

**DETERMINATION DE
L'EXPOSITION AUX FUMÉES DE
SOUDURE LORS DU SOUDAGE DE
L'ACIER INOXYDABLE**

Août 2005

**Laboratoire de toxicologie industrielle de la
Direction générale Contrôle du bien-être au travail**

La rédaction de cette brochure a été terminée le 1 août 2005

Rédaction : Laboratoire de toxicologie industrielle

Couverture : Sylvie Peeters

Impression : Service offset

Editeur responsable : SPF Emploi, Travail et Concertation sociale

Dépôt légal : D/2005/1205/

Remerciements

En premier lieu notre gratitude va vers les soudeurs qui ont porté les appareils de prélèvement, les conseillers en prévention et les responsables d'ateliers qui ont aidé à l'organisation pratique des mesurages.

Les membres du personnel du Laboratoire de toxicologie industrielle suivants ont apporté une contribution importante à cette recherche : Linda Wouters (pour les premières enquêtes), Harry Ackermans, Jean-Paul Barbieux, Claude Bourdauduc, Gianpaolo Vona et Roger Grosjean.

L'aide de monsieur Alain Pluinage pour une partie de la traduction de ce texte a été fortement appréciée.

Des informations complémentaires sur cette campagne peuvent être obtenues auprès de Roger Grosjean, conseiller au Laboratoire de toxicologie industrielle ; (tél. : 02 208 37 79; e-mail : roger.grosjean@meta.fgov.be)

Introduction

Le soudage est une activité dont on peut difficilement faire abstraction dans une société développée. Non seulement l'industrie et le monde de la construction, mais également les services, la logistique (les moyens de transport) et le logement ont besoin de cette technique.

Dans la société moderne, les besoins en machines, outils et installations en matériaux de première qualité s'intensifient: les industries alimentaires, pharmaceutiques et chimiques, les réservoirs pour le transport et le stockage de marchandises, les techniques de ventilation, l'industrie et la construction, les bureaux. L'acier inoxydable est un représentant important de tout cela.

Ces matériaux doivent répondre à des exigences de plus en plus pointues quant à la sécurité, à l'hygiène, à la résistance à la corrosion, et à l'esthétique.

Le travail de matériaux en acier inoxydable s'accompagne de certains risques.

De 2002 à mi-2005, le Laboratoire de toxicologie industrielle de la Direction générale Contrôle du bien-être au travail a effectué des mesurages dans huit entreprises pour lesquelles le soudage de l'acier inoxydable constitue une activité importante.

Le choix de ces entreprises s'est fait en concertation avec la Division du contrôle de base de la Direction générale Contrôle du bien-être au travail.

Le mobile de cette campagne était la réglementation concernant les agents carcinogènes ainsi que repris dans le Chapitre II du Titre V du Code sur le bien-être au travail. Certains agents tombent individuellement ou comme procédé sous cette réglementation.

Le demandeur des mesurages (la Division du contrôle de base) a reçu un rapport circonstancié de celles-ci. Une copie de ce rapport a été transmise au conseiller en prévention qui en a fait part aux travailleurs concernés et au Comité pour la Prévention et la protection au travail. Si requis, le rapport a été commenté lors de la réunion de ce comité.

Ce rapport récapitulatif esquisse une image des expositions auxquelles on doit s'attendre, des risques, de la technique de mesurage, des mesures préventives.

A côté du soudage de l'inox proprement dit, quelques thèmes apparentés sont aussi abordés: le soudage d'alliages spéciaux, le soudage d'acier revêtu de peinture antirouille, l'exposition aux poussières provenant du polissage ou du ponçage.

Table des matières

<i>Introduction</i>	3
<i>Remerciements</i>	2
<i>Table des matières</i>	5
1. Soudage et brasage	7
2. Description succincte des risques pour la santé	8
3. Techniques de mesurage	9
4. Résultats des mesurages	11
4.1 Particules de soudure (par gravimétrie)	12
4.2 Composés du chrome VI dans les fumées de soudure	12
4.3 Fumées de soudure (soudage sur l'acier contenant du carbone) (détermination gravimétrique)	13
4.4 Poussière de polissage (par gravimétrie)	15
4.5 Métaux	16
5. Autres constatations durant la campagne	17
5.1 Analyse des risques	17
5.2 Utilisation de peinture de fond avec du chromate de zinc	18
5.3 Electrodes et produit de brasage contenant du cadmium.	18
5.4 Electrodes de soudure à base du thorium	18
6. Hiérarchie des mesures préventives durant le soudage	18
7. Recommandations	19
<i>Annexe 1</i>	21
<i>Annexe 2</i>	23
<i>Annexe 3 : Photos des appareils de prélèvement</i>	25
<i>Annexe 4 : Littérature</i>	27
<i>Summary in English</i>	29

1. Soudage et brasage

On peut définir le soudage comme l'assemblage de métaux à l'aide de chaleur avec ou non l'emploi simultané de pression. Dans la plupart des cas, le cordon est formé en chauffant le matériau de base jusqu'au moins la température à laquelle il se fluidifie (température de fusion). Le brasage se différencie du soudage du fait que la brasure (le matériau d'apport) est chauffée jusqu'à une température inférieure au point de fusion du matériau de base.

Durant le soudage et les procédures apparentées, quatre sources d'agents de pollution de l'air peuvent être identifiées :

1. le matériau de base de la pièce;
2. le revêtement de ce matériau (pour autant qu'il y en ait un, une couche de peinture antirouille, par exemple);
3. le matériau d'apport (l'électrode par exemple);
4. l'air ambiant.

La composition du matériau peut varier.

L'acier inoxydable peut contenir de 10 à 20% de chrome, jusqu'à 20% de nickel, autour d'1% de manganèse, jusqu'à 3% de molybdène et d'éventuels éléments en concentration plus faible tels que le niobium, le titane, le cuivre et l'aluminium. Dans notre campagne de mesurages se trouvait également une entreprise où des matériaux étaient soudés avec des alliages spéciaux (donc pas d'acier inoxydable au sens strict du terme).

