

PRINCIPAUX PROCÉDÉS DE SOUDAGE

Description, démarche d'évaluation et de prévention des risques

<i>DIFFERENTS PROCÉDES DE SOUDAGE</i>	2
INTRODUCTION	2
SOUDAGE AU GAZ OU AU CHALUMEAU	6
Soudage oxyacétylénique	6
Brasage	8
Soudobrasage	9
SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE	10
Soudage manuel à l'arc électrique avec électrode enrobée	12
Soudage à l'arc électrique, procédé TIG, «Tungsten Inert Gas»	17
Soudage semi automatique, procédés MIG et MAG,	20
Soudage à l'arc électrique sous flux	22
<i>RISQUES DU SOUDAGE</i>	
RISQUES AUXQUELS SONT EXPOSES LES SOUDEURS	23
RISQUES SPECIFIQUES DU SOUDAGE AU CHALUMEAU	35
RISQUES SPECIFIQUES DU SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE	38
RISQUES SPECIFIQUES DU SOUDAGE TYPE TIG	40
<i>EVALUATION DES RISQUES PROFESSIONNELS</i>	41
ETUDE DE POSTE	41
FICHE D'ENTREPRISE	51
<i>PREVENTION</i>	56
BASES LEGISLATIVES ET REGLEMENTAIRES	56
DEMARCHE PREALABLE D'EVALUATION DU RISQUE	57
EVALUATION DU RISQUE REEL	58
ACTIONS A LA SOURCE	60
PREVENTION TECHNIQUE COLLECTIVE	62
PREVENTION TECHNIQUE INDIVIDUELLE	64
PREVENTION MEDICALE	69
FORMATION ET INFORMATION DES SALARIES	71
<i>CONCLUSION</i>	72
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	73

DIFFERENTS PROCEDES DE SOUDAGE

INTRODUCTION

Le soudage relève de la métallurgie : il faut connaître le matériau pour le souder de façon efficace. Cette connaissance est d'autant plus cruciale que l'ouvrage sera fortement sollicité. C'est pourquoi le soudage est régi par des cahiers des charges et des modes opératoires précis.

Le soudage est une opération de micro-métallurgie consistant à exécuter un cordon fondu liant les bords de deux pièces.

Il constitue un moyen d'assemblage privilégié pour toute construction faisant intervenir des matériaux métalliques.

Quels sont les avantages du soudage par rapport aux autres techniques d'assemblage ?

Le soudage assure une continuité métallique de la pièce lui conférant ainsi des caractéristiques au niveau de l'assemblage équivalentes à celles du métal assemblé. Caractéristiques mécaniques, thermiques, chimiques, électriques, d'étanchéité, de durabilité... Il répond à des sollicitations élevées. Il est durable car insensible aux variations de température, aux conditions climatiques... pour finir il garantit l'étanchéité de la pièce à souder.

Le soudage trouve des applications dans des secteurs d'activité très diversifiés comme la production, la construction, la réparation et la maintenance.

De fait un grand nombre de travailleurs (environ 3 millions dans le monde selon le Centre International de Recherche contre le Cancer (CIRC) est concerné par les risques liés à ce travail, que ce soit dans les ateliers ou sur les chantiers. [1] Si le soudage représente l'activité principale de certains salariés (environ 200 000 en France), il reste occasionnel dans de nombreux secteurs.

Ses principaux domaines d'application dans le domaine de l'acier sont la mécanique au sens large et la construction, pour lesquels il constitue de loin le moyen d'assemblage prioritaire.

En construction métallique, lors de la préfabrication des éléments en atelier, on assemble systématiquement par soudage. Sur les chantiers on aura plutôt recours au boulonnage des éléments préfabriqués. En France dans les ponts métalliques on utilise le soudage dans 100% des cas.

L'acier est le métal le plus facile à souder, car on peut utiliser avec lui toute une gamme de procédés de soudage. Dans l'ère industrielle, c'est l'acier qui a le plus bénéficié du soudage.

