

## Factsheet

### Risques pour la santé dus au soudage

**Dr Michael Koller**

**Dr Marcel Jost**

**Dr David Miedinger**

**Dr Klaus Stadtmüller**

**Markus Blättler**

La Suisse compte plus de 25 000 soudeurs et un grand nombre de travailleurs qui effectuent sporadiquement des opérations de soudage. Ces personnes sont exposées à divers risques pour leur santé : fumées, poussières, vapeurs, gaz, bruit, rayonnement, champs électromagnétiques, vibrations, températures élevées ou postures forcées. La publication «Coupage et soudage» de la Suva (réf. 44053) présente les divers procédés de soudage et de coupage ainsi que les mesures de protection correspondantes du point de vue technique et de l'hygiène du travail. Le présent factsheet traite des atteintes possibles à la santé.

#### **1. Vue d'ensemble des principaux procédés de soudage et de coupage**

Le soudage et ses techniques connexes consistent à réunir, couper ou revêtir des matériaux métalliques sous l'effet de la chaleur ou de la pression, avec ou sans matériaux d'apport (électrodes en fil ou barre, brasure, poudre). La chaleur peut être produite, par exemple, par un chalumeau à gaz combustible et à oxygène ou par un courant électrique. Dans ce dernier cas, un arc électrique se forme entre la pièce métallique et l'électrode. Il existe en tout environ 140 procédés de soudage normalisés.

On distingue parmi les matériaux de base les matériaux ferreux et non ferreux. Les matériaux ferreux (ou aciers<sup>1</sup>) peuvent quant à eux être non alliés, faiblement ou fortement alliés. Les aciers fortement alliés contiennent plus de 5 % d'éléments d'alliage, principalement du

---

<sup>1</sup> Selon la norme DIN EN 10020, l'acier est un matériau contenant en masse plus de fer que tout autre élément et dont la teneur en carbone est généralement inférieure à 2 %. Si la teneur en carbone est plus élevée, on parle de fonte de fer. Si le niveau de pureté d'un acier est particulièrement élevé, on parle alors d'acier inoxydable. Dans la vie quotidienne, les aciers résistants à la corrosion sont également appelés acier inoxydable.

chrome, du nickel et du manganèse, plus rarement du silicium, du cuivre, du tungstène, du molybdène ou du titane.

### **Soudage par pression**

Dans le soudage par pression, les matériaux métalliques sont réunis sous pression. Les surfaces à souder sont au besoin chauffées localement et de manière limitée. Aucun matériau d'apport n'est généralement nécessaire. Cette catégorie comprend, par exemple, le soudage par résistance électrique et le soudage par friction.

### **Soudage par fusion**

Dans le soudage par fusion, les parties des pièces métalliques à réunir sont chauffées jusqu'à la température de fusion et assemblées, en utilisant généralement un matériau d'apport de nature similaire. Les procédés les plus connus sont le soudage à l'arc manuel avec électrode enrobée (SAEE), le soudage avec électrode métallique sous protection gazeuse active (MAG) ou protection gazeuse inerte (MIG), le soudage avec électrode en tungstène sous gaz inerte (TIG) ou poudre, au laser, autogène (soudage aux gaz et à la flamme) et le soudage au plasma.

### **Brasage**

Dans le brasage, les pièces métalliques sont réunies à l'aide d'un métal d'apport en fusion. Les matériaux de base sont humidifiés avant l'assemblage, sans que ceux-ci ne soient eux-mêmes fondus. Par ailleurs, des fondants et/ou des gaz protecteurs peuvent être utilisés. On distingue le brasage tendre et le brasage fort. Dans le premier cas, le brasage est réalisé à partir d'alliages d'étain, de zinc, de cadmium ou d'antimoine, autrefois aussi de plomb. Pour le brasage fort, on emploie un alliage de cuivre et d'argent. Les fumées dégagées lors du brasage dépendent des fondants et des alliages utilisés.

### **Coupage**

Lors du coupage thermique, la matière est portée en fusion et coupée par des jets de gaz. Il existe deux méthodes : le procédé autogène, par exemple l'oxycoupage, et le procédé à l'arc électrique, par exemple le coupage au laser ou au plasma. Dans le coupage thermique, la fumée provient principalement du matériau de base. Les particules sont plus grosses que celles produites par le soudage et ne pénètrent que partiellement jusqu'aux alvéoles pulmonaires.

## 2. Principales substances nocives lors du soudage

Selon la méthode employée, le soudage produit différentes fumées, poussières, vapeurs et gaz, contenant diverses substances. Les fumées et les gaz comprennent au total plus de 40 substances chimiques. Les substances nocives proviennent du métal travaillé lui-même sous forme de particules métalliques ou de dérivés des matériaux (par ex. oxyde) présents dans l'air, des matériaux d'apport (électrodes, barres de soudure, brasure, poudre), du revêtement (vernis ou revêtements métalliques) ou du produit de nettoyage. Les substances auxiliaires (gaz combustibles et protecteurs, fondants, etc.) doivent également être prises en compte.

### Fumées

Les matériaux d'apport constituent la principale source de fumée de soudage. La fumée se forme, d'une part, par la condensation et l'oxydation des métaux en phase vapeur et, d'autre part, par la combustion incomplète de matières par ex. de matériaux de soudage auxiliaires ou d'un revêtement du matériau de base.

### Gaz et vapeurs

Les substances nocives gazeuses proviennent des gaz de combustion, de l'air, des matériaux de revêtement ou d'impuretés. Ces substances comprennent par exemple l'ozone, le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, l'acide chlorhydrique ou les aldéhydes. Les gaz peuvent aussi présenter des risques d'incendie ou d'explosion, ainsi que d'asphyxie due au dioxyde de carbone, à l'azote ou à l'argon.

### Poussières

Les particules produites lors du soudage, du coupage ou du brasage ont un diamètre de 0,01 à 1 µm et peuvent ainsi pénétrer dans les alvéoles (**fraction alvéolaire de la poussière**). Les soudeurs sont plus fortement exposés que d'autres métiers à ces particules, et en particulier aux particules ultrafines de moins de 0,1 µm. Les particules sont généralement plus petites lors du soudage que lors du coupage, sauf dans le cas du coupage au laser qui produit principalement des particules ultrafines.

Une petite partie de la fumée de soudage, sous forme d'agglomérats, compose la **fraction inhalable de la poussière**. Ces grosses particules, qui peuvent mesurer jusqu'à 100 µm, se forment par exemple lors du coupage thermique ou de la projection thermique.

L'exposition à la poussière lors du soudage dépend de divers facteurs spécifiques aux procédés et aux matériaux. C'est le soudage à l'arc manuel (SAEE) qui produit la plus grande quantité de particules parmi tous les procédés, et le soudage TIG et plasma la plus petite. Des mesures appropriées d'hygiène du travail, par exemple des dispositifs d'aspiration, peuvent réduire fortement l'exposition aux poussières (Pesch: étude WELDOX].