Dans les baguettes de soudure enrobées, le noyau métallique de l'électrode a une composition semblable à celle du métal de la pièce.

Le revêtement du matériau n'est pas entièrement consommé durant le procédé de soudage mais transformé en fumée.

Des revêtements "non-intentionnels" (de la graisse, de la saleté, etc...) sont également transformés en fumée durant le procédé de soudage. Cette fumée peut dans certains cas être extrêmement irritante.

La fumée est une suspension de substances solides dans l'air découlant de procédés thermiques et/ou chimiques.

L'air ambiant peut contribuer à la formation de substances polluantes par réaction de l'azote présent (79%) avec l'oxygène avec formation d'oxydes d'azote (NO puis NO₂). L'oxygène peut souvent se révéler indésirable là où des matériaux doivent être joints l'un à l'autre. Différentes techniques de soudage aident à la protection de la pièce de l'air ambiant. On utilise par exemple pour cela de l'argon et du CO₂.

Pour le soudage de l'inox, les techniques TIG et MIG sont généralement employées.

Le procédé de soudage est chaque fois mentionné dans le rapport par entreprise.

Pour la découpe de tôles ou de semblables opérations, il est parfois fait appel au chalumeau plasma. C'est un procédé hautement automatisé duquel les travailleurs ne doivent qu'occasionnellement s'approcher et duquel ils restent largement éloignés de la torche.

La pollution de l'air peut être répertoriée en d'une part, la pollution par les gaz et, d'autre part, la pollution par les particules.

Les polluants gazeux les plus importants sont le monoxyde d'azote NO, le dioxyde d'azote NO₂ et l'ozone O₃.

La fumée de soudure est une suspension de particules extrêmement fines dans un courant d'air chaud. La composition des particules dépend essentiellement du matériau à souder et des électrodes (dont la composition est en rapport avec le premier).

Durant cette enquête, seules les pollutions dues aux particules ont été mesurées.

Cette limitation est essentiellement pragmatique: étant donné que le choix avait été fait pour la prise d'échantillon personnelle et des gradients importants de concentration lors du soudage, il était pratiquement impossible de mesurer simultanément la pollution par les gaz et les particules auprès du même travailleur. La pose correcte de l'appareil d'échantillonnage pour les particules est déjà souvent en soi-même suffisamment difficile. Le placement de détecteurs de gaz et d'un porte-filtre pour les particules dans la zone respiratoire pour plusieurs travailleurs n'est pas concevable dans un environnement industriel.

Il ressort également de la littérature que l'exposition à l'ozone est généralement peu importante lors du soudage de l'acier inoxydable, comparée par exemple, au soudage MIG de l'aluminium.

Les particules des émanations de soudage sont des aérosols de condensation: de très petites particules faisant fonction de noyaux de condensation qui coalescent ensuite pour former des chaînes. Le résultat final en est des particules tombant entièrement dans le domaine des particules respirables.

En fonction des exigences fixées pour le produit final, suit ou non après le soudage proprement dit un travail de finition sous forme de polissage. Les particules engendrées par ce procédé sont des « poussières » de dimensions bien plus importantes que les « fumées » de soudure.

2. Description succincte des risques pour la santé

L'irritation des yeux et de la peau sont les effets aigus les plus connus pour la santé lors du soudage.

Il y a à côté de cela un risque de dégradation de la vue à cause du rayonnement UV et dans certains cas de dégradation de l'ouïe (mais cela est certainement en rapport avec les autres activités du travail du métal).

La " fièvre des fondeurs " (symptômes fiévreux et grippaux à la fin de la journée de travail avec une nette amélioration le lendemain matin) apparaît surtout lors du soudage du zinc et n'est pas ici prise en considération.

Les effets chroniques se situent surtout au niveau des voies respiratoires : réduction de la fonction pulmonaire, l'emphysème pulmonaire, la bronchite chronique.

Les composés du chrome VI sont classifiés comme sensibilisants. Le Centre de Recherche Internationale sur le Cancer, le CIRC a classé le soudage dans le groupe 2B.

(Evaluation: évidence limitée de l'action carcinogène pour l'homme des fumées et gaz de soudure. Evidance non établie de l'action carcinogène des fumées de soudure auprès d'animaux cobayes.

Evaluation globale: les fumées de soudure sont peut-être cancérigènes pour l'homme).

Les fumées de soudure contiennent un certain nombre d'agents classés en catégorie 1 ou 2 des substances cancérigènes de l'Union Européenne: oxydes de nickel, composés hexavalents du chrome.

De sorte que le soudage de l'acier inoxydable tombe sous la coupe des dispositions du Chapitre II du Titre V du Code sur le bien-être au travail (agents carcinogènes).

Ces dernières années, une attention particulière a été accordée aux symptômes neurologiques causés par l'exposition au manganèse¹. Le manganèse est présent dans un nombre impressionnant d'alliages (pas seulement dans l'acier inoxydable).

3. Techniques de mesurage

Un mesurage consiste en la prise d'échantillon, l'analyse et le calcul du résultat.

Le but du mesurage est ici de déterminer l'exposition à la fumée de soudure. Il faut pour cela prendre l'échantillon dans la zone respiratoire. Lors de l'emploi d'un casque ou d'un masque de soudage, la zone respiratoire lorsque ceux-ci sont abaissés, est séparée du reste du milieu environnant.

Afin de pouvoir déterminer l'exposition par inhalation, il faut que le porte-filtre se trouve sous le masque de soudage. C'est d'ailleurs là que le soudeur inhale l'air. L'approche la plus pratique consiste en la pose d'une connexion rigide entre le porte-filtre (un tubage en cuivre, par exemple) et la tuyauterie d'aspiration reliant le porte-filtre à la pompe. La connexion peut être fixée à l'aide d'un œillet sur la charnière se trouvant à l'intérieur du masque de soudage.

