

Environnement chimique et physique au travail

25^e congrès de la Société d'hygiène et de médecine
du travail dans les armées et industries d'armement
Paris, 13 et 14 octobre 2011

Le 25^e congrès de la Société d'hygiène et de médecine du travail dans les armées et industries d'armement (SHMTAIA) s'est déroulé le 13 et 14 octobre 2011 à Paris, sous le haut patronage du ministre de la Défense. Les risques chimiques et les risques physiques ont été abordés dans différents corps de métiers tant militaires que civils.

« Nouveaux » solvants organiques : quels risques pour la santé ?

R. Garnier. Centre antipoison, Paris

Différentes réglementations destinées à protéger la population ont entraîné, au cours de la dernière décennie, le retrait du marché de nombreuses substances chimiques ou la limitation de leur emploi en raison de leur toxicité. Des substitutions ont également été effectuées. Or, celles-ci imposent d'être réalisées avec une démarche rigoureuse.

Dans le cas des solvants organiques, l'application du principe de substitution a permis l'apparition de « nouveaux solvants » dont la connaissance du risque toxicologique, pour certains d'entre eux, est souvent insuffisante pour être caractérisée.

L'auteur a présenté quelques exemples pour illustrer son propos.

ÉTHERS DU PROPYLÈNE GLYCOL

Les éthers de l'éthylène glycol ont été très utilisés jusque dans les années 90 (peintures dites « à l'eau »...), puis ont été progressivement remplacés par les éthers du propylène glycol. Ces derniers sont commercialisés sous la forme de l'isomère α avec, fré-

quemment, des impuretés à type d'isomère β . Alors que l'isomère α ne s'est pas révélé toxique sur le plan hématologique, il existe peu d'études évaluant la toxicité de l'isomère β . Toutefois, des travaux expérimentaux montrent que ce dernier présente une toxicité testiculaire élevée chez le rat.

Parmi les éthers du propylène glycol, le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé le 2PG1tBE (terbutylpropylèneglycol) en groupe 3 (« *inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme* »).

Le manque d'information sur les risques liés à ces substitutions est accentué par l'utilisation de dérivés des éthers des mono-, di- ou tripropylène glycol, possédant chacun de nombreux isomères et énantiomères, avec des caractéristiques toxicologiques souvent différentes de ceux testés initialement.

DÉCAMÉTHYLCYCLOPENTASILOXANE

Le décaméthylcyclopentasiloxane (D5) est proposé pour substituer le perchloroéthylène employé dans les installations de nettoyage à sec. Il est également utilisé dans d'autres domaines (mécanique, métallurgie, cosmétique...). Le D5 présente en effet de nombreux avantages : peu volatil, inodore, il est mal absorbé que ce soit par voie respiratoire, digestive ou cutanée. Il est moins irritant et sa toxicité aiguë est plus faible que le perchloroéthylène ; sa toxicité chronique est faible. Il n'est pas noté d'effet sur la reproduction. Enfin, il possède des métabolites dosables dans les urines.

J.F. FERRAND*,
G. ANOMA*,
L. GÉRAUT*, P. HACHE**,
C. LE MARQUAND*,
F. MICHIELS*,
B. BOUARD*,
P. MOULIN*, F. MÉRAT-
TAGNARD*

* Praticiens
en Médecine de
prévention, Service de
médecine de prévention
du ministère de la
Défense

** Département
Études et assistance
médicales, INRS,
Paris

Sur le plan de la cancérogénicité, une exposition vie entière provoque chez la rate une augmentation significative du taux d'adénocarcinome utérin. Néanmoins, cette donnée n'est pas extrapolable chez l'homme.

Cependant, le D5 est difficilement biodégradable, ce qui le rend toxique pour l'environnement (considéré substance persistante par le système REACH). De plus, les préparations commerciales contiennent des impuretés à type d'octaméthylcyclotétrasiloxane (D4). Cette dernière substance est un perturbateur endocrinien responsable d'une diminution de la fertilité chez les rates exposées. Elle est classée en tant que reprotoxique de niveau 2 (« substance suspectée d'être toxique pour la reproduction humaine ») par le règlement « Classification, Labelling, Packaging » (CLP) de l'Union européenne.

Ces deux exemples illustrent bien l'importance de ne pas confondre absence d'information et absence de toxicité, dans la démarche de substitution de produits jugés dangereux. Une analyse des risques est impérative car la substitution doit apporter un bénéfice. Dans le cas contraire, une réduction ou le maintien de l'exposition à la substance initiale à des niveaux acceptables est une alternative envisageable à la substitution.

Le syndrome des bâtiments malsains : notions étiologiques

F. Musarella. Centre de consultation de pathologie professionnelle, Hôpital la Timone, Marseille

Le syndrome des bâtiments malsains (SBM) désigne un ensemble de symptômes non spécifiques tels qu'une asthénie, des céphalées, un malaise ou des troubles de la concentration, apparaissant durant la journée de travail et/ou disparaissant spontanément après l'arrêt de travail. Ces signes sont présentés consécutivement par plusieurs personnes occupant un même bâtiment, professionnel ou scolaire la plupart du temps.

Le nombre de cas de SBM serait en augmentation depuis une dizaine d'années. La prévalence de ce syndrome est cependant difficile à apprécier du fait de l'existence d'un phénomène d'autoamplification des symptômes à partir d'un cas index. Cette autoamplification serait observée en cas d'intervention des secours, entretenant un sentiment de gravité, mais également en cas d'intervention des médias, ces derniers dispensant parfois des informations tronquées qui augmentent la perception d'être insuffisamment informé sur le risque.

Aucun facteur étiologique précis n'est mis en évi-

dence pour expliquer l'origine et la physiopathologie de ce syndrome bien que de nombreux facteurs déclenchants soient suspectés tels que des facteurs biologiques, physiques (lumière, hygrométrie, température, ventilation), chimiques (composés organiques volatils, ozone, tabagisme, monoxyde ou dioxyde de carbone) et psycho-organisationnels. De plus, des facteurs prédisposants semblent exister tels que le sexe féminin, un terrain atopique, le stress et un niveau hiérarchique bas.