L'aluminium et le titane ont commencé à être soudés plus tard et ils conviennent moins bien à ce procédé. L'aluminium par exemple a été moins facilement soudable jusqu'ici (actuellement de nouveaux procédés permettent un soudage plus facile de ce matériau), car il faut enlever la couche d'alumine réfractaire qui se forme naturellement à sa surface et prendre les précautions nécessaires pour éviter que cette couche ne se reforme pendant le soudage.

De même pour le Titane, qui est très fortement oxydable.

D'ailleurs certains alliages sont considérés comme intrinsèquement non soudables. La soudabilité d'un matériau dépend de ces caractéristiques métallurgiques mais aussi du procédé employé.

Le résultat du soudage dépend à la fois des caractéristiques de l'acier (composition chimique, épaisseur) du type de métal d'apport et des réglages adoptés pendant le soudage. On parle de réponse au soudage d'un matériau. Par exemple si un acier allié carbone/manganèse a une forte teneur en carbone, il est nécessaire de le préchauffer pour éviter sa fissuration, voire de mettre en œuvre des énergies de soudage plus élevées, ce qui pourra nuire aux caractéristiques de résilience de l'acier, si l'on dépasse une certaine énergie.

Jusqu'à il y a une vingtaine d'années, les sidérurgistes mettaient au point les aciers et les soudeurs les soudaient. Mais depuis, à l'initiative du Japon, les choses évoluent. Les aciéristes se préoccupent dès la phase d'élaboration de la soudabilité des aciers. Ceci dans un souci d'optimisation de la mise en œuvre ultérieure.

Plus de 80 procédés de soudage différents sont en usage.
Nous ne décrivons que les plus fréquemment utilisés actuellement.
Soit principalement 4 procédés.
Chacun, selon ses spécificités propres, est privilégié pour des applications particulières.

Tout d'abord il convient de :

- ☀ différencier le soudage manuel du soudage mécanisé

Pour lequel on ne parle pas de soudeurs mais d'opérateurs de soudage.
Ces opérateurs ne sont pas obligatoirement formés aux techniques de soudage.
Fréquemment leurs connaissances dans le domaine du soudage sont restreintes.
Leur rôle se limite à la commande manuelle des machines.
Ils doivent néanmoins parfois effectuer des «reprises» de soudure.
Pour eux, en process habituel, l'exposition aux risques est limitée : pas d'exposition à l'arc électrique, ni aux fumées et poussières et l'accès à la zone de soudage est sécurisée.

Nous n'évoquerons ici que les procédés de soudage manuels, impliquant sur le terrain les postes de soudeur.

Parmi les différents procédés de soudage manuels on peut encore différencier, selon le métal d'apport qui permet l'assemblage des deux pièces métalliques :

- ☀ soudure hétérogène : métal différent avec point de fusion plus bas
- ☀ soudure autogène: pas d'apport de métal ou apport d'un métal identique

- ☀ la soudure hétérogène comprend :

- ➡ la soudure tendre à l'aide d'un mélange de plomb et d'étain qui fond à basse température (moins de 450 °C)
- ➡ le brasage à l'aide de cuivre ou de laiton, nécessitant une plus haute température, utilisant le procédé de soudage au chalumeau

- ☀ la soudure autogène comprend :

- ➡ la soudure au chalumeau
- ➡ la soudure à l'arc électrique avec ou sans couverture de gaz inertes
- ➡ la soudure électrique par point ou par résistance (que nous ne décrivons pas)

Actuellement, en raison du développement des caractéristiques métallurgiques des métaux d'apport, quasiment tous les procédés de soudage permettent le soudage hétérogène (par exemple acier-inox) la composition de la baguette sera adaptée aux métaux à souder.

Les différents procédés de soudage manuel se divisent en deux familles :

☀ **Le soudage au gaz ou au chalumeau**, qui comprend :

- ☀ Le soudage oxyacétylénique,
- ☀ le brasage
- ☀ le soudo brasage

⚡ **Le soudage à l'arc électrique**, dans lequel on décrira :

- ⚡ Le soudage à l'arc électrique avec électrode enrobée fusible
- ⚡ Le soudage à l'arc électrique type TIG, Tungsten Inert Gas, avec électrode tungstène réfractaire sous protection gazeuse
- ⚡ Le soudage semi automatique, avec fil électrode fusible :
Dont nous détaillerons deux procédés, avec fil électrode plein, sous protection gazeuse :
 - ➡ MIG : Metal Inert Gas, assemblage de pièce de métal autogène
 - ➡ MAG: Metal Activ Gas, assemblage de métaux alliés (chrome, manganèse, soufre, nickel, béryllium, aluminium)

Nous les présenterons ici successivement, en présentant pour chacun les principes et les applications.