Le tableau 1 répertorie les principales substances dangereuses produites en fonction des différents procédés :

Procédé	Matériau de base	Principaux composants
<b>SAEE</b> (Soudage à l'arc manuel avec électrode enrobée)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Taux de substances nocives le plus élevé de l'ensemble des procédés de soudage</li> <li>- 95 % de la fumée de soudage provient du matériau d'apport</li> <li>- Composé d'oxydes (Fe, Mn, Na, K, Si, Ca, Cr, Ni, Mg, Ti) et de fluorures</li> </ul>	
	Non allié/faiblement allié	Poussières alvéolaires
	Chrome-nickel-acier	Poussières alvéolaires Composés de nickel (insolubles) Composés de chrome (VI)
	Fonte de fer	Poussières alvéolaires Composés de nickel (insolubles)
<b>MAG</b> (Soudage avec électrode métallique sous protection gazeuse active)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moins de fumée que dans le cas du SAEE</li> <li>- Composé principalement d'oxydes de Fe, d'oxydes de Ni et de Mn, ainsi que de Cr(III) dans le cas d'aciers fortement alliés</li> <li>- Gaz : monoxyde de carbone et éventuellement ozone</li> </ul>	
	Non allié/faiblement allié	Poussières alvéolaires Manganèse Eventuellement CO
	Chrome-nickel-acier	Poussières alvéolaires Composés de nickel (insolubles) Composés de Cr(VI)
<b>MIG</b> (soudage avec électrode métallique sous protection gazeuse inerte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moins de fumée que dans le cas du SAEE</li> <li>- Ozone pour certains matériaux à base d'aluminium</li> <li>- Cr et Ni pour les matériaux d'apport fortement alliés</li> </ul>	
	Non allié/faiblement allié	Poussières alvéolaires Eventuellement Cu
	Chrome-nickel-acier, (alliages de) nickel	Poussières alvéolaires Composés de nickel (insolubles) Ozone

	Matériaux à base d'aluminium	Ozone Poussières alvéolaires	
-			
<b>TIG</b> (Soudage avec électrode en tungstène sous gaz inerte)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emissions de fumée les plus faibles de l'ensemble des procédés de soudage</li> <li>- Formation d'ozone dans le cas d'alliages Al-Si</li> </ul>		
	Non allié/faiblement allié, Matériaux à base d'aluminium	Ozone Poussières alvéolaires	
	Chrome-nickel-acier, (alliages de) nickel	Ozone Composés de nickel (insolubles)	
-			
<b>Soudage et coupage au plasma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement de fumée faible pour le soudage (similaire au procédé TIG), émissions de particules élevées pour le coupage</li> <li>- Éventuellement formation de chromates et d'oxydes d'azote</li> </ul>		
	Non allié/faiblement allié	Poussières alvéolaires Éventuellement dioxyde d'azote	
	Chrome-nickel-acier, (alliages de) nickel	Poussières alvéolaires Composés de nickel (insolubles) Dioxyde d'azote	
	Matériaux à base d'aluminium	Ozone Poussières alvéolaires	
-			
<b>Soudage et coupage au laser</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Développement de fumée lors du soudage similaire au procédé MAG, grande quantité de fumées également possible pour le coupage</li> <li>- Formation de particules de Zn en cas d'acier zingué</li> <li>- Oxydes de Co en cas d'alliages de cobalt, oxydes de Cu et d'Al en présence de matériaux en bronze et aluminium</li> <li>- Rayonnement</li> </ul>		
	Non allié/faiblement allié, acier zingué	Poussières alvéolaires Zinc	
	Chrome-nickel-acier, (alliages de) nickel	Poussières alvéolaires Composés de nickel (insolubles)	
-			
<b>Soudage par résistance</b>	Grande quantité de fumées possible dans le cas de tôles revêtues ou enduites d'huile (substances organiques)		

	Divers	Poussières alvéolaires Eventuellement Cu	
<b>Soudage au gaz</b> <b>Réchauffage au chalumeau</b> <b>(procédés auto-gènes)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formation de poussière le plus souvent faible (&lt; 1 mg/s)</li> <li>- Matériaux cuivreux, pièce zinguée ou cadmiée, pièces revêtues de peinture ou de matières plastiques</li> </ul>		
	Fer et acier	Dioxyde d'azote	
<b>Oxycoupage (procédé autogène)</b>	- Formation de fumée et de poussière importante		
	Fer et acier	Poussières alvéolaires Dioxyde d'azote	
<b>Brasage</b>			
	Dépend du type de soudure et du fondant	Poussières alvéolaires Dioxyde d'azote (soudage à la flamme) (Pb, Cd, Cu, Ni, Sn, Zn, aldéhydes, colophane, chlorures, fluorures, etc.)	

**Tableau 1** Procédés de soudage et substances nocives émises

Le tableau 2 présente un résumé des valeurs limites pour les principales substances émises durant le soudage :

Substances	Formule	VME		Valeur calculée sur une courte durée
		ml/m <sup>3</sup> (ppm)	mg/m <sup>3</sup>	
Valeur limite générale d'exposition aux poussières (poussières inertes)			3 a	non
Oxyde d'aluminium – fumée	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3 a	oui
Composés de baryum, solubles	Ba		0,5 e	oui
Plomb et ses composés	Pb		0,1 e	oui
Oxyde de cadmium	CdO		0,002 a	non
Oxyde de calcium	CaO		2 e	oui
Chrome (métal et composés de chrome III)	Cr		0,5 e	non
Composé de chrome (VI)	Cr (VI)		0,05 e	non
Cobalt et combinaisons biodisponibles	Co		0,1 e	non
Oxyde de fer	Fer <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		3 a	non
Formaldéhyde	CH <sub>2</sub> O	0,3	0,37	oui
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	5000	9000	non
Monoxyde de carbone	CO	30	35	oui
Cuivre et ses composés inorganiques	Cu		0,1 e	oui
Manganèse et ses composés inorganiques	Mn		0,5 e	non
Nickel (métal, alliages)	Ni		0,5 e	non
Composés de nickel, insolubles	NiO et autres		0,05 e	non
Ozone	O <sub>3</sub>	0,1	0,2	oui
Phosgène	COCl <sub>2</sub>	0,01	0,41	oui
Dioxyde d'azote	NO <sub>2</sub>	3	6	oui
Monoxyde d'azote	NO	25	30	non
Oxyde de zinc (fumée)	ZnO		3 a	oui
Composés d'étain, inorganique	Sn		2 e	oui

a: poussières alvéolaires  
e: inhalables (voir définition p.12)

**Tableau 2** Liste des principales valeurs limites d'exposition aux postes de travail sur la base de la liste des valeurs limites d'exposition aux postes de travail de la Suva (état: 2013) [réf. 1903]. a (poussières alvéolaires, auparavant poussières fines) = ensemble des particules dans l'air respirable pouvant parvenir jusqu'aux alvéoles pulmonaires; e (poussières inhalables, auparavant poussières totales) = ensemble des particules dans l'air respirable pouvant être inhalées par la bouche et le nez.

### 3. Maladies associées à la substance dangereuse

Le tableau 3 répertorie les principales substances dangereuses produites lors du soudage, avec leurs conséquences possibles pour la santé. Les troubles de la santé peuvent être provoqués aussi bien par la substance elle-même que par un composé (oxydes par exemple), mais le tableau ne fait pas la différence.

Substance	Principaux troubles de santé
Aluminium	Aluminose
Plomb	Effets toxiques sur le sang, le système nerveux, les reins, l'appareil digestif et l'appareil reproducteur

Cadmium	Lésions pulmonaires, pneumopathie toxique (cancer du poumon?)
Chrome (III)	Irritation des muqueuses
Chrome (VI)	Tumeurs des fosses nasales et des sinus, cancer du poumon, sensibilisation (dermite)
Cobalt	Sensibilisation (asthme), pneumonie, alvéolite
Isocyanates	Asthme
Cuivre	Fièvre des métaux, irritation des voies respiratoires
Fluorures	Fluorose, lésions rénales
Fer	Sidérose (poumon des fondeurs), sidérofibrose
Monoxyde de carbone	Atteintes du SNC et de l'appareil cardiovasculaire, asphyxie à concentration élevée, symptômes cardiovasculaires
Magnésium	Fièvre des métaux
Manganèse	Atteintes du SNC, parkinsonisme (manganisme), inflammation des voies respiratoires
Molybdène	Irritation des voies respiratoires
Nickel	Sensibilisation, cancers des voies respiratoires
Ozone	Irritation des voies respiratoires
Phosgène	Irritation des voies respiratoires, œdème pulmonaire
Dioxydes d'azote (gaz nitreux)	Irritation des voies respiratoires, bronchiolite, œdème pulmonaire
Vanadium	Irritation des voies respiratoires
Zinc	Fièvre des métaux, neurotoxicité
Etain	Stannose, neurotoxicité

**Tableau 3** Principales substances dangereuses et problèmes de santé provoqués lors du soudage par ces dernières ou leurs composés

### Fer

La fumée de fer peut irriter les voies respiratoires. Une exposition prolongée et intensive peut conduire à une sidérose ou une sidérofibrose pulmonaire. La **sidérose** pulmonaire est également appelée «poumon des soudeurs». Il s'agit d'une accumulation des particules de fer inhalées, qui se déposent dans les tissus interstitiels et les macrophages, le plus souvent sans provoquer de réaction («tatouage pulmonaire»). On retrouve principalement ces dépôts de fer autour des bronches, des vaisseaux pulmonaires et des ganglions lymphatiques broncho-pulmonaires. A la radiographie, ces dépôts apparaissent comme des opacités disséminées et réticulées ou des ombres ponctuelles ou nodulaires. Les altérations visibles au scanner ressemblent à celles que l'on observe chez les fumeurs. Elles semblent associées à une forte

exposition aux fumées du soudage et deviennent visibles, au plus tôt, au bout d'environ cinq ans d'exposition, tandis que leur fréquence augmente avec les années, principalement si l'activité se prolonge [McMillan].