Le diagnostic de SBM n'est retenu qu'après avoir éliminé toute maladie liée aux bâtiments dont l'agent étiologique soit clairement identifié. Ces affections sont reponsables de signes cliniques et biologiques objectifs et sont souvent associées à un défaut de conception ou de maintenance des systèmes de ventilation et/ou de climatisation. Ces défauts favorisent le développement de microorganismes, moisissures, bactéries et parasites à l'origine de maladies infectieuses (exemple : légionellose), de pathologies immuno-allergiques ou irritatives.

Il existe des syndromes apparentés au SBM tels que le syndrome d'intolérance aux odeurs chimiques ou hypersensibilité aux produits chimiques, le syndrome d'hypersensibilité aux ondes électromagnétiques, le syndrome de la guerre du Golfe ou le syndrome de fatigue chronique.

Même si le SBM n'a pas de conséquence sur la santé physique, il n'est pas sans conséquence individuelle (véritable handicap) voire collective (fermeture de site). Il est donc nécessaire d'en faire le diagnostic précocement pour en assurer la prise en charge adaptée. La prévention du SBM repose sur le dépistage des facteurs favorisants potentiels afin de procéder rapidement à leur correction.

Benzène et leucémie chez les marins-pompiers : mythe ou réalité?

X. Michel. Service de protection radiologique des armées, Clamart

Les incendies sont des accidents fréquents qui exposent à un risque chimique. La toxicité aiguë des fumées d'incendie est bien connue, en particulier la mortalité aiguë induite par l'oxyde de carbone et le cyanure d'hydrogène. Par contre, les effets chroniques dus aux autres composants de ces fumées sont moins bien connus. Depuis les années 50, l'utilisation de matériaux synthétiques et plastiques a augmenté la complexité et la toxicité des fumées générées lors des feux urbains. Dans la littérature, les études épidémiolo-

giques ciblent en particulier le benzène. Ces éléments ont conduit les marins-pompiers à évaluer leur exposition professionnelle lors des phases de noyage et de déblai lorsqu'ils ne portent plus de protection respiratoire.

Une étude a été menée par le Bataillon des Marins-Pompiers de Marseille, de 1996 à 2001, afin d'identifier et de quantifier les différents composants de la fumée d'incendie, en particulier le benzène. Au cours des phases de noyage et de déblai de 82 feux urbains, un chimiste a effectué des prélèvements atmosphériques à hauteur des voies respiratoires des intervenants, à l'aide d'une seringue. Le contenu de celle-ci, poussé sur des tubes Tenax® adsorbants, était ensuite analysé par spectrométrie de masse. Les résultats ont révélé une concentration atmosphérique moyenne en benzène égale à 2,78 mg.m⁻³. Dans 1/3 des cas, la valeur limite d'exposition professionnelle pour une exposition de 8 heures (VLEP) réglementairement contraignante du benzène (3,3 mg.m⁻³) était dépassée, avec des concentrations atmosphériques atteignant des maxima de 16,3 mg.m⁻³.

Le calcul du nombre (I) de cas de leucémies en excès chez les marins-pompiers, attribuable à l'exposition au benzène tient compte :

- de la dose journalière d'exposition (DJE) :
DJE = 2,78 mg.m⁻³ ;
- de l'excès de risque unitaire (ERU) qui correspond à la probabilité supplémentaire, pour un individu exposé au benzène, de développer une leucémie par rapport à un individu non exposé. La valeur retenue ici est celle de l'*Office of environmental health hazard assessment* (OEHHA) :
ERU = 2,9.10⁻⁵ (µg.m⁻³)⁻¹ ;
- du temps d'exposition cumulé (T_{exp} = 940 h) au cours d'une carrière professionnelle de 20 ans (T_{réf} = 34 560 h) ;
- du nombre (N) de sujets appartenant au Bataillon des Marins-Pompiers de Marseille : N = 903.

$$I = DJE \times (T_{exp} / T_{réf}) \times ERU \times N$$

Le nombre de cas de leucémies en excès attribuable à l'exposition au benzène est donc : I = 2 cas pour 903 marins-pompiers.

Les auteurs recommandent de prévenir et d'évaluer le risque lié à l'exposition au benzène au cours des opérations de noyage et de déblai par des mesures organisationnelles, techniques et, si nécessaire, par l'utilisation de la biométrie (acide trans, trans mucronique urinaire) dans le cas des feux de forêt, également producteurs de benzène.

Assemblage des métaux à chaud : critères d'évaluation du risque chimique

F. Michiels. Centre de médecine de prévention des armées, Brest

Le suivi des « soudeurs » a toujours constitué pour les médecins du travail comme pour les chefs d'entreprises une problématique complexe, et ce pour plusieurs raisons. Tout d'abord, dans plus de 90 % des cas, le soudage ne représente qu'une fraction de l'activité professionnelle du soudeur, au milieu de nombreuses activités connexes. D'autre part, le soudage expose à des risques multiples, chimiques, physiques et accidentels, dont l'inventaire est le plus souvent imprécis faute d'une approche systématique et ordonnée. Enfin, du fait du mécanisme de formation des composants des fumées, celles-ci constituent sans doute le plus ancien modèle d'exposition aux nanoparticules, dont la toxicologie est en phase d'exploration.

À l'heure où, sous l'impulsion d'une réglementation contraignante, la question des risques cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction est au cœur des préoccupations des entreprises, il est nécessaire de repérer les salariés encourant un tel risque sur leur poste de travail, d'autant que la question de la cancérogénicité des « fumées de soudage » n'est pas tranchée.

Le but de la démarche est donc de fournir, au travers d'une analyse *in situ* des situations de travail, des éléments de décision pour l'évaluation et le suivi notamment métrologique de chaque poste de soudeur, et d'éclairer le médecin sur les modalités pertinentes de suivi médical à mettre en œuvre pour un salarié donné.

TECHNIQUES D'ASSEMBLAGE

Il importe en premier lieu de connaître les différentes techniques d'assemblage à chaud des métaux, dont la définition fournit en elle-même des éléments d'évaluation du risque.

Le brasage

Cela consiste à assembler deux pièces métalliques (métal de base) en appliquant une « colle métallique ». Le métal de base et le métal d'apport sont donc de composition sensiblement différente puisque seul le métal d'apport doit fondre. On distingue le brasage tendre, type « fer à souder », mettant en jeu des températures inférieures à 450°C, et le brasage fort, type chalumeau oxyacétylénique, pour des températures supérieures.