Cela a été la façon initiale de travailler. Il semble cependant très difficile, même au sein d'une même entreprise, de trouver deux masques de soudage identiques de telle façon que dans la plupart des cas, la connexion au masque de soudage a été fixée à l'aide de ruban adhésif.

¹ Voir par exemple: Racette e.a. Prevalence of parkinsonism and relationship to exposure in a large sample of Alabama welders, *Neurology* 2005; 64: 230-235

Lorsque le soudeur relève son masque, le support de filtre reste dans la zone respiratoire. Pour des raisons pratiques, le soudeur doit, durant la prise d'échantillons, garder son masque sur la tête. Il peut à sa guise en fonction de son travail relever ou abaisser son masque.

Dans le cas où une fermeture sous forme d'une bavette est fixée au masque (obturant l'ouverture entre la figure et le masque), il faut ici veiller à ce que le porte-filtre soit toujours dans la zone de respiration. On trouve de tels dispositifs auprès des masques ventilés : des unités de filtration se trouvent à la ceinture. L'air épuré est amené au masque par une conduite et réparti au-dessus du visage par une sorte de rideau d'air. On constate souvent que le masque ne reste fermé qu'en position abaissée durant le soudage proprement dit et que lors du redressement de l'air ambiant non filtré est de nouveau inhalé.

Les différents cas sont illustrés au moyen des photos en annexe 3.

Pour les soudeurs utilisant un écran manuel, le porte-filtre est fixé au col.

Pour les polisseurs, le porte-filtre est fixé au col ou dans certains cas, dans la zone de respiration d'un casque ventilé (avec apport d'air filtré). Dans certains cas, la concentration mesurée ne correspond pas à une exposition par inhalation du fait du port d'une protection respiratoire. Cela est alors chaque fois indiqué de façon explicite dans le rapport transmis au demandeur de l'enquête.

Etant donné que la fraction biologique pertinente est la fraction inhalable selon la EN 481, un porte-filtre pour l'échantillonnage de cette fraction a été employé à chaque fois. Ce furent des porte-filtres du type IOM et CIS (tant de 25 que de 37 mm de diamètre). Pour les polisseurs, des "button samplers" ont parfois été utilisés, étant de par leur conception aptes à tenir au maximum à l'extérieur des grosses particules volantes (à haute vitesse initiale suite aux forces mécaniques importantes).

Pour une illustration des porte-filtres et leur montage, se référer à l'annexe 3.

Le choix du matériau filtrant est essentiellement déterminé par l'analyse que l'on désire exécuter. Pour des déterminations gravimétriques, il s'agit d'un filtre en fibres de verre.

Le même filtre est utilisé pour la détermination des composés hexavalents du chrome. Afin de prévenir la réduction vers le Cr III, il faut employer un filtre en fibres de verre sans liant. (Le désavantage de ces filtres est qu'ils sont fragiles et qu'ils doivent être manipulés avec beaucoup de prudence pour éviter tout endommagement).

Les filtres en fibres de verre sont moins appropriés à la détermination d'éléments. Il faut pour cela utiliser des filtres à membrane qui sont ensuite mis en solution.

L'utilisation d'un même filtre pour toutes les déterminations n'est par conséquent pas possible. Même si un compromis peut être envisageable en ce qui concerne le choix du matériau du filtre, une analyse des différentes portions de tels filtres devrait poser la question de l'homogénéité du dépôt des particules sur ceux-ci. Il est à priori évident qu'il faille douter d'un dépôt homogène.

Il en ressort dans la pratique que par soudeur (ou par fonction), deux filtres sont utilisés, l'un en fibres de verre, l'autre à membrane. Dans la mesure du possible, on essaie d'obtenir des activités analogues pour les deux filtres. Pour les soudeurs-monteurs pour lesquels le soudage ne représente qu'une partie de leur activité, ce n'est vraisemblablement pas toujours le cas.

Les différents filtres sont pris à un autre moment de la journée de travail ou un autre jour.

Pour les détails de l'analyse, se référer à l'annexe 2.

4. Résultats des mesurages

Les concentrations mesurées sont représentatives de l'exposition par inhalation au long d'une journée de travail normale. La durée de prélèvement s'étale généralement sur quelques heures. Lors d'interruptions plus longues de l'exposition, telles que les pauses repas, l'appareil est déconnecté et enlevé.

Egalement dans les situations où le casque de soudage peut être considéré comme une véritable protection respiratoire (apport d'air filtré dans le casque, pourvu ou non d'une bavette, pour permettre l'évacuation de la surpression) le prélèvement a été effectué sous le casque. Les résultats de ce type de mesurage n'étaient pas meilleurs d'une façon spectaculaire comparé à ceux des casques ordinaires. Il n'est pas clair que cela soit dû au matériel utilisé (filtration insuffisante) ou à une utilisation inappropriée.

Les résultats concernent aussi bien des « soudeurs » que des « soudeurs-monteurs ». Ces derniers consacrent beaucoup de temps aux travaux préparatoires : assemblage et adaptation des pièces, mesurages, collaboration avec des collègues à d'autres pièces.

A la longue, la durée du soudage proprement dite est le facteur déterminant le plus important pour le niveau d'exposition. Même dans une entreprise avec des soudeurs avec aucune autre tâche, le temps de soudage effectif n'était que de 30 %. Un autre élément important est la superficie sur laquelle on soude : comparez un cordon épais sur une distance importante au soudage « en pointe » d'un filet mécanique.

L'image concernant l'aspiration locale est très variée: sur des postes fixes l'on voit fréquemment une aspiration locale. L'utilisation en est très diverse : certains travailleurs l'utilisent de façon conséquente, d'autres pas (« trop difficile », pas assez efficace ?)

Auprès de grandes structures ou constructions, où il faut souder sur de grandes distances ou à des endroits difficilement accessibles (à l'intérieur de citernes, réacteurs, etc.) une aspiration locale manque très souvent.