Si le dépôt d'oxyde de fer s'accompagne d'une fibrose, on parle de **sidérofibrose**. On observe parfois aussi une inflammation associée. Selon l'importance des dépôts, de la fibrose et de l'inflammation, la sidérofibrose est classée en stades I à III selon Müller et Verhoff [Müller]. Les remaniements fibreux sont surtout fréquents en association avec le soudage à l'arc manuel, qui est le procédé produisant les plus fortes émissions. On parle dans ce cas de «poumon des soudeurs à l'arc». La présence d'ozone (pour le soudage des matériaux à base d'aluminium et des aciers inoxydables) ou d'oxydes d'azote (pour le soudage à la flamme) amplifie l'effet fibrosant de la fumée de soudage.

En règle générale, les sidéroses pures n'entraînent pas de diminution de la fonction pulmonaire et ne sont pas ou très peu évolutives. On ne les considère donc pas comme une maladie en tant que telle. En revanche, compte tenu des antécédents professionnels et des résultats cliniques, une sidérofibrose chez un sujet ayant travaillé pendant plusieurs années comme soudeur dans les conditions favorisant l'apparition de la maladie (situations confinées dans des caves, tunnels, conteneurs, réservoirs, etc.) est reconnue comme maladie professionnelle.

## **Manganèse**

Absorbés par inhalation, le manganèse et ses composés inorganiques sont toxiques pour les poumons et le système nerveux central. Au début d'une intoxication par le manganèse, les symptômes prédominants sont l'insomnie, l'instabilité émotionnelle, des troubles de la mémoire, des céphalées et des crampes musculaires ou des effets neurologiques subcliniques, tels qu'une gêne lors du tapotement avec les doigts (mouvement montant et descendant d'un doigt). Au niveau pulmonaire, les poussières contenant du manganèse peuvent provoquer une réaction inflammatoire se manifestant par une bronchite ou une pneumonie.

En cas d'exposition chronique, le manganèse s'accumule dans le tronc cérébral et les ganglions de la base. Il perturbe le système de transmission dopaminergique et provoque des symptômes parkinsoniens (**manganisme**), sans aller toutefois, en règle générale, jusqu'à un syndrome parkinsonien constitué [Racette]. Comme le fer emprunte, en partie, les mêmes voies de transport que le manganèse (transferrine), un taux de fer suffisamment élevé dans le sang pourrait avoir un effet protecteur.

Une méta-analyse publiée en 2009 a examiné le lien entre la concentration de poussières de manganèse et l'ampleur des effets (en l'occurrence sur le résultat du test de tapping), afin de calculer une relation entre dose et effet [Meyer-Baron]. Cette relation a pu être utilisée, par exemple, pour calculer la valeur limite d'exposition. Toutefois, la droite de régression calculée dans cette analyse et sa pente ne permettaient pas d'établir une relation claire entre la concentration en poussières et l'ampleur de l'effet.

En cas d'exposition au manganèse (principalement lors du soudage MAG), la détermination de la concentration de manganèse dans le sang [Plitzko] est l'analyse la plus importante dans le cadre du monitoring biologique. L'étude de Heidelberg sur le manganèse [Lischka] a montré qu'aucun effet neurotoxique n'était à craindre en dessous d'une VBT de 20 µg/l.

### **Nickel**

L'effet toxique le plus fréquemment provoqué par le nickel est la dermatite de contact. Il s'agit d'une sensibilisation retardée (réaction de type IV) qui peut survenir après un contact prolongé avec le métal. Cette sensibilisation affecte 10 à 20 % de la population, et les femmes plus souvent que les hommes.

Dans le cas du soudage toutefois, ce n'est pas le contact avec la peau, mais l'inhalation du métal qui est la plus préoccupante. Le nickel-carbonyle  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ , produit par la réaction du nickel avec le monoxyde de carbone, est particulièrement toxique par cette voie. Son inhalation peut provoquer céphalées, nausées, cyanose, asthénie, fièvre et pneumonie.

L'exposition aux composés de nickel a été associée à une incidence accrue de cancers des fosses nasales, des sinus et du bas appareil respiratoire (y compris le larynx). Il n'y a probablement pas de génotoxicité directe dans ce contexte, ce qui suggère un seuil de concentration en relation avec l'effet cancérigène. Les composés de nickel sont classés parmi les cancérigènes de classe C1 de la liste suisse des valeurs limites d'exposition aux postes de travail, ce qui signifie que leur effet cancérigène chez l'homme est suffisamment démontré par les études. Toutefois, chez l'homme, on trouve des preuves suffisantes selon le CIRC que pour le sulfate, les sulfures et les oxydes de nickel. Le nickel métal a été classé dans la catégorie de cancérigènes C3, ce qui signifie que des expérimentations adéquates sur l'animal ont donné des indices d'effet cancérigène, mais qu'il n'existe pas suffisamment d'informations pour autoriser un avis concluant chez l'homme. La section 4 aborde en détail la question des tumeurs malignes.

### **Chrome**

La fumée dégagée lors du soudage de l'acier inoxydable et d'autres alliages et additifs renfermant du chrome contient du chrome (VI) et du chrome (III). Le chrome (III) est moins préoccupant, du point de vue toxicologique, que le chrome (VI). Ce dernier est corrosif et peut causer des ulcérations chroniques de la cloison nasale et de la peau, ainsi que des réactions cutanées allergiques de type IV ou asthmatiques. Le chrome (VI) entre dans la classe de cancérigènes C1, alors que le chrome (III) et le chrome métal ne sont pas cancérigènes. Le chrome (VI) augmente le risque de cancer du poumon et probablement de cancers des fosses nasales et des sinus, ainsi qu'on l'a observé en particulier chez les ouvriers des ateliers de galvanisation et de chromage et dans la production de chromates et de pigments aux chromates. Une méta-analyse de la relation entre exposition aux composés de chrome (VI) et risque de carcinome bronchique a donné, pour les travailleurs exposés, un indice standardisé

de mortalité (SMR) de 1,41 et de 1,12 après correction pour la consommation de tabac [Cole]. L'existence d'un seuil de concentration fait débat.

### **Plomb**

On utilisait autrefois des peintures et vernis contenant du plomb; ces produits sont aujourd'hui interdits par l'ORRChim, au même titre que leurs équivalents contenant du cadmium. En revanche, on continue à utiliser des brasures au plomb dans certains domaines. Le plomb peut provoquer des troubles nerveux. Si le système nerveux central est affecté, les symptômes peuvent prendre la forme d'un syndrome neurasthénique. Celui-ci ne survient toutefois qu'après une exposition prolongée et à des concentrations élevées. Cette situation ne se présente pratiquement plus aujourd'hui. Si l'exposition se poursuit encore, les symptômes peuvent s'étendre au système nerveux périphérique : c'est le cas par exemple de la «main tombante» induite par le plomb. Les effets toxiques comprennent aussi des anémies avec ponctuations basophiles des érythrocytes, des troubles du métabolisme de la porphyrine avec élévation de l'acide delta-aminolévulique et de la coproporphyrine dans les urines, ou des troubles fonctionnels des tubules rénaux (avec microprotéinurie) et de l'appareil reproducteur [Publication Suva sur le plomb].