Le soudage

Au cours du soudage proprement dit, il s'opère une fusion combinée du métal de base et du métal d'apport, dont les compositions sont donc très proches. Les températures mises en œuvre sont alors très supérieures, atteignant au minimum 1200 à 1400°C. Même s'il existe de très nombreuses autres techniques (faisceau d'électron, friction malaxage, laser...), le soudage fait typiquement appel à l'arc électrique. Le soudage à l'électrode enrobée, les soudages MIG (*metal inert gas*) ou MAG (*metal activ gas*) et le soudage TIG (*tungsten inert gas*) sont les plus couramment rencontrés en milieu de travail.

DÉMARCHE D'ÉVALUATION DU RISQUE CHIMIQUE DE CHAQUE TECHNIQUE

La démarche d'évaluation du risque chimique consiste alors à analyser les différentes sources de risque pour chacune de ces techniques. Concernant le risque chimique, il faut, sur chaque poste, identifier :

- les résidus présents à la surface des pièces soudées (peintures, graisses, solvants...);
- les gaz présents, apportés par la technique (gaz actif du MAG ou inerte des MIG et TIG) ou générés secondairement (ozone dans le soudage à l'arc, oxyde d'azote...);
- la composition des flux de soudage, plus aisée à recueillir lorsqu'il s'agit de pots (fiches de données de sécurité) que lorsqu'il est inclus dans les baguettes d'apport (enrobage ou fourrage). On recherchera en particulier la présence de colophanes dans les baguettes de brasage et d'acide borique, reprotoxique présent dans la plupart des flux;
- la composition du métal d'apport, pour lequel des fiches de données de sécurité sont de plus en plus souvent disponibles et de bonne qualité;
- la composition du métal de base, qui nécessite le recueil de la référence métallurgique puis une recherche auprès du fournisseur.

RISQUES LIÉS AUX MÉTAUX DE BASE

Les alliages ferriques sont les principaux métaux assemblés par soudage. Une méthode d'évaluation du risque fondée sur un principe chimique fondamental est proposée; la probabilité de retrouver un métal élémentaire dans les fumées de soudage est d'autant plus grande que l'alliage qui le contient est porté au-delà de la température de fusion, et *a fortiori* d'ébullition, de ce métal. L'analyse combinée de la composition des alliages, des températures de fusion et d'ébullition de

chaque métal les composant et de la température présumée du bain de fusion, permet d'anticiper de manière approximative la composition des fumées de soudage.

Afin de hiérarchiser, sur le plan des risques pour la santé, les nombreux métaux potentiellement présents, il convient de recueillir pour chaque métal :

- son classement officiel par la communauté européenne et par le CIRC;
- les données toxicologiques disponibles aussi bien quant aux risques d'intoxication aiguë que chronique;
- les données d'évaluation accessibles dans la littérature scientifique, tant en termes de métrologie que de biométrie.

Pour conclure, cette approche à appliquer à chaque poste de soudeur, permet de dresser une liste réduite des principaux métaux induisant un risque chimique significatif pour l'opérateur. Cette évaluation du risque doit ensuite être pondérée par les données recueillies sur le terrain concernant la fréquence des activités, les conditions de mise en œuvre (avec une attention toute particulière pour les opérations en zone confinée), les moyens de protection collective et individuelle. Cette évaluation théorique du risque chimique pourra être complétée par des dosages métro- puis biométrie- logiques spécifiques.

Exemples de mesures de prévention au sein d'un atelier de menuiserie

J-L. Moser, P. Moulin. Centre régional de médecine de prévention des armées, Metz

Les poussières de bois sont connues pour leurs nombreux effets à court mais également à long terme, représentant la deuxième cause de cancers reconnus en maladie professionnelle. L'approche réalisée par un service de médecine de prévention des armées permet de rappeler les enjeux et moyens à la disposition des acteurs de prévention.

La visite de l'atelier dans le cadre des actions en milieu de travail a permis de mettre en évidence différents problèmes révélateurs d'une exposition potentiellement importante des deux menuisiers de l'atelier. Ainsi la présence d'un système de chauffage à air pulsé, à l'origine d'une mise en suspension des particules fines, associé à des systèmes d'aspiration insuffisants, au niveau des postes fixes (ponceuse, scie circulaire,...) et des outils portatifs, ont pu être remarqués. Les moyens de prévention collective étaient souvent associés à un usage insuffisant des équipements individuels de protection respiratoire. De plus, le nettoyage de l'atelier,

effectué au balai ou à la soufflette, contribuait de manière notable à l'empoussièremement de ce dernier. L'ensemble de ces observations a également pu être complété par la réalisation de prélèvements atmosphériques, dont les résultats se sont révélés supérieurs à la VLEP (8 heures), fixée à 1 mg.m^{-3} , au niveau de deux postes dits « opérateurs », c'est-à-dire non fixes.

Après présentation de ces éléments et de leurs risques au chef d'établissement et au CHSCT, des actions de prévention ont été mises en place. Ces dernières ont consisté en la modification du système de chauffage, l'obtention d'aspirateurs pour outils portatifs et d'un système d'aspiration centralisé pour l'atelier. La séparation conseillée des tâches, avec réalisation du vernissage dans un autre local, a été réalisée ainsi que le déplacement des armoires à ingrédients, situées auparavant dans la salle de repos. Certaines actions, telles l'installation d'une ventilation extérieure sur les armoires à ingrédients et le renforcement du port d'un appareil de protection respiratoire aux postes fortement empoussiérés, restent à faire. Cependant les prélèvements atmosphériques réalisés suite à ces mesures se sont tous révélés inférieurs aux valeurs réglementaires et confortent le bien-fondé des actions entreprises dans le cadre de la prévention au sein de cet atelier de menuiserie.

Estimation de l'exposition de plongeurs militaires à des substances chimiques contenues dans le sédiment

J-U. Mullot, M. Geiger. Laboratoire d'analyses de surveillance et d'expertise de la Marine, Toulon

Les plongeurs militaires de la base navale de Toulon effectuent quotidiennement, durant plusieurs années de leur exercice professionnel, des travaux portuaires principalement dans la petite rade. Ces plongeurs sont équipés avec des combinaisons humides et des gants de manutention qui ne sont pas conçus pour protéger du risque chimique. Or, les sédiments de cette petite rade sont contaminés par des métaux (mercure, plomb...) et des polluants organiques (hydrocarbures polycycliques, polychlorobiphényles, dérivés de l'étain...). Une cartographie de cette contamination a d'ailleurs été récemment réalisée (projet Cartochim).