4.1 *Particules de soudure (par gravimétrie)*

Récapitulation

	Etendue en mg par m ³	Nombre d'échantillons	Moyenne arithmétique
Particules inhalables provenant du soudage sur l'acier inoxydable (par gravimétrie)	0,1 - 14,2	43	2,9

Le filtre en fibre de verre a été pesé avant et après l'exposition. Pour le calibrage et la vérification du bon fonctionnement de la balance on utilise des poids calibrés. La concentration de la masse de fumées de soudure est déterminée par la division de la masse collectée par le volume aspiré.

La concentration la plus importante a été mesurée auprès d'un soudeur avec un écran à main dans un environnement avec des travaux de soudage intensifs sans aspiration locale.

La valeur limite d'exposition est de 5 mg par m³. Cette valeur limite générale doit être utilisée avec les valeurs limites spécifiques pour les éléments concernés (le chrome, le nickel, le manganèse, ...)

4.2 *Composés du chrome VI dans les fumées de soudure*

Récapitulation

	Etendue en µg par m ³	Nombre d'échantillons	Moyenne arithmétique
Composés hexavalents du chrome dans des particules inhalables provenant des travaux de soudage de l'acier inoxydable.	< 0,16-17	47	4

Le tableau contient également quelques résultats provenant de polisseurs.

Les filtres utilisés pour la détermination gravimétrique des fumées de soudure sont extraits avec un mélange de NaOH et Na₂CO₃ dans un bain à ultrasons chauffé. Après un traitement supplémentaire la concentration en chrome VI est déterminée par colorimétrie avec de la diphénylcarbazide. Pour de plus amples détails voir l'annexe 2.

Dans la liste des valeurs limites d'exposition une différence est faite entre les composés solubles et insolubles du chrome VI.

Aussi longtemps qu'il s'agit de composés bien définis qui sont présents eux seuls (tels que le chromate de zinc, le chromate de strontium, le chromate de baryum, le chromate de plomb) une détermination séparée est possible.

La fumée de soudure par contre, est un mélange très complexe de nombreux composés et en absence d'une définition opérationnelle de ce que l'on entend par "composés solubles", un problème d'ordre pratique subsiste. L'extraction des composés du Cr VI avec de l'eau mène très rapidement à la réduction en composés du Cr III.

Pour éviter cette ambiguïté il est fortement recommandé d'exprimer cette valeur limite comme composés « extractibles ». (Les composés « non extractibles » sont de toute façon indéterminables).

La méthode d'extraction alcaline décrite est très efficace et extrait même les composés du chrome VI à partir d'un « composé insoluble » tel que le chromate de zinc.

Composés solubles dans l'eau du Cr VI (non classés ailleurs) 50 µg/m³ (il serait préférable d'écrire : composés extractibles du Cr VI).

Composés insolubles dans l'eau du Cr VI (non classés ailleurs) 10 µg par m³.

Le 4 octobre 2004 la « Occupational Safety and Health Administration » OSHA des Etats Unis a publié au « Federal Register » une proposition d'une nouvelle réglementation prévoyant notamment la réduction de la valeur limite d'exposition (Permissible Exposure Level PEL) à 1 µg de composés hexavalents de chrome par m³ (comme valeur pondérée sur huit heures). Cette proposition est actuellement à l'enquête publique.

Afin de garantir la fiabilité et de valider la méthode utilisée il est fait usage du matériel de référence certifié CRM 545 (du BCR): Cr (VI) and « total leachable Cr in welding dust loaded on a filter ». (Disponible auprès du Joint Research Centre – Institute for Reference Materials and Measurements IRMM à Geel). Sur base de ce matériel de référence et des comparaisons inter-laboratoires l'incertitude de mesurage peut être fixée à moins de 10 %.

Même dans le cas où l'on utiliserait la valeur limite 10 µg par m³ les dépassements de cette valeur limite se font plutôt rares.

La poussière de polissage ne contient pratiquement pas de Cr VI. Il est concevable que dans certains ateliers, le Cr VI dans la poussière collectée provienne d'activités de soudage dans les environs.

4.3 Fumées de soudure (soudage sur l'acier contenant du carbone) (détermination gravimétrique)

Dans une entreprise où des mesurages avaient lieu, de l'acier contenant du carbone était soudé. Cet acier avait été recouvert préalablement d'une couche de peinture antirouille sur base de chromate de zinc.

Une question qui se pose est : que se passe-t-il avec le chromate de zinc durant le procédé de soudage ? Le chromate de zinc est une substance cancérigène très puissante. Il est à noter que le nom « chromate de zinc » est utilisé pour des composés plus complexes tels que chromate de zinc potassique, tetraoxychromate de zinc, chromate basique de zinc potassique.

Des mesurages comparatifs ont été effectués lors du soudage sur des structures traitées ou non traitées avec de la peinture antirouille.

Des mesurages ont été également effectués avec un impacteur de cascade Marple. Le mesurage stationnaire donnait comme résultat 3 mg par m³. Pratiquement l'entièreté de la masse était concentrée dans la fraction inférieure à 5 µm.

Récapitulation

	Etendue en mg par m ³	Nombre d'échantillons	Moyenne arithmétique
Particules inhalables provenant des travaux de soudage sur l'acier de carbone	0,8 - 15,0	14	8,5

Bien que les concentrations les plus importantes aient été mesurées pendant le soudage sur des structures traitées avec une peinture de fond, les expositions durant le soudage d'acier nu dépassent fréquemment la valeur limite de 5 mg par m³.

Une fois de plus, il a été démontré que des travailleurs qui à première vue effectuent les mêmes tâches (travaux de soudage à la même structure, les mêmes matériaux etc..) peuvent avoir une exposition très différente de fait de leur façon de travailler, leur position etc..

La concentration en Cr VI a été déterminée sur un nombre des ces échantillons avec la méthode décrite au préalable.

Récapitulation

	Etendue en µg par m ³	Nombre d'échantillons	Moyenne arithmétique
Composés hexavalents dans des particules inhalables provenant du soudage sur la peinture de fond contenant du chromate de zinc.	2-5	2	3,5

Ces résultats démontrent que le chromate de zinc est transformé quasi totalement durant le procédé de soudage.