### **Cuivre**

Les effets toxiques les plus fréquents du cuivre sont des troubles gastro-intestinaux et des lésions hépatiques faisant suite à l'ingestion de cuivre, par exemple avec des boissons contenues dans des récipients libérant du cuivre.

Dans le cadre du soudage, on observe une irritation des voies respiratoires ou une fièvre des métaux après l'exposition aux fumées de cuivre. Ces troubles prennent la forme de fièvre, de céphalées, de sécheresse de la bouche et de la gorge avec un goût métallique, de nausées et d'essoufflement. La fièvre des métaux débute quelques heures après l'exposition et dure un ou deux jours. Elle est décrite plus précisément dans la section 4.

### **Zinc**

L'oxyde de zinc se forme, par exemple, lors du soudage de métaux galvanisés. Après inhalation, il peut provoquer une fièvre des métaux, comme d'ailleurs d'autres composés de zinc. Au niveau des tissus cérébraux, l'excès de zinc endommage les neurones. En cas d'ingestion, le zinc provoque des troubles gastro-intestinaux (diarrhées), des lésions du pancréas (attaque des cellules bêta ou fibrose) ou une neurotoxicité au niveau du cerveau. Par ailleurs, le zinc inhibe l'absorption du cuivre au niveau intestinal et peut provoquer des carences en cuivre.

### **Etain**

L'étain et ses composés organiques entrent dans la composition de certaines brasures. Ils sont relativement peu toxiques. Leur inhalation chronique peut toutefois entraîner une pneumoconiose bénigne, appelée stannose. En cas d'ingestion, ils peuvent occasionner une inflammation gastro-intestinale aiguë. Quelques composés organiques d'étain (triéthyl- et triméthylétain) sont neurotoxiques et provoquent des encéphalopathies et des œdèmes cérébraux à concentration élevée. Le tributylétain peut causer des irritations ou brûlures cutanées.

### **Cadmium**

Certaines brasures contenaient autrefois du cadmium, mais celui-ci est interdit par l'ORRChim. Sa toxicité dépend du composé en présence : le chlorure, l'oxyde et le carbonate de cadmium sont plus toxiques que le sulfure. L'exposition prolongée au cadmium peut occasionner des pneumopathies obstructives et des néphropathies suivies d'une ostéoporose. L'exposition aux fumées de soudage contenant du cadmium peut causer des inflammations pulmonaires gravissimes. Le cadmium et ses composés entrent dans la classe C2 de la liste suisse des valeurs limites d'exposition aux postes de travail, ce qui signifie qu'ils doivent être considérés comme cancérogènes. Le cadmium est soupçonné d'augmenter le risque de cancer du poumon et pourrait être associé à des cancers du rein et du pancréas.

### **Aluminium**

L'exposition prolongée (plusieurs années) à une forte concentration d'aluminium dans les fumées de soudage peut entraîner une pneumoconiose qui porte le nom d'aluminose. L'aluminium s'est avéré neurotoxique dans les expérimentations animales, provoquant l'accumulation d'enchevêtrements neurofibrillaires dans les neurones; la signification de ces résultats en toxicologie humaine est toutefois incertaine. Les enchevêtrements neurofibrillaires se forment aussi dans la maladie d'Alzheimer, mais il existe trop peu de preuves d'un rôle causal de l'aluminium dans cette forme de démence [Casarett]. Le rôle de l'aluminium dans d'autres troubles cognitifs ne fait pas non plus l'unanimité.

### **Ozone**

L'ozone est produit à partir de l'oxygène par le rayonnement UV de l'arc électrique, par exemple dans le soudage MIG, TIG ou au plasma. Il peut provoquer une sécheresse des muqueuses, des céphalées, mais aussi des inflammations des voies respiratoires inférieures entraînant bronchite, asthme, œdème ou fibrose pulmonaire. Son éventuel effet cancérogène fait débat et les données manquent encore pour émettre un avis concluant. L'ozone est donc classé dans la catégorie de cancérogènes C3 de la liste suisse des valeurs limites d'exposition aux postes de travail.

### **Monoxyde de carbone**

Le monoxyde de carbone résulte de la combustion incomplète des gaz combustibles, des flux et des revêtements. Il provoque céphalées, vertiges et nausées. Inodore, il peut s'accumuler dans les espaces clos jusqu'à provoquer la mort par asphyxie.

### **Oxydes d'azote (gaz nitreux)**

Les oxydes d'azote se forment par oxydation de l'azote de l'air sur les bords de la flamme ou de l'arc électrique. Au-dessus de 1000°C, c'est d'abord du monoxyde d'azote qui se forme, pour s'oxyder en dioxyde d'azote à température ambiante. Comme l'ozone, le dioxyde d'azote peut provoquer une sécheresse des muqueuses, des céphalées, des inflammations des voies respiratoires inférieures, un œdème ou une fibrose pulmonaire.

### **Autres**

Le soudage peut libérer d'autres substances nocives : fluorures, phosgène, vanadium, aldéhydes dégagés par les produits de revêtement, de graissage et de dégraissage, mais aussi isocyanates issus de la dégradation thermique des vernis au polyuréthane. Le sablage arrache à la surface des pièces de la rouille, des dépôts, de la peinture et autres impuretés. Selon la méthode employée, ce travail peut entraîner une exposition aux silicates, également responsables d'inflammations et de fibroses du parenchyme pulmonaire.

## **4. Effets toxiques par systèmes d'organes et tableaux pathologiques**

### **Appareil respiratoire**

D'après une étude du Berufsgenossenschaftliches Forschungsinstitut für Arbeitsmedizin de Bochum, il est rarement possible d'établir une relation de cause à effet générale entre le soudage et une maladie respiratoire [Wieners]. Une évaluation au cas par cas est nécessaire, en tenant compte des antécédents du sujet, de l'examen clinique, des conditions au poste de travail et d'autres facteurs. L'exposition aux fumées du soudage provoque parfois une diminution des paramètres pulmonaires, limitée dans le temps, pendant les journées de travail. Ce déficit semble toutefois se corriger pendant les jours sans exposition [Antonini, Beckett].

L'exposition aux fumées et gaz du soudage (par exemple à l'ozone) peut provoquer des **irritations** des voies respiratoires supérieures et inférieures, qui affectent principalement les soudeurs travaillant les aciers galvanisés ou inoxydables (donc contenant du chrome). Le cadmium peut provoquer des irritations particulièrement sévères.

Le risque de **bronchite chronique**<sup>2</sup> est d'ailleurs particulièrement élevé chez les soudeurs travaillant l'acier galvanisé ou inoxydable. De nouvelles études de grande ampleur (ECRHS II ou RHINE) font apparaître des taux de risque de 1,4 à 2,1, selon les procédés de soudage et l'importance de l'exposition [Lillienberg, Holm]. En outre, la fréquence des bronchites chroniques semble plus élevée parmi les soudeurs qui fument que parmi les fumeurs qui ne souident pas [Tarlo].