Une étude a été entreprise en 2010 afin d'évaluer l'exposition de ces plongeurs et les risques sanitaires associés. Pour cela, 10 plongeurs ont été suivis au cours de 12 interventions, portant sur 16 sites différents.

Des prélèvements d'eau de mer au plus près de la zone de travail des plongeurs, ainsi que des prélèvements de sédiments adhérents sur le corps, par rinçage des mains et des pieds et par frottis cutané sur le tronc, ont été réalisés. En effet, la pénétration cutanée de sédiments apparaissait comme la voie d'absorption prédominante, suivie par l'ingestion de sédiments. Ces prélèvements ont bénéficié de dosages pondéraux et d'analyses par spectrométrie. Les substances à évaluer prioritairement étaient le nickel, le plomb, le chrome, le mercure, le benzo[a]pyrène (B[a]P), le tributyl-étain et les polychlorobiphényles (PCB).

Les résultats ont montré de fortes concentrations de sédiments dans l'eau de mer (en moyenne 50 mg.L^{-1}) pendant les travaux les plus intenses. En revanche, les contaminations surfaciques de peau étaient faibles ($< 0,051 \text{ mg.cm}^{-2}$) et homogènes entre les différents sites de prélèvement (pied, main, tronc). Les concentrations de composés organiques volatils étaient négligeables. De même, les recherches bactériologiques ont seulement mis en évidence des *E. coli*, à raison de 2 à 3 unités formant une colonie pour 100 m.L^{-1} .

À partir de deux scénarios de plongée « maximale » (valeurs maximales atteintes pour chaque variable entrant dans le calcul d'exposition) et « moyenne » (valeurs médianes atteintes pour chaque variable entrant dans le calcul d'exposition), un quotient de danger (QD) et un excès de risque individuel (ERI) de cancer pour chaque substance ont pu être calculés. Dans le scénario le plus défavorable (exposition la plus longue et substance la plus toxique), le niveau de risque sanitaire reste faible (QD = 0,55 et ERI = $5,68.10^{-7}$) mais non négligeable. Même dans le cas de ce scénario, l'apport professionnel en polluants apparaît comme inférieur aux apports de l'alimentation, notamment en cas de consommation de produits de la mer.

Bien que soumis à certaines incertitudes, les résultats de l'étude n'en demeurent pas moins rassurants, en regard des valeurs toxicologiques de référence professionnelles et environnementales. Des mesures de prévention ont été proposées aux plongeurs de la base navale de Toulon afin de limiter la contamination : respect des règles d'hygiène ; adoption de masques intégraux permettant de limiter l'ingestion d'eau de mer et de sédiments ; décontamination et renouvellement régulier des tenues (combinaisons, gants, chaussons...). Le port de combinaisons sèches ou semi-humides a été discuté mais non retenu en première intention en raison du risque d'hyperthermie d'effort. Une réflexion portant sur certaines procédures de travail particulièrement exposantes a été également menée. Enfin, il a été conseillé aux plongeurs prélevant des produits de la mer en petite rade à des fins scientifiques d'éviter de consommer ceux-ci afin de limiter le risque d'une exposition aux polluants.

Cette approche pourrait être complétée utilement

par des mesures biométriologiques notamment le B[a]P urinaire, la plombémie. De plus, l'évaluation de la qualité bactériologique des eaux de la rade mériterait une étude approfondie, notamment par temps de pluie, lorsque l'eau de ruissellement issue du milieu urbain contamine l'eau de la rade.

Gestion du risque lié au plomb dans les stands de tir du ministère de la Défense

J-F. Ferrand. Centre de médecine de prévention des armées, Paris

DESCRIPTION DE L'EXPOSITION AU PLOMB

Les activités au sein des stands de tir du ministère de la Défense, qu'ils soient de type ouvert ou fermé, exposent au risque d'intoxication saturnine. Le plomb (Pb) y est essentiellement présent dans les munitions pour armes légères telles que celles du fusil d'assaut.

Une munition est constituée d'un étui qui contient la charge propulsive. À la base de l'étui se trouve l'amorce qui peut contenir du styphnate de plomb et qui explose à l'impact du percuteur de l'arme, enflammant ainsi la charge propulsive. La balle à l'extrémité de l'étui est alors éjectée à travers le canon. Cette balle est constituée d'un métal de densité élevée, le plus souvent du plomb, afin de réduire le coefficient balistique qui définit la capacité d'un projectile à tenir une trajectoire. Néanmoins, lors de leur passage forcé dans le canon, les balles en plomb se ramollissent à leur périphérie. De ce fait, elles ne peuvent être correctement guidées par les rayures du canon. Aussi, afin d'augmenter leur précision, certaines balles sont chemisées par un métal plus dur (cuivre, acier, laiton) qui assure une meilleure prise des rayures du canon.

Des vapeurs et des poussières de plomb sont produites lors de l'explosion de l'amorce (au départ du coup) et par le frottement du plomb à l'intérieur du canon si la balle n'est pas chemisée. Cette production est également observée à l'impact dans un « piège à balle » (derrière la cible) dont la structure métallique fait éclater le projectile. L'impact dans ce piège génère plus de poussières de plomb qu'en cas d'impact dans une butte de tir en terre où le projectile tend à s'enfoncer.

Les personnels exposés sont le tireur, l'instructeur, les personnels chargés de la récupération des balles au niveau des cibles et les personnels qui assurent le nettoyage du stand. Tous ces personnels peuvent inhaler des poussières et contaminer leur peau ou leurs vêtements.

PRÉVENTION

Les composés du plomb étant classés toxiques pour la reproduction (catégorie 1A du règlement CLP), leur substitution doit être systématique. Les amorces de styphnate de plomb peuvent être remplacées par des amorces à base de diazole (composé organique, marque Sintox®). Ces amorces peuvent porter sur leur culot le marquage LF (« lead free ») ou CF (« clean fire »). De même, il faut préférer l'utilisation de balles chemisées ou de balles sans plomb.