Afin de déterminer la nature des produits de pyrolyse quelques échantillons ont été pris sur des filtres en polycarbonate pour analyse directe à la diffraction aux rayons X.

Le diffractogramme permet de conclure que le produit de transformation du chromate de zinc est l'oxyde chromique de zinc : $ZnCr_2O_4$, un composé trivalent très insoluble du chrome.

4.4 Poussière de polissage (par gravimétrie)

En fonction des exigences aux produits finis une série de traitements peuvent suivre le travail de soudage. Lorsque le cordon doit être lisse il doit être poli. Ce travail est effectué dans la plupart des cas par des salariés qui ne soudent pas.

Il va de soi qu'il peut s'agir d'une activité très poussiéreuse.

Souvent on utilise une aspiration locale et des moyens de protection personnelle (par exemple des masques jetables FFP2 et FFP). Ceux-ci ont un facteur théorique de protection de 10 et 50 respectivement. Un problème avec ces masques est parfois le manque d'étanchéité avec le visage (ouverture en dessous du menton avec comme conséquence une protection diminuée).

Dans quelques cas on utilisait un casque ventilé avec apport d'air filtré. Dans ces situations le tube en cuivre a été remplacé par un tube aspirateur de salive pour le prélèvement avec un porte-filtre de 25 mm (button sampler). Avec une telle configuration le porte-filtre touche parfois la joue du travailleur mais cela n'a pas été jugé comme gênant.

Récapitulation

	Etendue en mg par m ³	Nombre d'échantillons	Moyenne arithmétique
Particules inhalables provenant du polissage	0,33- 44	5	20

Lorsque l'on regarde ces résultats il faut se rendre compte qu'ils ne correspondent pas nécessairement à des concentrations auxquelles des travailleurs ont été exposés (par exemple porte-filtre au col et port de masque anti-poussière).

Le polissage dans des espaces enfermés (réacteurs, citernes, etc..) donne bien évidemment lieu à la formation de hautes concentrations de poussière et c'est souvent là qu'il est le plus difficile de prendre de mesures préventives.

La question qui se pose est quelle est la valeur limite à appliquer.

Une valeur limite qui ne dépasse pas la valeur limite générale pour la fumée de soudure est certainement justifiée. Théoriquement il est possible de calculer sur la base de la composition élémentaire du matériau.

Il est crucial de se souvenir que la distribution de la taille des particules de la poussière de polissage diffère de façon fondamentale de celle des fumées de soudure puisque dans le premier cas une fraction très importante (exprimée en masse) de la fraction inhalable est représentée par la fraction extra thoracale avec une déposition significative dans le nez (chrome !).

Dans le cas où on utiliserait un porte-filtre inapproprié (par exemple une cassette en matière plastique pour les "poussières totales") une sous estimation du risque pourrait se faire par ces mesurages en comparaison avec un porte-filtre IOM ou CIS. (facteur 2 à 4).

4.5 Métaux

La composition élémentaire des particules collectées sur le filtre est déterminée par spectrométrie d'absorption atomique AAS après la mise en solution du filtre.

La mise en solution de la fumée de soudure collectée sur le filtre est un processus très critique : l'utilisation d'un acide inapproprié implique une mise en solution incomplète ou la redéposition des éléments après la mise en solution. Les phases différentes de l'échauffement sont également critiques : l'évaporation à sec, les éclaboussures ou la formation de composés métalliques volatils pouvant provoquer d'importantes pertes. Dans certains cas, ces pertes peuvent être limitées par l'utilisation de récipients fermés dans un four à micro-ondes spécial. Il est fortement conseillé de consulter les méthodes ISO et OSHA repris dans la liste de littérature pour l'analyse de tels filtres.

La phase dominante dans la fumée de soudure possède une structure de spinelle.

Cette structure peut être présentée de façon générale par la formule : AB_2O_4 où A peut être le cobalt, le fer, le manganèse et le zinc et B l'aluminium, le chrome, le cobalt et le fer.²

Cette structure de spinelle est très stable et résiste à des acides très forts.

Vu le fait que l'absorption atomique soit une technique mono élément (détermination séquentielle élément par élément avec chaque fois la lampe appropriée, consommation du liquide avec l'échantillon) une sélection des éléments à doser a été faite sur la base de la composition. Pour tous les échantillons le chrome, le nickel et le manganèse ont été déterminés. Le fer a été déterminé pour certains dossiers et repris dans les rapports spécifiques. Puisque le fer n'a pas été déterminé de façon systématique il n'est pas repris dans ce rapport récapitulatif. Le molybdène qui est souvent présent n'a été déterminé pour aucun échantillon.

Récapitulation

Élément	Etendue en μg par m^3	Nombre d'échantillons	Moyenne arithmétique
Chrome (total) Cr	1-400	38	88
Manganèse Mn	0,25-319	38	82
Nickel Ni	0,1-380	38	100

² O.Butler, A. Howe, Development of an international standard for the determination of metals and metalloids in workplace air using ICP-AES: evaluation of sample dissolution procedures through an interlaboratory trial J. Environm.Monit. , 1999, **1**, 23-32

Les valeurs limites d'exposition sont reprises à l'annexe I au Chapitre I du Titre V du Codex du Bien Etre au Travail.

- Chrome (métal) et composés inorganiques (à l'exception de composés de Cr VI) : 500 µg/m³. (en Cr)
- Nickel (composés insolubles): 1000 µg/m³ (en Ni). Le nickel élémentaire et les oxydes de nickel sont insolubles.
- Le manganèse et ses composés: 200 µg/m³ (en Mn).

Il est assez remarquable que pour aucun de ces échantillons les valeurs limites ne soient dépassés pour le chrome total et le nickel.

Par contre, on constate régulièrement des dépassements de la valeur limite pour le manganèse.