En ce qui concerne **l'asthme** chez les soudeurs, les études donnent des résultats contrastés. On ne s'en étonnera pas, étant donné que l'asthme obéit à différents mécanismes et déclencheurs. Plusieurs études semblent néanmoins établir une relation [Bakerly, Banga, El-Zein], et une revue récente classe la fumée de soudage au plus haut niveau de preuve en tant que facteur causal d'asthme ou de BPCO [Baur]. En revanche, l'étude ECRHS II conclut que le soudage n'est pas associé à une prévalence accrue de symptômes asthmatiques [Lillienberg]. Toutefois, cette étude basée sur la population ne portait pas seulement sur les soudeurs, mais aussi sur des travailleurs dont l'occupation principale n'était pas le soudage. Il n'en demeure pas moins qu'un asthme peut se constituer en cas de sensibilité spécifique à une substance (par exemple Cr(VI) ou Ni) contenue dans la fumée de soudage, sous la forme d'un «syndrome réactionnel de dysfonction des voies respiratoires» en cas de très forte exposition de courte durée, et peut-être aussi sous la forme d'un asthme irritatif en cas d'exposition répétée, mais à des concentrations modérées. Si le sujet considéré présente effectivement un asthme, il faut rechercher en particulier une éventuelle sensibilisation au nickel ou au chrome. Au besoin, un test de provocation bronchique spécifique ou une série de mesures du débit expiratoire de pointe sera envisagé.

On sait que certains métaux, tels que le cadmium, peuvent provoquer des pneumopathies obstructives. Aucun lien de cause à effet entre l'exposition à la fumée de soudage et l'apparition d'une **BPCO** n'a cependant pu être démontré, malgré la plausibilité des maigres preuves apportées par plusieurs études. Une nouvelle étude d'ensemble et la méta-analyse d'études longitudinales réalisées auprès de soudeurs ont montré que ceux-ci présentaient bien une plus forte perte annuelle de la fonction pulmonaire que les ouvriers non exposés à la fumée de soudage, mais que cet effet n'était pas statistiquement significatif, et surtout qu'il était plus marqué chez les fumeurs [Szram]. Dans une étude de cohorte publiée la même année en France, l'exposition à la fumée de soudage des travailleurs manuels a été estimée au moyen d'une grille d'exposition. La fonction pulmonaire initiale de ces ouvriers exposés professionnellement à la fumée de soudage était inférieure à celle des travailleurs non exposés. La vitesse de diminution de la fonction pulmonaire était supérieure chez les ouvriers exposés, sans toutefois que cela ne soit significatif ici encore. Cette étude montre toutefois une relation entre exposition et effet en ce qui concerne la baisse du VEMS chez les non-fumeurs

---

<sup>2</sup> La bronchite chronique est un diagnostic clinique, déterminé par la présence d'une toux productive pendant quatre jours ou plus par semaine, sur trois mois ou plus par an et au moins deux années consécutives. La cigarette est le déclencheur le plus fréquent de la bronchite chronique.

[Thaon]. Le tabac est le facteur de risque le plus important dans l'apparition d'une BPCO. De ce fait, il est difficile, voire impossible de faire la part entre l'exposition à la fumée de soudage et à la fumée de cigarette dans la constitution d'une BPCO chez un fumeur. La BPCO est généralement sans gravité chez les sujets qui n'ont jamais fumé de toute leur vie.

L'exposition prolongée et intensive à des fumées et gaz de soudage contenant du fer peut produire le tableau appelé **poumon des soudeurs** ou une pneumoconiose (voir la section «Fer»). Le poumon des soudeurs est une *sidérose*, autrement dit une accumulation des particules de fer qui se déposent dans les tissus interstitiels et les macrophages, sans provoquer de réaction («tatouage pulmonaire»). Un dépôt d'étain se nomme **stannose** tandis qu'une pneumoconiose à l'aluminium est appelée **aluminose**.

Les oxydes d'azote et de cadmium sont également nocifs pour les poumons et peuvent, en cas d'exposition intensive, occasionner une **pneumopathie toxique et un œdème pulmonaire** [par exemple Erkinjuntti ou Wieners]. Des **pneumopathies** consécutives à l'exposition au nickel-carbonyle ont également été décrites.

L'inhalation de fumée de soudage semble avoir un effet sur le système immunitaire. Elle paraît influencer négativement sur la gravité et l'évolution des **infections** des voies respiratoires supérieures et inférieures [Zeidler]. Des études cas-témoins réalisées en Angleterre suggèrent que les soudeurs ont davantage de risques de contracter des inflammations pulmonaires graves et d'en mourir [Palmer]. Une étude fait apparaître, avec une exposition à la fumée de soudage au cours des 12 derniers mois, un risque relatif (OR) de 2,3 (IC 95 %: 1,2-4,3) [Palmer]. Le risque ne semble cependant accru que pour les ouvriers dont l'occupation actuelle est le soudage, et diminue à nouveau lorsque l'activité de soudage cesse.

La question du **cancer du poumon** est abordée ci-après dans la section intitulée «Tumeurs malignes».

### **Systeme nerveux**

Une exposition prolongée à des métaux tels que le manganèse [Lischka, Plitzko, Meyer-Baron] ou le plomb [Pletscher] peut entraîner des déficits neurologiques et neuropsychologiques. L'oxyde de zinc et quelques composés organiques d'étain sont eux aussi neurotoxiques. En revanche, les effets neurotoxiques de l'aluminium chez l'homme sont encore mal définis.

Le manganisme, qui affectait autrefois les soudeurs, a été étudié de façon particulièrement détaillée. Au début d'une intoxication par le manganèse, les symptômes prédominants sont l'insomnie, l'instabilité émotionnelle, des troubles de la mémoire, des céphalées et des crampes musculaires. Des symptômes parkinsoniens peuvent s'y ajouter par la suite, avec la dégradation du système de transmission dopaminergique, en général sans atteindre la gravité d'un syndrome parkinsonien constitué. Les examens neuropsychologiques décrivent, par exemple, des troubles de l'apprentissage verbal, de la mémoire de travail ou encore de la flexibilité cognitive [Bowler].

Bien que les métaux évoqués ci-dessus puissent être présents dans la fumée de soudage, une étude publiée récemment, portant sur 352 soudeurs et 361 plongeurs-soudeurs et traitant de la corrélation entre exposition et effets, n'a démontré aucune neurotoxicité clinique du soudage [Ross].

### **Fièvre des métaux (fièvre des soudeurs, des fondeurs, des braseurs...)**

Certains métaux comme le zinc, le cuivre ou leurs composés (principalement les métaux galvanisés) peuvent provoquer la «fièvre des métaux» ou fièvre des soudeurs [par exemple 20]. Il s'agit d'une réaction inflammatoire de tout l'organisme avec élévation de différents marqueurs inflammatoires (leucocytes, PCR) et baisse du fibrinogène [Kim]. Des études plus anciennes ont montré que jusqu'à un tiers des soudeurs avaient présenté ces symptômes au cours de leur activité professionnelle [McMillan].

Les premiers symptômes sont une irritation nasopharyngée suivie de céphalées et de douleurs musculaires de type grippal, de fièvre, de nausées ou d'une toux irritative. La radiographie pulmonaire ne montre habituellement aucune lésion. Les symptômes disparaissent en un ou deux jours. Il n'est pas rare que l'exposition aux fumées du soudage produise une légère tolérance, qui disparaît à nouveau après quelques jours sans exposition. Les symptômes peuvent ainsi se manifester davantage au début de la semaine de travail puis diminuer au fil des jours, ce qui vaut à la fièvre des métaux le nom de «fièvre du lundi matin» dans le monde anglo-saxon. Il n'y a généralement pas de séquelles à long terme.

### **Tumeurs malignes**

Certaines substances contenues dans la fumée de soudage sont cancérogènes, par exemple le chrome VI ou certains sels de nickel, en particulier les oxydes et sulfures de nickel. Ceux-ci sont classés dans la catégorie C1 (cancérogènes reconnus) dans la liste suisse des valeurs limites d'exposition aux postes de travail. Ils peuvent augmenter le risque de cancer des fosses nasales et des sinus, du pharynx ou des voies respiratoires inférieures [Balindt, Grimsrud, IIW, Moulin]. L'effet cancérogène du cadmium, également présent dans la fumée de soudage, n'est pas complètement élucidé; il est donc classé dans la catégorie de cancérogènes C2 de la liste suisse des valeurs limites d'exposition aux postes de travail. L'existence d'une inflammation chronique du parenchyme pulmonaire et la production de radicaux libres pourraient également favoriser l'apparition de cancers lors de l'exposition à la fumée de soudage [Tarlo].