Lorsque la substitution ne peut être complète, les mesures de prévention suivantes sont à mettre en place :

- système de ventilation/aspiration avec filtrage : du stand (système asservi à l'éclairage), au niveau des armes et au lieu d'impact des balles. Le changement des filtres doit être régulier, en particulier dans les stands fermés ;
- retrait régulier des débris de balles par un personnel informé et formé ;
- nettoyage des locaux à l'humide ou avec aspirateur spécial muni d'un filtre à haute efficacité pour les particules. L'utilisation d'un balai est proscrite car remettant en suspension les poussières ;
- rappel sur les règles d'hygiène individuelle ;
- information des personnels féminins sur les risques encourus par l'embryon puis le fœtus durant la grossesse.

Une métrologie atmosphérique est à réaliser annuellement. En effet, le plomb dispose d'une valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) réglementaire contraignante de 0,1 mg.m⁻³ sur 8 heures. Les indicateurs biologiques d'exposition, dont la plombémie, présentent l'intérêt d'intégrer les différentes voies d'exposition (respiratoire, digestive, cutanée). Les personnels relèveront d'une surveillance médicale renforcée (SMR) si la métrologie du plomb atmosphérique sur 8 heures est supérieure à 0,05 mg.m⁻³ ou si une plombémie supérieure à 200 µg.L⁻¹ chez l'homme ou supérieure à 100 µg.L⁻¹ chez la femme est mesurée chez un travailleur.

L'employeur est tenu d'arrêter le travail lorsque la métrologie atmosphérique du plomb dépasse la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) réglementaire contraignante de 0,1 mg.m⁻³ sur 8 heures, et/ou lorsque la plombémie dépasse la valeur limite biologique contraignante de 400 µg.L⁻¹ chez l'homme ou de 300 µg.L⁻¹ chez la femme.

Enfin des documents d'information et de traçabilité doivent être établis telle que la fiche d'exposition, la liste actualisée des personnels exposés, la notice de poste et l'attestation d'exposition pour un suivi post-professionnel.

Dans le contexte du ministère de la Défense où plus de 30 millions de balles sont tirées chaque année, la maîtrise du risque liée au plomb doit être une priorité.

Du fait de son caractère de toxique cumulatif (90 % du plomb total dans le squelette avec une demie-vie de 20 à 30 ans) et de la féminisation importante des armées, il est essentiel de limiter les expositions au plomb aux plus bas niveaux possibles.

Risques cutanés chez les mécaniciens

L. Géraut. Service de médecine de prévention du ministère de la Défense, Paris

Dans les centres de consultation spécialisée en dermatologie professionnelle, les dermatites de contact d'origine chimique concernent des mécaniciens dans environ 10 % des cas. Les lésions sont alors préférentiellement localisées sur les mains et les avant-bras. Elles sont consécutives aux expositions à divers produits irritants et/ou allergisants tels que de nombreux solvants, parmi lesquels des hydrocarbures (essence, gasoil, diverses coupes pétrolières, hydrocarbures aromatiques), des alcools (produits de lavage des vitres), des éthers de glycols (liquides de refroidissement), diverses substances tensioactives, des produits fortement acides (acide sulfurique des batteries) ou basiques (produits de nettoyage des véhicules), des produits d'hygiène des mains souvent très agressifs (basiques, avec microbilles), des métaux, parfums, ou bien des dérivés du caoutchouc. Le revêtement cutané est également soumis aux vibrations, au froid et à des contraintes mécaniques importantes.

Une étude rétrospective, portant sur les dossiers de mécaniciens reçus en consultation au sein du service de pathologie professionnelle du CHU de Nantes entre 2001 et 2010, confirme ces nuisances et leurs effets. Parmi les 92 cas retenus, 38 cas correspondent à des dermatites de contact non spécifiques de type irritatif et 49 cas correspondent à des dermatites de contact de mécanisme allergique. Ces allergies sont majoritairement liées : aux métaux (nickel, chrome, cobalt) ; aux biocides présents notamment dans les savons, les huiles et les graisses ; aux parfums présents en particulier dans les savons ; au latex (pneus, diverses pièces en caoutchouc).

Les pathologies associées, parfois de façons concomitantes, sont les suivantes :

- cinq syndromes de Raynaud, fréquemment induits par des expositions prolongées aux engins vibrants et au froid ;
- deux phénomènes de Koebner : éruptions psoriasiques dans des zones mécaniquement sollicitées (paume des mains) ;
- deux dermatites nummulaires ;
- un cas de verrues multiples.

Les conséquences socio-professionnelles de ces affections peuvent être majeures, notamment chez les salariés présentant des allergies cutanées et qui sont fréquemment contraints au reclassement professionnel.

Par conséquent, la prévention des dermatites de contact constitue un enjeu important au sein d'un atelier, ce qui nécessite de la part du médecin du travail une bonne connaissance des postes de travail du salarié et de ses collègues (présence de peintres, tôliers-carrossiers...).

L'objectif est de réduire les facteurs d'irritation cutanée et les contacts avec les allergènes potentiels. L'usage de solvants comme l'essence pour le lavage des mains est à proscrire. Le port effectif d'équipements de protection individuelle adaptés et connus des salariés s'avère souvent déterminant. Il est indispensable que le salarié et l'employeur en aient compris l'intérêt. L'application de crèmes protectrices, en début de journée de travail, sur peau saine, permet de réduire le nombre de lavage des mains.

En revanche la sélection au moyen des fiches de données de sécurité des produits contenant les biocides les moins dangereux s'avère décevante : la mention réglementaire des biocides ne concerne que certaines substances et aucun biocide « hypoallergénique » n'a clairement émergé à ce jour.

Dans le cas des ateliers mécaniques des forces armées, il est indispensable de veiller à la mise en œuvre des mesures de prévention malgré les fortes contraintes opérationnelles ; ceci aussi bien en France qu'au cours des missions à l'étranger. Cela implique nécessairement un engagement fort des médecins d'unité et des médecins de prévention au moyen des visites d'atelier, des consultations médicales et des contacts avec le commandement.

Y a-t-il un risque amiante chez les sapeurs-pompiers ?