Puisque le manganèse est très fréquemment présent dans différents types d'alliages on peut partir du fait que des dépassements de la valeur limite pour le manganèse ne sont certainement pas exceptionnels durant le soudage de l'acier de carbone. Ceci est un point qui mérite certainement l'attention requise.

Pour assurer que le laboratoire fournisse des résultats fiables pour ces actes, il participe au schéma de compétence WASP (Workplace Analysis Scheme for Proficiency du Health and Safety Laboratory) pour les métaux sur filtre, dont des échantillons de fumées de soudure.

Pour les déterminations par AAS en général il est également fait usage de filtres de référence du National Institute of Occupational Health en Norvège.

5. Autres constatations durant la campagne

En général l'on a pu constater un grand intérêt pour nos mesurages.

Ceci était surtout le cas auprès des travailleurs mêmes et les conseillers en prévention : ils étaient très intéressés par les résultats, étaient prêts à bien collaborer et disposés à accepter de petits désagréments (placement du matériel de prélèvement à l'intérieur du casque de soudage, port du casque durant toute la durée du prélèvement).

5.1 Analyse des risques

Comme il a pu être constaté également durant les campagnes de l'ancienne inspection médicale (solvants, styrène, chlorure de méthylène) il s'est avéré que, bien que requise par la réglementation, l'analyse des risques manque souvent.

« L'analyse des risques » se limite très souvent à une simple description des activités, et dans les meilleurs cas, des matériaux utilisés.

Des mesurages de l'exposition sont rares et, dans les cas où ils existent, pas répétés.

Néanmoins, des mesurages sont souvent un élément essentiel pour pouvoir contrôler l'efficacité des mesures préventives.

5.2 Utilisation de peinture de fond avec du chromate de zinc

Des matériaux qui ne sont pas en acier inoxydable sont traités souvent contre la rouille.

Malgré l'attention portée à la hiérarchie de mesures préventives il s'avère que l'on utilise encore toujours des peintures antirouille à base de chromate de zinc.

Une justification donnée pour l'utilisation de cet agent cancérigène puissant est ses propriétés antirouille excellentes. Les alternatives ne seraient pas en mesure de répondre aux exigences toujours croissantes, notamment au niveau de la durée de la garantie.

Le soudage de matériaux qui porte l'une ou l'autre forme de couverture (également sans chromate de zinc) comme une peinture, une feuille protectrice, de la graisse ou une autre saleté donne toujours des problèmes. La pyrolyse de matériaux organiques provoque un dégagement de fumées et des produits de décomposition irritants.

5.3 Electrodes et produit de brasage contenant du cadmium.

Le "brasage d'argent" semble parfois encore contenir du cadmium. Des alternatives sans cadmium existent. Dans une entreprise où des mesurages furent effectués une simple lettre de mise en demeure était suffisante pour remplacer immédiatement ce produit de brasage.

Le changement de matériaux et techniques familiers vers des techniques nouvelles demande parfois une période de transition longue et difficile.

5.4 Electrodes de soudure à base du thorium

Lors du soudage TIG on utilise parfois des électrodes à base de thorium.

Une exposition est possible au ^{232}Th , ^{230}Th et ^{228}Th durant le soudage mais surtout durant la taille des électrodes.

Une bonne aspiration locale est nécessaire durant ces travaux.³

6. Hiérarchie des mesures préventives durant le soudage

Les mesures qui doivent réduire l'exposition aux agents chimiques sont structurées de façon hiérarchique.

D'abord il doit être vérifié si l'utilisation d'une substance dangereuse est bien nécessaire. Les risques lors du soudage de l'acier inoxydable ne sont pas directement liés au matériau tel quel (qui n'est pas classé comme dangereux) mais par les agents qui se forment d'une façon involontaire.

³ T. Ludwig, D.Schwaß, G. Seitz, H. Siekmann Intake of thorium while using thoriated tungsten electrodes for TIG welding Health Phys. 77 (4) 462-469 (1999)

La composition des matériaux utilisés, par exemple les électrodes et les matériaux de brasage, doit être soigneusement vérifiée. Des substances dangereuses telles que le cadmium doivent être le plus possible évitées.

Le soudage de matériaux recouverts doit être le plus possible évité par des mesures organisationnelles.

La prochaine étape de la prévention est l'isolation du risque, concrètement l'utilisation d'une aspiration locale. L'aspiration locale, pour autant qu'elle soit présente, n'est pas toujours utilisée et dans certains cas des doutes existent sur son efficacité. L'aménagement d'une aspiration locale ne pose pas, en général, de trop gros problèmes.

Auprès de grandes constructions avec des positions variant de façon continue et des endroits difficilement accessibles avec de l'espace restreint pour le soudeur, la réalisation pratique n'est souvent pas évidente.

Il est clair qu'il existe des opportunités pour l'innovation et la créativité dans ce domaine pour proposer des solutions concrètes.

Une prochaine étape est la ventilation générale. Des considérations au niveau de la conservation de l'énergie sont parfois en conflit avec une bonne ventilation générale.

Le casque de soudage semble en pratique pouvoir éviter l'inhalation directe du plumet de fumée et réalise une importante réduction de l'inhalation.

Le casque en soi n'est pas une protection respiratoire sauf dans le cas où de l'air filtré serait distribué dans le casque, une situation peu rencontrée dans les entreprises. Il est clair qu'ici de l'innovation et de l'amélioration sont possibles. Des casques de soudage encombrants posent de gros problèmes dans des endroits confinés.

Une autre mesure importante est la réduction du nombre de travailleurs exposés. En général, le soudage et la construction métallique se font dans de gros ateliers. L'envergure et la configuration du lieu de travail doivent pouvoir abriter de grosses pièces. Il est parfois impossible dans la pratique d'isoler les soudeurs de leurs collègues effectuant d'autres tâches.

L'évaluation de l'exposition au moyen de prélèvements personnels doit enfin prouver que les mesures préventives réalisées sont effectives.