Selon la dernière méta-analyse en date, le risque de cancer du poumon chez les soudeurs est augmenté d'un facteur 1,26 par rapport à la population générale [Ambroise]. Ce risque accru pourrait être lié principalement aux composés de chrome (VI) et aux sels de nickel présents dans la fumée, bien que cette étude ne le démontre pas directement. Le risque lié uniquement aux composés de chrome (VI), exprimé par l'indice standardisé de mortalité (SMR), est de 1,41, ou 1,12 après correction pour tenir compte du tabagisme [Cole]. Aucun rapport de

risque n'est connu pour les sels de nickel, qui augmentent également le risque de cancer du poumon.

Le nickel et les composés de chrome (VI) étant inclus dans la liste prévue à l'art. 9, al. 1, LAA, il faut que la contribution de l'un de ces deux métaux à l'apparition d'un cancer du poumon soit d'au moins 50 %. Cela correspond à un risque relatif de 2, qui n'est pas atteint dans l'état actuel des connaissances. De ce fait, un cancer du poumon faisant suite à une exposition au nickel ou aux composés de chrome (VI) n'est généralement pas considéré comme une maladie professionnelle. Toutefois, chaque cas doit être examiné individuellement, en tenant compte des antécédents professionnels (utilisation de fils de soudure, durée d'arc/temps de déclenchement), des examens cliniques, des conditions au poste de travail (échantillonnage individuel ou mesures de l'air ambiant par exemple) et d'autres facteurs (par exemple syncarcinogenèse en relation avec l'amiante). Il faut en outre tenir compte du temps de latence des tumeurs solides du poumon, qui varie entre un minimum de 10 ans et un maximum de 50 ans [HSL]

### **Yeux**

Les arcs électriques et les flammes du soudage produisent des rayonnements lumineux dans la plage allant de l'infrarouge à l'ultraviolet, dont l'intensité dépend entre autres du procédé, du gaz protecteur et du matériau travaillé. Ils peuvent endommager la cornée en l'absence de mesures de protection ou par réflexion. Ce risque ne concerne pas seulement le soudeur, mais aussi les personnes se trouvant à proximité. Les ultraviolets peuvent provoquer une inflammation de la conjonctive et de la cornée (kératoconjunctivite photoélectrique). Ce «coup d'arc» survient quelques heures après le travail et disparaît sans séquelles, en l'absence d'exposition, un à deux jours plus tard. Le rayonnement infrarouge produit par le soudage peut provoquer des lésions induites par la chaleur.

Des lésions des yeux peuvent également survenir en cas d'exposition directe, sans protection, à des gaz, fumées, étincelles et autres.

### **Peau**

Les ultraviolets produits par le soudage à l'arc et la flamme de soudage peuvent provoquer une dermatite («coup de soleil») sur les zones de peau non protégées, par exemple le cou ou les avant-bras. Des remaniements chroniques de l'épiderme ont également été rapportés après plusieurs années de soudage. Pour plus d'informations sur les lésions cutanées provoquées par les UV, voir la publication de la Suva «Les dermatoses professionnelles» [Rast].

Les étincelles, scories, pièces métalliques incandescentes, mais aussi les explosions et les incendies peuvent occasionner des brûlures, en particulier aux mains et au visage.

Un eczéma peut survenir suite au développement d'allergies aux substances utilisées au travail (par exemple par contact avec les lubrifiants réfrigérants) et en cas de nettoyages fréquents des mains.

## **Vibrations**

Les ouvriers effectuant des travaux de soudage utilisent souvent aussi des appareils vibrants pour le nettoyage ou le ponçage des pièces [Parizek]. L'utilisation prolongée de ces appareils peut entraîner des troubles de la sensibilité et de la circulation au niveau des doigts («maladie des doigts blancs» ou syndrome de Raynaud).

## **Ouïe**

Selon le procédé, la pièce ou les paramètres électriques, le soudage peut être un travail très bruyant, dépassant le niveau d'exposition au bruit  $L_{EX}$  de 85 dB(A) fixé dans la liste suisse des valeurs limites d'exposition aux postes de travail [Ladou]. C'est en particulier le cas lors de la découpe au plasma, d'oxycoupage au chalumeau et du chauffage à la flamme. Il est nécessaire également de prendre en compte la présence d'autres sources de bruit aux postes de travail voisins pour le niveau sonore ambiant. Pour en savoir plus sur l'estimation de l'exposition au bruit au poste de travail, voir les tableaux des niveaux sonores de la Suva et [extra.suva.ch](http://extra.suva.ch) (mot-clé «bruit»).

## **Champs électromagnétiques**

Le soudage électrique produit des champs électriques et magnétiques. En termes de risques pour la santé, les champs électriques sont négligeables du fait de leur tension relativement faible. En revanche, les champs magnétiques peuvent être importants à cause de l'intensité électrique élevée. Les procédés de soudage à l'arc (MIG, MAG et TIG) et le soudage par points en particulier font appel à des courants de haute intensité (jusqu'à 750 A). Les champs magnétiques produisent des courants dans le corps humain parce qu'ils agissent sur les molécules chargées électriquement. Les effets indésirables directs des champs magnétiques intenses démontrés scientifiquement comprennent des phénomènes d'irritation des cellules musculaires et nerveuses ou encore des phosphènes rétiens (perceptions lumineuses subjectives, provoquées par la stimulation électrique des cellules rétiniennes). Comme autre effet important pour la pratique de la médecine du travail, ces champs perturbent le fonctionnement des stimulateurs cardiaques, des défibrillateurs internes, des neurostimulateurs et autres implants actifs.

Afin d'éviter ces phénomènes de stimulation directe, la Suva a fixé des valeurs limites aux postes de travail pour les champs électromagnétiques [Gube], basées sur les niveaux de référence définis et régulièrement vérifiés par l'ICNIRP (Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants). Une perturbation du fonctionnement des implants médicaux actifs reste toutefois possible même si les valeurs limites aux postes de travail sont respectées. Les paramètres d'efficacité des implants actifs (notamment le seuil de déclenchement électrique) étant adaptés individuellement aux besoins de chaque patient, il n'est pas judicieux de définir un concept général de valeur limite pour la protection des porteurs

d'implants. Au lieu de cela, il conviendra de procéder à une analyse individuelle des risques au poste de travail en cas de doute. L'exposition aux champs magnétiques étant définie comme un «danger particulier» selon l'annexe I de la directive 6508 de la CFST, l'employeur doit faire intervenir dans ce cas les médecins du travail et autres spécialistes de la sécurité au travail. La norme SN EN 50527-1:2010 définit la procédure d'évaluation d'une exposition possible aux champs magnétiques des porteurs d'implants actifs. La norme SN EN 50527-2.1 est la sous-norme portant sur l'évaluation des porteurs de stimulateurs cardiaques. La norme internationale EN 50505 est la norme internationale spécifique concernant l'évaluation de l'exposition des personnes aux champs électriques et magnétiques aux postes de travail de soudage.

Afin de réduire l'exposition aux champs magnétiques lors du soudage, les mesures pratiques suivantes peuvent être mises en œuvre :

- Utiliser la plus faible intensité électrique possible
- Augmenter la distance entre l'ouvrier et les câbles/la source d'alimentation électrique du soudage
- Veiller à la disposition des câbles de soudage : câbles aller et retour le plus près possible l'un de l'autre
- Prendre des mesures d'isolation
- Eviter autant que possible de porter les câbles de soudage au corps ou par-dessus l'épaule
- Déterminer et marquer les zones dangereuses dans l'entreprise et définir des restrictions d'accès aux porteurs d'implants
- Pour les postes de travail mobiles, fournir des informations détaillées aux porteurs d'implants.