P. Hache, A. Perrino. Service départemental d'incendie et de secours de Seine et Marne, Melun

En France, les sapeurs-pompiers sont potentiellement exposés aux fibres d'amiante lorsqu'ils pénètrent dans des habitations ou bâtiments construits avant 1997, année de l'interdiction de fabrication, d'importation et de commercialisation de matériaux contenant cette fibre minérale.

Deux types de missions sont particulièrement concernés : les extinctions d'incendie en milieu urbain (habitations, immeubles...) et les opérations de sauvetage-déblaiement.

EXTINCTION D'INCENDIE

Les missions d'extinction d'incendie représentent 10 % des 4 250 000 interventions réalisées chaque année par les sapeurs-pompiers. L'extinction d'un feu requiert plusieurs phases dont celle d'attaque (destinée à enrayer la propagation de l'incendie et aboutir à son extinction) et celle de déblai (évacuation des décombres afin d'éliminer les points chauds favorisant la reprise de l'incendie). Au cours de ces phases, diverses actions ayant lieu à distance du foyer d'incendie peuvent libérer des fibres d'amiante : percée de cloisons, effondrement de faux plafonds, retrait de la toiture... Alors que les soldats du feu portent un appareil respiratoire isolant durant l'attaque, ceci est moins fréquent durant le déblai malgré les risques connus d'intoxication aux fumées d'incendie. La durée moyenne de présence effective des sapeurs-pompiers sur les lieux de ce type de sinistre est d'environ 1 h 50.

La littérature ne rapporte pas, à ce jour, de travaux sur des prélèvements atmosphériques ou en zone respiratoire, durant ces phases. Aux USA, une étude réalisée dans les années 90, lors de la phase de surveillance de 25 feux (vérification d'absence de reprise de l'incendie), a montré la présence de fibres d'amiante dans l'atmosphère avec un taux moyen de 0,073 fibre.cm⁻³(1).

Trois facteurs principaux font varier ce taux de fibres :

- la concentration d'amiante dans les matériaux de construction du bâtiment ;
- la chaleur dégagée par l'incendie (le chrysotile se transforme en forstérite et en silice vers 800-850 °C) ;
- la diffusion d'eau qui réduit l'empoussièrement.

SAUVETAGE-DÉBLAIEMENT

Les missions de sauvetage-déblaiement ont pour objectif de localiser et de prendre en charge des personnes ensevelies lors de glissements de terrain ou lors d'effondrement d'immeubles ou de tunnels. Elles représentent moins d'1% des interventions réalisées chaque année par les sapeurs-pompiers. Toutefois, ces missions sont les plus à risque en raison de leur durée et de l'utilisation d'outils tels que des scies à béton, des tronçonneuses, des perforateurs... afin de retirer les murs gênant l'accès aux victimes. La base de données Evalutil (évaluation des expositions professionnelles aux fibres) permet une approche de l'exposition des intervenants. Deux exemples peuvent être notés : lors d'activités de démolition, l'exposition en zone respiratoire varie de 0,01 à 11 fibres.cm⁻³ ; lors du sciage de panneaux friables à l'aide d'un engin à moteur, cette exposition peut atteindre 214 fibres.cm⁻³.

CAS PARTICULIER : WORLD TRADE CENTER

L'attentat du World Trade Center, à New-York le 11 septembre 2001, a entraîné l'incendie et l'effondrement de 2 tours (WTC 1 et WTC 2) de 400 m de hauteur, contenant de l'amiante dans les 40 premiers étages. Une troisième tour (WTC 7) s'est secondairement effondrée.

L'incendie a duré 3 mois, tandis que 1,8 millions de tonnes de débris ont été explorées et évacuées pendant 8 mois à la recherche de victimes (2 750 personnes décédées dont 343 sapeurs-pompiers). De plus, les données de métrologie réalisées dans les suites de l'attentat ont montré que l'effondrement des 2 tours a soumis les sapeurs-pompiers new-yorkais à un fort taux d'amiante et de poussières durant les premières heures d'intervention. Lors de l'éboulement, la concentration atmosphérique en fibres d'amiante a été estimée à 50 fibres.cm⁻³, avec une diminution à moins d'1 fibre.cm⁻³ en 5 heures. Les 1 174 prélèvements d'air (y compris en zone respiratoire) réalisés du 18 septembre au 4 octobre 2001 n'ont pas révélé d'exposition professionnelle à l'amiante pour les sauveteurs et les ouvriers travaillant sur le site.

Seulement 50 % des pompiers new-yorkais ont bénéficié d'une protection respiratoire durant les 48 premières heures de l'intervention, cette protection allant de l'appareil respiratoire isolant au simple masque chirurgical. Ils ont donc été très fortement exposés à un empoussièrement comprenant, outre les fibres d'amiante (minoritaires), des poussières basiques, des HAP, du plomb, ... Dès la fin de la première année, de nombreux symptômes ou maladies respiratoires étaient notés : toux chronique (*World Trade Center cough*), pleurésies à éosinophiles, syndromes obstructifs...

Au total, les sapeurs-pompiers sont exposés de manière peu fréquente et brève aux fibres d'amiante, avec une exposition cumulée faible bien que certaines expositions puissent être intenses. Très peu de cas de pathologies liées à l'amiante ont été déclarés imputables à l'activité de sapeur-pompier en France.

Le risque amiante semble donc faible, prédominant dans les opérations de sauvetage-déblaiement. Toutefois, au-delà de l'amiante, les actions de prévention doivent tenir compte de l'ensemble des fibres et poussières libérées lors de la destruction de bâtiments.

(1) En France, actuellement, la concentration moyenne en fibres d'amiante dans l'air inhalé par un travailleur ne doit pas dépasser 0,1 fibre.cm⁻³ sur une heure de travail.

Traçabilité des exposés aux CMR : 1^{er} bilan d'une démarche pratique

B. Bouard. Centre de médecine de prévention des armées, Brest

La réglementation civile (Code du travail et *circulaire DRT n° 12 du 24 mai 2006 relative aux règles générales de prévention du risque chimique et aux règles particulières à prendre contre les risques d'exposition aux agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction*) impose au ministère de la Défense d'assurer la traçabilité des expositions aux agents et procédés CMR pour les personnels militaires et civils. Les deux acteurs de sa mise en œuvre sont le chef d'organisme et le médecin de prévention. Les périmètres de responsabilité et les rôles de chacun sont définis par la réglementation.