7. Recommandations

Une fois de plus il s'est avéré qu'il n'y a pratiquement pas de mesurages de l'exposition.

A côté de l'aspect réglementaire (l'évaluation de l'exposition est obligatoire) il y a une dimension éthique : on ignore les concentrations d'agents chimiques dangereux auxquelles les travailleurs sont réellement exposés.

Une approche pratique simple consiste à déterminer l'exposition dans la zone respiratoire (dans le casque s'il est utilisé) aux particules inhalables par gravimétrie. (Une telle détermination est facilement accessible : voir la liste des laboratoires agréés sur le site internet du SPF Emploi, Travail et Concertation sociale : www.meta.fgov.be , module « Listes »).

Dès que l'exposition en particules inhalables dépasse les 2 mg par m³ un mesurage de la concentration en manganèse s'impose pour vérifier si l'on ne dépasse pas la valeur limite de 200 µg de manganèse par m³.

(Bien que cette campagne était orientée vers l'acier inoxydable cette recommandation est probablement également valable pour l'acier normal avec une concentration comparable en manganèse).

Un dépassement de la valeur limite pour le chrome total, le chrome hexavalent, le nickel, (et bien entendu le fer) est improbable aussi longtemps que la concentration en fumée de soudure ne dépasse les 5 mg par m³. Cette thèse est valable pour l'acier inoxydable normal. Si les concentrations en nickel et chrome sont plus importantes ces éléments peuvent être présents dans des concentrations plus importantes dans la fumée de soudure.

Les valeurs limites doivent être formulées d'une telle façon qu'elles soient vérifiables en pratique.

La formulation actuelle pour les composés de chrome hexavalents solubles et insolubles est confuse, équivoque et pas pratique pour des matrices complexes telles que les fumées de soudure. Il serait plus clair et plus pratique d'écrire : « composés hexavalents extractibles – avec spécification du solvant- du chrome ».

Annexe 1

Terminologie

La Fumée est une suspension de substances solides dans l'air qui se forme lors de procédés thermiques ou chimiques.

La Poussière est une suspension de substances solides dans l'air qui se forme lors de procédés mécaniques ou une turbulence (par exemple remise en suspension de poussière déjà sédimentée).

Le Brouillard est une suspension de liquides dans l'air formée par la condensation ou la dispersion.

Le Diamètre aérodynamique d'une particule est le diamètre d'une sphère de masse volumique 1 g.cm^{-3} possédant la même vitesse terminale de chute dans l'air calme liée à la gravité que celle de la particule, dans les mêmes conditions de température, de pression et de d'humidité relative.

Pour les particules de diamètre aérodynamique inférieur à $0,5 \mu\text{m}$, il convient d'utiliser le diamètre de diffusion à la place du diamètre aérodynamique. Dans la définition reprise ci-dessus les mots " vitesse terminale de chute ...liée à la gravité" sont remplacés par "le coefficient de diffusion «

(Note : tous les diamètres repris dans ce texte se rapportent au diamètre aérodynamique, sauf avis contraire)

TIG signifie **Tungsten Inert Gas**. Arc entre une électrode en tungstène non fusible et la pièce de travail sous gaz protecteur (argon avec éventuellement quelques pourcents d'oxygène).

MIG signifie **Metal Inert Gas**. Un arc se forme entre le fil massif ou rempli apporté de façon continu et la pièce de travail. Gaz protecteur : hélium ou argon.

IARC **I**nternational **A**gency for **R**esearch on **C**ancer, en français, **CIRC** **C**entre **I**nternational de **R**echerche sur le **C**ancer

Annexe 2

A. Spécifications concernant le prélèvement

-Fumées de soudure et poussières de polissage (mesurée comme particules inhalables)

L'air ambiant est aspiré à travers un filtre en fibre de verre (Gelman Sciences type A/E) placé dans un porte-filtre du type IOM (Institute of Occupational Medicine) ou un porte-filtre du type CIS (Conical Inhalable Sampler). Pour le porte-filtre IOM on utilise un débit d'aspiration de 2 l/min , pour le porte-filtre CIS le débit est réglé d'une telle façon que la vitesse à l'entrée du porte-filtre soit de 1,25 m/s.

Pour le mesurage de l'exposition à la poussière de polissage on utilise un Button sampler (SKC).

Les porte-filtres et les débits utilisés réalisent la collection de la fraction inhalable (ceci est la fraction qui peut pénétrer la tête en respirant par le nez et la bouche) selon la EN 481.

- Métaux (Cr total, Mn, Fe et Ni)

L'air ambiant est aspiré à travers un filtre à membrane Millipore AAWP avec un diamètre de 25 ou 37 mm et une porosité de 0,8 µm, placé dans un porte-filtre IOM ou CIS.

B. Spécifications concernant l'analyse

- Détermination gravimétrique

La quantité de particules sur le filtre est déterminée de façon gravimétrique (balance : Sartorius R 200 D): le filtre est pesé avant et après l'exposition. La justesse de la balance est déterminée avec des poids de calibration.

Chrome VI

Les filtres utilisés pour la détermination par gravimétrie sont également utilisés pour la détermination du Cr VI.

Chaque filtre est traité avec un mélange de NaOH et Na₂CO₃, durant 30 min dans un bain à ultrasons, chauffé à 70°C. Ce mélange est centrifugé par après durant 10 min à 2500 tours par minute. La solution ainsi obtenue est analysée par colorimétrie après l'ajout de la diphénylcarbazine. La quantification se fait par comparaison avec des solutions standards obtenus par des sels de chromate de potassium de Merck. La méthode utilisée est une adaptation de la méthode NIOSH 7600. La méthode originale NIOSH utilise des filtres en PVC. Des recherches ont démontré que ces filtres ne sont pas appropriés parce qu'ils réduisent le Cr(VI) en Cr(III).