### **Appareil reproducteur**

Il semble qu'une baisse de la qualité des spermatozoïdes en fonction de la dose, pouvant entraîner des troubles de la fertilité, puisse se produire lors du soudage, en particulier avec les aciers fortement alliés [OSHA, Rom, CIRC].

### **Appareil locomoteur**

Le travail de soudage est en grande partie statique. Selon l'équipement, il faut tenir en même temps la torche et l'écran de protection. L'ouvrier doit parfois soulever des pièces lourdes. Les problèmes ergonomiques dépendent aussi de la taille des pièces à souder : pour les petites pièces fabriquées en série, on peut utiliser un établi; pour les grosses pièces en revanche, il est rare qu'il existe des postes de travail ergonomiques. Le travail dans un espace restreint et au-dessus de la hauteur de la tête crée également des situations défavorables, avec des postures forcées. Le procédé de soudage employé influe lui aussi sur les efforts imposés à l'appareil locomoteur. Ainsi, pour le soudage avec des électrodes enrobées, il faut changer

d'électrode toutes les 2 minutes environ, ce qui oblige le soudeur à bouger un tant soit peu. Dans d'autres procédés (MIG/MAG) en revanche, on peut travailler plus longtemps sur la pièce et les contraintes statiques sont donc plus importantes.

## **5. Prévention en médecine du travail et biomonitoring**

Protéger les travailleurs des substances dangereuses pour la santé au poste de travail passe en priorité par des mesures d'hygiène au travail, qui peuvent être complétées par une prévention en médecine du travail, selon la situation [DGUV].

### **Mesures d'hygiène au travail**

Les mesures d'hygiène au travail doivent être planifiées et réalisées selon le principe «STOP» : S (mesures de substitution), T (mesures techniques), O (mesures d'organisation), P (mesures au niveau du personnel). Ce principe est expliqué en détail dans la publication «Soudage et coupage» de la Suva.

### **Prévention en médecine du travail**

La prévention en médecine du travail, au sens de l'ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles (OPA), a pour but principal d'identifier les travailleurs présentant des facteurs de risque individuels et par conséquent un risque de maladie professionnelle accru, de déceler les maladies professionnelles à leurs débuts et de reconnaître les sollicitations et expositions internes inadmissibles avant qu'une maladie professionnelle ne se déclare, à l'aide d'examens de prévention, comme le biomonitoring.

Les travailleurs à risque particulier sont assujettis à la prévention en médecine du travail par une décision de la Suva. En ce qui concerne les soudeurs, la Suva demande des examens préventifs en médecine du travail si l'évaluation des risques fait apparaître des risques particuliers, spécialement en cas de dépassement des valeurs limites d'exposition ou lors d'expositions spécifiques. Des paramètres biologiques sont mesurés dans le sang ou les urines afin de déceler une éventuelle exposition interne inadmissible des soudeurs (voir Biomonitoring).

### **Biomonitoring**

Par monitoring biologique, on entend la quantification de l'exposition d'un travailleur à une substance chimique par la mesure de cette substance dans un substrat biologique comme le sang, l'urine ou l'air expiré, ou par la mesure de métabolites ou encore d'un paramètre propre à l'organisme qui soit modifié par cette substance [Jost, Liste des valeurs limites d'exposition aux postes de travail]. Les valeurs mesurées sont comparées aux VBT (valeur biologique tolérable) figurant dans la liste des valeurs limites d'exposition. Le monitoring biologique permet

par conséquent d'apprécier la charge interne due à une substance, ou une mise à l'épreuve correspondant à la réaction de l'organisme à la substance en cause (sur la base d'une relation dose-effet entre la concentration de la substance dans l'air ambiant et son effet au niveau de l'organe cible). Le monitoring biologique prend en compte toutes les voies d'absorption d'une substance, c'est-à-dire non seulement l'inhalation, mais aussi l'absorption par voie digestive et transcutanée.

Comme les concentrations dans les substrats biologiques mentionnés sont influencées par différents facteurs, il n'existe pas toujours une bonne corrélation entre les mesures dans l'air ambiant et les valeurs biologiques. Ainsi, l'absorption par inhalation peut varier selon le volume ventilatoire minute, celle par la peau dépend de la qualité de la protection cutanée. Le métabolisme varie en fonction de la situation, et en cas de longue demi-vie d'élimination, une substance peut s'accumuler dans l'organisme (body burden) et être redistribuée par les tissus un certain temps encore après l'exposition. Des interactions avec d'autres solvants ou substances influencent par ailleurs la toxicodynamie et la toxicocinétique. Lors du monitoring biologique, les facteurs d'influence doivent impérativement être identifiés par une anamnèse détaillée et pris en compte dans l'appréciation.

Il existe des VBT pour les substances suivantes, auxquelles les travailleurs peuvent être exposés pendant le soudage :

Substance	Paramètre biologique	VBT	Substrat	Moment du prélèvement
Aluminium	Aluminium	60 µg/g de créatinine	Urine	a
Plomb	Plomb	Hommes: 400 µg/l Femmes >45 ans: 400 µg/l Femmes <45 ans: 100 µg/l	Sang	b
Composés fluorés inorganiques	Fluorure	7 mg/g de créatinine	Urine	b
		4 mg/g de créatinine	Urine	d
Cadmium	Cadmium	5 µg/g de créatinine	Urine	a
Cobalt	Cobalt	30 µg/l	Urine	b
Monoxyde de carbone	CO-Hb	5 %	Sang	b
Manganèse	Manganèse	20 µg/l	Plasma/sérum	b
Nickel	Nickel	45 µg/l	Urine	c, b
Composés de nickel insolubles	Nickel	10 µg/l	Urine	c, b
Sels de nickel solubles	Nickel	40 µg/l	Urine	c, b

**Tableau 4** Valeurs biologiques tolérables (VBT) de quelques substances produites lors du soudage [Liste des valeurs limites d'exposition aux postes de travail 2013]; a: indifférent, b: fin de l'exposition ou de la période de travail, c: exposition de longue durée, après plusieurs périodes de travail, d: avant la reprise du travail

## 6. Bases légales de la reconnaissance des maladies professionnelles

Les maladies résultant de l'exercice de l'activité professionnelle de soudeur sont reconnues comme maladies professionnelles par la Suva selon les dispositions légales de la LAA (loi sur l'assurance-accidents), dans la mesure où une relation de cause à effet prépondérante selon les critères de l'art. 9, al. 1 et 2 LAA est établie. Si la substance en question figure dans la liste des substances nocives de l'annexe 1 OLAA, une maladie est reconnue comme maladie professionnelle si elle est due de manière prépondérante à l'exposition à cette substance au cours de l'activité professionnelle (LAA, art. 9, al. 1). Si la substance ne figure pas dans cette liste, le problème de santé doit avoir été causé exclusivement ou de manière nettement prépondérante par l'exercice de l'activité professionnelle avec cette substance pour être reconnu comme maladie professionnelle (LAA, art. 9, al. 2). Les prestations en cas de reconnaissance d'une maladie professionnelle sont les mêmes qu'en cas d'accident, dans la mesure où les maladies professionnelles sont assimilées à un accident professionnel de par la loi (LAA art. 9, al. 3).

## 7. Bibliographie

Ambroise D. et al.: Update of a meta-analysis on lung cancer and welding; *Scand J Work Environ Health* 2006; 32 (1): 22 - 31.

Antonini J. M. et al.: Pulmonary effects of welding fumes: review of worker and experimental animal studies. *Am J Ind Med* 2003; 43 (4): 350 -360.

Bakerly N. D. et al.: Fifteen-year trends in occupational asthma: data from the Shield surveillance scheme; *Occup Med* 2008; 58 (3): 169-174.

Bakerly N. D. et al.: Fifteen-year trends in occupational asthma: data from the Shield surveillance scheme; *Occup Med* 2008; 58 (3): 169-174.

