.85-1.11)	1.06 (0.93-1.22)	1.32 (1.02-2.02)	Modest incr. risk	No p.a.	3/7 (42.9%)

Au sujet du Conseil Supérieur de la Santé (CSS)

Le Conseil Supérieur de la Santé est un organe d'avis fédéral dont le secrétariat est assuré par le Service fédéral santé publique, sécurité de la chaîne alimentaire et environnement. Il a été fondé en 1849 et rend des avis scientifiques relatifs à la santé publique aux ministres de la Santé publique et de l'environnement, à leurs administrations et à quelques agences. Ces avis sont émis sur demande ou d'initiative. Le CSS s'efforce d'indiquer aux décideurs politiques la voie à suivre en matière de santé publique sur base des connaissances scientifiques les plus récentes.

Outre son secrétariat interne composé d'environ 25 collaborateurs, le Conseil fait appel à un large réseau de plus de 500 experts (professeurs d'université, collaborateurs d'institutions scientifiques, acteurs de terrain, etc.), parmi lesquels 300 sont nommés par arrêté royal au titre d'expert du Conseil. Les experts se réunissent au sein de groupes de travail pluridisciplinaires afin d'élaborer les avis.

En tant qu'organe officiel, le Conseil Supérieur de la Santé estime fondamental de garantir la neutralité et l'impartialité des avis scientifiques qu'il délivre. A cette fin, il s'est doté d'une structure, de règles et de procédures permettant de répondre efficacement à ces besoins et ce, à chaque étape du cheminement des avis. Les étapes clé dans cette matière sont l'analyse préalable de la demande, la désignation des experts au sein des groupes de travail, l'application d'un système de gestion des conflits d'intérêts potentiels (reposant sur des déclarations d'intérêt, un examen des conflits possibles, et une Commission de déontologie) et la validation finale des avis par le Collège (organe décisionnel du CSS, constitué de 30 membres issus du *pool* des experts nommés). Cet ensemble cohérent doit permettre la délivrance d'avis basés sur l'expertise scientifique la plus pointue disponible et ce, dans la plus grande impartialité possible.

Après validation par le Collège, les avis sont transmis au requérant et au ministre de la Santé publique et sont rendus publics sur le site internet (www.hgr-css.be). Un certain nombre d'entre eux sont en outre communiqués à la presse et aux groupes cibles concernés (professionnels du secteur des soins de santé, universités, monde politique, associations de consommateurs, etc.).

Si vous souhaitez rester informé des activités et publications du CSS, vous pouvez envoyer un mail à l'adresse suivante : info.hgr-css@health.belgium.be.