Une première approche, initiée en 2005, a consisté en une demande à l'employeur de compléments d'informations pour chaque exposition CMR déclarée comme potentielle au poste de travail, avec la rédaction d'une fiche individuelle d'exposition. Les résultats obtenus ont été décevants, soulignant l'inefficacité de l'action isolée du médecin de prévention. Pour aboutir à un résultat concret, il a été décidé, en 2007, d'élaborer et de formaliser une démarche en 6 étapes avec pour objectif l'obtention d'une action conjointe et synergique entre le chef d'organisme et le médecin de prévention. Les 3 étapes placées sous la responsabilité du médecin sont les suivantes :

- **Étape n° 1** : demande des fiches de données de sécurité des produits utilisés par l'organisme ;

- **Étape n° 3** : analyse toxicologique des fiches de données de sécurité. Elle permet d'identifier les agents chimiques dangereux de type CMR et de les rattacher, dans un tableau à double entrée, à leur nom commercial. Ce document facilite un suivi médical optimisé des personnels. Il permet également de conseiller le chef d'organisme sur la réalisation de métrologies atmosphériques, sur la rédaction des Fiches Emploi-Nuisances, des Fiches Individuelles d'Exposition et sur l'établissement de la liste des personnels en SMR du fait d'une exposition professionnelle ;

- **Étape n° 5** : réalisation et formalisation des études des postes de travail à risque d'exposition CMR déclaré par l'employeur. Ceci s'accompagne de conseils sur les mesures de prévention à adopter, notamment en matière de protection collective et d'équipement de protection individuelle.

Cette nouvelle démarche s'est traduite par une amélioration des données sur le plan qualitatif. Avant son

application, le risque chimique était identifié sur la base des 15 items du rapport annuel du médecin de prévention. Depuis, 51 substances CMR ont été recensées dont 26 de catégorie 1 et 2. Cette progression dans l'identification des molécules a permis d'apporter aux travailleurs exposés une information plus ciblée sur la toxicité des produits utilisés au poste de travail et de prescrire les indicateurs biologiques d'exposition (IBE) adaptés.

Dix-neuf IBE sont techniquement disponibles pour améliorer la traçabilité de 27 substances sur les 51 identifiées. En pratique seulement 9 ont été utilisés. Cette limitation est liée à la quantité et la fréquence d'utilisation de molécules CMR très réduites au poste de travail. Elle s'explique également par la non-spécificité de l'IBE, la non-réalisation technique du dosage de l'IBE au niveau des laboratoires d'analyse et aux limites d'interprétation des résultats en l'absence de valeurs de référence. Ces éléments soulignent l'importance de l'évaluation du risque au poste de travail.

Brouilleurs opérationnels : problèmes médico-légaux et protection des personnels

D. Crouzier, J-C. Debouzy. Unité de biophysique cellulaire et moléculaire, Institut de recherche biomédicale des armées (IRBA)/Antenne CRSSA, La Tronche

Les engins explosifs improvisés radiocommandés (EEI) sont constitués d'une charge explosive et d'un détonateur commandé par un système de déclenchement radio piloté. En Afghanistan, ces EEI constituent la principale cause de décès et blessures pour les soldats de l'OTAN.

Afin de protéger les convois, les forces ont donc développé des brouilleurs opérationnels, le plus souvent montés sur véhicules. Ces systèmes émettent un rayonnement électromagnétique multifréquences sur les bandes les plus fréquemment utilisées (UHF ; VHF ; GSM ; WiFi), ce qui bloque un éventuel signal de déclenchement du détonateur.

Une étude conjointe de l'IRBA et de la Direction centrale du service de santé des armées sur le théâtre afghan en 2009 a mis en évidence la grande appréhension générée par l'usage de ces brouilleurs au sein des forces. De nombreux soldats attribuaient aux rayonnements électromagnétiques, des symptômes aspécifiques tels que céphalées, nausées, sensation d'éblouissement. Des cas de brûlures générées chez des porteurs de matériel d'ostéosynthèse auraient également été évoqués, mais aucun cas n'a pu être formel-

(2) ANSES, Comité d'Experts Spécialisés pour l'évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements ; Groupe de Travail Radiofréquences. Expertise relative aux radiofréquences, saisine n° 2007/007, mis à jour en octobre 2009. <http://www.anses.fr>

lement identifié. La crainte de survenue de cancers était également forte.

Concernant les symptômes aspécifiques et le risque de cancer, le rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES⁽²⁾), ne relève aucun effet délétère observable, y compris à long terme dans les conditions normales d'exposition. Il sera intéressant de connaître les résultats d'études actuellement en cours de réalisation.

Toutefois, en cas d'exposition anormale à de fortes puissances, un courant électrique et/ou une élévation locale de température peuvent être générés. À cet effet, une puissance d'émission de référence pour la protection des individus a été définie, correspondant à une augmentation bénigne de température corporelle de 0,5°C. Un facteur multiplicatif de sécurité de 10 pour les travailleurs et de 50 pour le grand public est ensuite appliqué à cette valeur, permettant ainsi un zonage réglementaire autour de la source (zones rouge, jaune et verte).

L'échauffement et les courants électriques induits ont été évalués en cas de port de dispositifs médicaux passifs métalliques, notamment le matériel d'ostéosynthèse. Ce travail expérimental coordonné par l'IRBA incluait la mise en place chirurgicale sur six corps humains en *post mortem*, de prothèses orthopédiques et d'outils de mesure de température et du courant induit. Les corps étaient ensuite exposés aux rayonnements électromagnétiques générés par un brouilleur opérationnel dans les conditions normales d'usage. La distance à la source était de un mètre (limite de zone rouge) et l'exposition était maintenue durant 6 minutes, délai de stabilisation de la température. Au final, l'augmentation de température a été inférieure ou égale à 0,2°C, ce qui correspond à la limite inférieure de détection du matériel de mesure. Le courant induit dans le matériel métallique atteignait un maximum de 1,1 V pour une intensité d'environ 10 mA.