Balindt P.: Lungenkrebsrisiko durch berufliche Exposition gegenüber Nickel und seinen Verbindungen. Inaugural-Dissertation. Hohe Medizinische Fakultät der Ruhr-Universität Bochum (2009).

Banga A. et al.: A study of characteristics of Michigan workers with work-related asthma exposed to welding; *J Occup Environ Med* 2011; 53 (4): 415-419.

BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): TRGS (Technische Regel für Gefahrstoffe) Merkblatt Nr. 528: «Schweisstechnische Arbeiten» (2009).

BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin): TRGS (Technische Regel für Gefahrstoffe) Merkblatt zur Berufskrankheit Nummer 4115 «Lungenfibrose durch extreme und langjährige Einwirkung von Schweissrauchen und Schweissgasen - (Siderofibrose)» (Bek. des BMAS vom 30.12.2009).

Baur X. et al.: Bronchial asthma and COPD due to irritants in the workplace - an evidence-based approach; *J Occup Med Tox* 2012; 7 (19): 1 - 31.

Beckett W. S. et al.: Airway reactivity in welders: a controlled prospective cohort study. *J Occup Environ Med* 1996, 38 (12): 1229 - 1238.

Blättler M. A.: Coupage et soudage. Protection contre les fumées, poussières, gaz et vapeurs. Suva. Réf. 44053 (2012).

Bowler R. M. et al.: Neuropsychological sequelae of exposure to welding fumes in a group of occupationally exposed men; *Int J Hyg Environ Health* 2003; 206: 517-529.

Casarett & Doull's Toxicology, Seventh Edition, Curtis D. Klaassen (2008).

CFST (Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail): Directive n° 6509 «Soudage, coupage et techniques connexes appliqués à l'usinage des matériaux métalliques» (1999).

CIRC (Centre international de recherche sur le cancer): IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Chromium, Nickel and Welding. Volume 49. 1990: 447 - 525.

Cole P., Rodu B.: Epidemiologic studies of chrome and cancer mortality: a series of meta-analyses; *Regul Toxicol Pharmacol* 2005; 43: 225-231.

DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung: Information, Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G39 «Schweisstrauche», BGI/GUV-I 504-39 Juni (2009).

El-Zein M. et al.: Prevalence and association of welding related systemic and respiratory symptoms in welders; *Occup Environ Med* 2003; 60 (9): 655-661.

Erkinjuntti-Pekkanen Riitta et al.: Two year follow-up of pulmonary function values among welders in New Zealand; *Occup Environ Med* 1999; 56: 328-333.

Grimsrud T. K. et al.: Exposure to different forms of nickel and risk of lung cancer; *Am J Epidemiol* 2002; 156: 1123-1132.

Gube M. et al.: Experimental exposure of healthy subjects with emissions from a gas metal arc welding process – part II: biomonitoring of chromium and nickel. *Int Arch Occup Environ Health* 2013; 86: 31 - 37.

Hakansson N. et al.: Arc and resistance welding and tumours of the endocrine glands: a Swedish case-control study with focus on extremely low frequency magnetic fields; *Occup Environ Med* 2005; 62: 304-308

Holm M. et al.: Incidence and prevalence of chronic bronchitis. Impact of smoking and welding. The RHINE study; *Int J Tuberc Lung Dis* 2012; 16 (4): 553-557.

HSL (Health and Safety Laboratory): Annex 2 - Draft Statement of Evidence - Health effects arising from inhalation exposure to welding fume. 1 - 10 (2009).

IIW (International Institute of Welding), Commission VIII - Health, Safety and Environment: Lung cancer and arc welding of steels 2001; 55: 12 - 20.

Jost M. et Pletscher, C.: Monitoring biologique et valeurs biologiques tolérables. Suva Medical 2009; 80:32-42.

Kim J. Y. et al.: Exposure to welding fumes is associated with acute systemic inflammatory response; Occup Environ Med 2005; 62: 157-163.

Koller M. et al.: Risques pour la santé dus au soudage. Factsheet Suva.

Ladou J.: Current Occupational & Environmental Medicine. Fourth Edition. McGraw Hill (2007).

Lillienberg L. et al.: A Population-based Study on Welding Exposures at Work and Respiratory Symptoms; Ann Occup Hyg 2008; 52 (2): 107-115.

Lischka K. et al.: Heidelberger Mangan-Studie Follow-up. Forschungsprojekt F 1858 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (2007).

McMillan G. in: Hendrick David J. et al.: Occupational Disorders of the Lung. Recognition, Management, and Prevention. Elsevier Science 2002: 467 - 482.

Meyer-Baron M. et al: Performance alterations associated with occupational exposure to manganese - a meta-analysis; Neurotoxicology 2009; 30: 487 - 496.

Moulin J. J. et al.: A meta-analysis of epidemiologic studies of lung cancer in welders; Scand J Work Environ Health 1997; 23: 104 - 113.

Müller K.-M., Verhoff M. A.: Graduierung der Sideropneumokoniosen; Pneumologie 2000; 54: 315 - 317.

Nordberg G. F. et al.: Handbook on the toxicology of metals, third edition, Academic Press (2007).

OSHA (Occupational and Health Administration): Occupational Safety and Health Guideline for Welding Fumes. <http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/weldingfumes/recognition.html> (accessed on 17th Jan 2013).

Palmer K. T. et al.: Exposure to metal fume and infectious pneumonia. Am J Epidemiol 2003; 157 (3): 227 - 233.

Palmer K. T. et al.: Mortality from infectious pneumonia in metal workers: a comparison with deaths from asthma in occupations exposed to respiratory sensitizers. Thorax 2009. 64 (11): 983 - 986.

Parizek M.: Troubles de santé dus aux vibrations. Suva. Réf. 2869/16 (1998).

Pesch B. et al.: WELDOX - Metallbelastungen beim Schweißen und deren gesundheitliche Auswirkungen. IPA-Journal 2011; 2: 12 - 17.

Pletscher C., Liechti B.: Plomb et risques professionnels. Suva. Réf. 2869/06 (2007).

Plitzko S. et al.: Qualitative und quantitative Erfassung von Schweißrauchen als Grundlage für die Bewertung der inneren Manganbelastung (Biomonitoring); Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 2006; 66: 25.

Racette B.: Exposure to manganese and parkinsonism - epidemiological evidence. Vortrag am International Symposium «Exposure to Manganese and Neurotoxicity in Welders», IPA Bochum, 09.05.2012.

Rast H.: Les dermatoses professionnelles. Suva. Réf. 2869/11 (2009).

Rom W. M.: Environmental & Occupational Medicine. Third Edition. Lippincott-Raven Publishers (1998).

Ross J. A. S. et al.: Cognitive Symptoms and Welding Fume Exposure. Ann Occup Hyg 2013; 57(1): 26-33.

Suva: Valeurs limites d'exposition aux postes de travail. (réf. 1903.f)

Szram J. et al.: Welding, longitudinal lung function decline and chronic respiratory symptoms: a systematic review of cohort studies. Eur Respir J 2012; Epub ahead of print.

Tarlo S. M. et al.: Occupational and environmental lung diseases. Wiley-Blackwell (2010).

Thaon I. et al.: Increased lung function decline in blue-collar workers exposed to welding fumes. Chest 2012; 142 (1): 192 - 199.

Triebig G. et al.: Arbeitsmedizin. 3. vollständig neubearbeitete Auflage. Gentner-Verlag (2011).

Wieners D. et al.: Epidemiologische und klinische Untersuchungen akuter und chronischer obstruktiver Atemwegserkrankungen durch Schweissgase und -rauche; Zblatt Arbeitsmed 2000; 50 (2): 46 - 64.

Wieners D. et al.: Inhalative Belastungen durch Schweissverfahren; Zblatt Arbeitsmed 2000; 50: 38 - 44.

Zeidler-Erdely P. C. et al.: Immunotoxicology of arc welding fume: worker and experimental animal studies. J Immunotoxicol 2012; 9 (4): 411 - 425.