Métaux (Cr total, Mn , Fe et Ni)

Le filtre est placé dans un bêcher de 50 ml. On y ajoute 2 ml d'acide sulfurique (98 % m/m; dilué une fois) et plusieurs gouttes d'eau oxygénée (30 % m/m). Le bêcher est chauffé durant 10 minutes sur une plaque chauffante à 140 °C . Après cela, la température est augmentée jusqu'à 200 °C, des fumées blanches de trioxyde de soufre se forment, jusqu'à ce qu'il ne reste plus qu'environ un ml d'acide. Après le refroidissement on ajoute 5 ml d'acide chlorhydrique concentré (36 % m/m) et la solution est de nouveau chauffée jusqu'à presque ébullition. La procédure décrite est celle de l'annexe E de la méthode ISO 15202-2.

La solution obtenue est analysée après dilution par spectrométrie d'absorption atomique (GBC 906 AA à la flamme).

La quantification se fait par comparaison avec des solutions standard, préparées à partir de solutions standard Fixanal.

Note: pour les premiers dossiers les filtres étaient mis en solution durant 2 heures à 140 °C dans 65 % d'acide nitrique. Une étude comparative, consistant notamment à questionner les participants au WASP (Workplace Analysis Scheme for Proficiency du Health and Safety Laboratory de HSE), a montré que des sous-estimations importantes des contenus en nickel et en chrome dues à une mise en solution incomplète de leurs composés complexes peuvent se produire.

Annexe 3 : Photos des appareils de prélèvement



Porte-filtre IOM (profil)



Button sampler (de front)



Masque rabattu



Port-filtres CIS , Button et IOM

Annexe 4 : Littérature

Arbete och Hälsa 1991: 2 Arbets Miljö Institutet S 171 84 Solna B. Sjögren, U Ulvarson: Welding gases and fumes.

R. Fairfax, M. Blotzer : TLVs Soluble and Insoluble Compounds Appl. Occup. Environ. Hyg 9 (10) 683-686 (1994)

K. Ashley : International Standard Procedure for the Extraction of metal compounds Having Soluble Threshold Limit Values. Appl. Occup. Environ. Hyg 16 (9) 850-853(2001)

OSHA ID-125G ; Metal and metalloid particulates in workplace atmospheres (ICP analysis)

ISO 15202-2 : Workplace air – Determination of metals and metalloids in airborne particulate matter by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry – Part 2: Sample preparation ISO 2001

National Institute for Occupational Safety and Health NIOSH Manual of Analytical Methods Method 7600 Chromium, Hexavalent (1994)

EN 481 Workplace atmospheres - Size fraction definitions for measurement of airborne particles CEN Brussel

Summary in English

Measurements of occupational exposure from stainless steel welding

The laboratory for industrial toxicology of the Federal Public Service Employment, Labour and Social Dialogue (formerly Ministry of Labour) performed measurements in 8 workshops in Belgium where welding of stainless steel is an important part of their activity.

A summary report of these measurements is presented here. (For each workshop a detailed report was sent to the local inspector who provided a copy to interested parties (management, workers and their representatives).

Sampling was performed inside the welding helmets, i.e. inside the breathing zone.

Filter holders used were the IOM, CIS and button samplers (polishers).

Glass fiber filters were used for the gravimetric determinations and hexavalent chromium analysis (modified NIOSH method 7600).

Following results were obtained.

Gravimetric determinations

	Range in mg per m ³	Number of samples	Arithmetic mean
Inhalable particulate matter from stainless steel welding (gravimetric determination)	0,1 - 14,2	43	2,9

Limit value welding fume: 5 mg per m³.
The other more specific limit values apply too.

Hexavalent chromium

	Range in µg per m ³	Number of samples	Arithmetic mean
Hexavalent chromium compounds in inhalable particulate matter from stainless steel welding.	< 0,16-17	47	4

The limit value is : 50 µg per m³.

Membrane filters were used for sampling the fume for the determination of nickel, total chromium, manganese and iron. Sample dissolution was performed according annex E of ISO 15202-2. Analysis was performed with flame atomic absorption spectrometry.

Elements in welding fume

Element	Range in $\mu\text{g per m}^3$	Number of samples	Arithmetic mean
Chromium (total) Cr	1-400	38	88
Manganese Mn	0,25-319	38	82
Nickel Ni	0,1-380	38	100

Surprisingly, no exposure above the limit value occurs for nickel (nickel and insoluble compounds: $1000 \mu\text{g per m}^3$) and for chromium (chromium metal and inorganic compounds –except Cr VI -: $500 \mu\text{g per m}^3$). In contrast, several measurements exceed the limit value for manganese ($200 \mu\text{g per m}^3$).

Some measurements were carried out with polishers and grinders with the use of button samplers.

Not all results in the table correspond to personal exposures (use of respiratory equipment).

Polishing and grinding dust

	Range in mg per m^3	Number of samples	Arithmetic mean
Inhalable particulate matter from polishing and grinding dust (gravimetric)	0,33- 44	5	20

Some measurements were performed during welding on carbon steel structures, some of them coated with a zinc chromate primer.

Welding on carbon steel (coated with a zinc chromate primer)

	Range in mg per m^3	Number of samples	Arithmetic mean
Inhalable particulate matter from welding on carbon steel (sometimes coated with a zinc chromate primer - gravimetric)	0,8 - 15,0	14	8,5

Some other experiences during (the preparation of -) the measurements were:

- Few exposure measurements are carried out by employers or external prevention services;
- Local exhaust ventilation is not always present or used adequately;
- In general the exposure measurements by the government laboratory were warmly welcomed by both the workers and management. Cooperation was in general very good.
- Hierarchy of preventive measures is not always applied rigorously : e.g. presence of cadmium in silver solder, welding on coated structures.

A general recommendation is that preventive measures should be assessed by exposure measurements, which are easily accessible: gravimetric determinations of the inhalable fraction in the breathing zone.

If these measurements show exposures above 2 mg per m³ an elemental analysis is required to exclude an overexposure to manganese (above 200 µg per m³).

Although this campaign was directed towards stainless steel welding this recommendation probably also applies to welding of carbon steel containing the same concentration of manganese.