Le même type d'expérience a été réalisé avec des prothèses plus petites (notamment maxillo-faciales) et en incluant le scénario d'un contact accidentel avec l'antenne. Dans la situation la plus défavorable, l'élévation de température maximale a été de 0,5°C. Elle survenait avec les prothèses les plus petites, car moins entourées de tissu et donc présentant une moindre capacité d'absorption calorique. Enfin, des courants induits non négligeables ont été mesurés, atteignant 2 V et 40 mA dans les conditions les plus défavorables telles qu'un contact avec la source, une fréquence d'émission basse, une petite prothèse ou une prothèse orientée parallèlement à la source. Il est à noter que ces valeurs sont du même ordre que celles utilisées par les systèmes de stimulation utilisés chez les para- ou tétraplégiques pour maintenir une masse musculaire correcte (10 mA, 10 mV). Aucun effet délétère à moyen ou long terme n'est connu pour ces valeurs.

Ces expériences permettent ainsi d'écarter le risque de brûlure. Elles mettent en évidence des courants induits qui peuvent stimuler des tissus excitables. Cela pourrait générer une contraction musculaire intrinsèquement bénigne en elle-même, mais accidentogène dans certains contextes comme la conduite ou en situation de tir. Il semble donc nécessaire de ne pas assouplir les normes militaires d'aptitude médicale pour l'exposition aux rayonnements électromagnétiques.

Radar : un rayonnement peut en cacher un autre

G. Gagna. Service de protection radiologique des armées, Clamart

Le radar Palmier de la base aérienne de Lyon Mont-Verdun est un système de détection de la défense aérienne de l'armée de l'air capable d'émettre une impulsion électromagnétique hyperfréquence de 2 à 4 GHz avec une puissance de 20 MW. La genèse de ce signal implique l'utilisation d'un tube électronique de forte puissance, appelé klystron, qui amplifie le signal hyperfréquence en transformant l'énergie cinétique des électrons en énergie électromagnétique. Malgré la focalisation du faisceau électronique par des électroaimants, le fonctionnement de ces tubes électroniques induit la production d'un rayonnement X de fuite par effet Bremsstrahlung (rayonnement de freinage). Les klystrons, qui modulent ou amplifient les émissions hyperfréquences, produisent donc des rayonnements X parasites. Néanmoins, cette émission de radiations ionisantes n'était à ce jour considérée comme mineure et effective que sur de courtes distances, inférieures à 2 mètres. En pratique, ces installations bénéficient au mieux d'une surveillance dosimétrique d'ambiance, tandis que la surveillance dosimétrique individuelle ne semblait pas s'imposer.

Suite à un incident technique, le Service de protection radiologique des armées (SPRA) a réalisé une évaluation de l'exposition radiologique des personnels chargés de la maintenance de cette installation. Cette étude dosimétrique a mis en évidence des niveaux d'exposition des personnels approchant la limite publique réglementaire de 1 mSv. Elle a également souligné la difficulté technique de la mesure de ce rayonnement X parasite émis par ces radars en fonctionnement du fait des interférences avec les rayonnements non ionisants.

En conclusion, les auteurs préconisent donc d'assimiler les tubes électroniques des radars à des générateurs de rayons X et, par conséquent, de les déclarer à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN). L'évaluation de ce risque d'exposition à un rayonnement ionisant est à

réaliser, au même titre que celui représenté par l'exposition au champ électromagnétique hyperfréquence. Un zonage radiologique de l'installation, la mise en place d'une surveillance dosimétrique individuelle ainsi qu'une surveillance médicale renforcée des personnels exposés seront décidés en fonction des résultats des études de poste à venir.

Évaluation des expositions aux HAP en milieu professionnel

C. Lemarquand. Centre de médecine de prévention, Paris/EHMP

Les HAP représentent la première famille d'agents cancérigènes professionnels avec près de 1 600 000 sujets exposés en France dans différents secteurs industriels (cokerie, électrolyse de l'aluminium...). Alors que les niveaux d'exposition ont été étudiés dans les différentes activités de ces industries, il existe très peu d'analyses chez les sapeurs-pompiers. Deux activités exposant aux HAP peuvent être notées : l'intervention pour extinction d'un incendie et la formation en saison à feu.

Une étude a été menée de janvier à mai 2010 afin d'évaluer les niveaux d'exposition aux HAP par dosage urinaire du 1-hydroxypyrrène, des 1- et 9-hydroxyphénanthrène et du 3-hydroxybenzo[a]pyrrène chez des sapeurs-pompiers, des mécaniciens poids-lourds ainsi qu'en population générale chez des sujets fumeurs et non fumeurs non exposés professionnellement aux HAP.

Les résultats de cette biométrie montrent que les sapeurs-pompiers sont exposés aux HAP durant notamment leurs activités de déblai (évacuation des débris provoqués par un incendie). Les taux de contamination sont semblables à ceux des fumeurs non professionnellement exposés. Ces résultats montrent également que les voies de pénétration sont respiratoires et cutanées. Cependant, les taux de 3-hydroxybenzo[a]pyrrène étant tous inférieurs à la limite de détection de la méthode analytique utilisée, aucune conclusion ne peut être établie sur le risque cancérigène de cette contamination.

Les données de cette étude ont donc permis de connaître le niveau d'exposition des sapeurs-pompiers aux HAP, d'identifier certains facteurs techniques responsables de contamination et de proposer des préconisations simples afin de réduire la contamination (lavage plus régulier des tenues de feu, port de sous-gants en coton...). Ces résultats préliminaires devront être complétés par une étude à plus grande échelle dans d'autres centres de secours.

Points à retenir

Lors du choix d'une substance chimique, ou lors d'une démarche de substitution, l'absence d'information sur un nouveau produit ne doit pas être confondue avec une absence de toxicité le concernant.

L'évaluation des risques liés aux opérations de soudage s'appuie sur la connaissance et l'analyse distincte des quatre éléments "technique de soudage/métal de base/métal d'apport/flux".

Au sein des ateliers mécaniques, la prévention des dermatites de contact repose sur la réduction des facteurs d'irritation cutanée et des contacts avec les allergènes potentiels. Elle nécessite également l'adhésion du salarié et de son employeur.

Chez les sapeurs-pompiers, la protection des voies respiratoires est indispensable lors des opérations de sauvetage-déblaiement. Elle doit être complétée par la protection de la voie cutanée lors des opérations d'extinction d'incendie.

La maîtrise des risques CMR repose sur une démarche systématique créant une synergie entre l'évaluation menée par l'employeur et l'expertise apportée par le médecin.