Les soudeurs maîtrisant des procédés délicats sont très recherchés et de plus en plus rares. Et les perspectives de travail dans la métallurgie, notamment aux postes de tuyauteur et chaudronnier sont importantes (dernière promotion du CFA d'Eschau, sur 8 stagiaires, 6 embauchés immédiatement en CDI ou CNE) Ceci est confirmé dans l'enquête SUMER de 2003 qui met en évidence une sous représentation marquée dans les tranches d'âge basses : moins de 25 ans et 25 à 29 ans. En effet 84 % des effectifs sont répartis équitablement en trois tranches d'âge : 30-39 et 40-49 et plus de 50 ans. [7]

Pour certains dans le monde de l'industrie ils s'apparentent à des « chirurgiens » de la soudure. Ils interviennent après que des soudeurs moins qualifiés aient effectué les travaux de préparation.

Certains ont un statut de travailleur libéral, ils se déplacent dans les entreprises avec leur matériel et sont rémunérés à l'acte, c'est à dire à la soudure.

De la qualité de leur travail dépend la solidité et la fiabilité de leurs réparations. Le contrôle de la qualité des soudures incombe au chef d'entreprise qui fait appel le plus souvent à l'APAVE ou à l'Institut de Soudure.

SOUDAGE AU GAZ OU AU CHALUMEAU

Le soudage au gaz ou à la flamme, consiste à assembler des pièces de métal à l'aide d'un métal d'apport amené à fusion par la chaleur de la flamme d'un chalumeau.

Selon le type de pièces à assembler et la résistance de l'assemblage que l'on souhaite obtenir, on utilise différentes techniques.

Soudage oxyacétylénique

PRINCIPE :

Les deux pièces de métal sont chauffées jusqu'à fusion et le joint, entre elles, est formé de leur propre métal ainsi que du **métal d'apport, sous la forme d'une baguette**. Le métal d'apport qui constituera la soudure est identique au métal de base, la soudure est dite autogène.

La température de chauffe se situe entre 2 850°C et 3 200°C.

Le métal d'apport viendra combler l'espace entre les deux pièces à souder.

Des points de soudure (c'est le pointage) permettront de stabiliser les deux pièces, puis l'espace sera comblé au fur et à mesure par le dépôt du métal d'apport en fusion.

Celui-ci se dépose sous forme d'une goutte. Puis le soudeur imprime un mouvement de rotation avec la flamme du chalumeau.

Ce qui donnera cet aspect caractéristique, avec effet de vague, du cordon de soudure au chalumeau.

Ce type de soudure s'apparente à du «grand art» en soudage et n'est pas à la portée de n'importe quel soudeur.

De fait ce type de soudage n'occupe que la 3^{ème} ou 4^{ème} place parmi les procédés les plus répandus.

La chaleur nécessaire est apportée par une flamme obtenue par un mélange de deux gaz, Oxygène et Acétylène.

L'un, l' O₂, le comburant du mélange, a pour rôle d'activer la flamme ; l'autre, l'acétylène, le combustible, celui de la créer.

La densité de l'acétylène est plus faible que l'air. A l'intérieur des bouteilles, il est obtenu à l'aide d'un mélange d'acétone : 1 l d'acétone permet de fournir 24 l d'acétylène.

Ce mélange gazeux est à l'origine de la flamme la plus chaude, 3 200 °C à la pointe du dard. A cette température tous les métaux sont en fusion.

Les deux gaz sont utilisés en basse pression, un détendeur permet l'apport au poste du mélange gazeux à bonne pression.

Dans le soudage, le contact avec l'air ambiant empêche la soudure de se faire, car il entraîne immédiatement une oxydation des métaux à son contact.

C'est pourquoi, le soudage doit toujours se faire sous protection, ici **protection gazeuse**, qui crée une enveloppe gazeuse entre les métaux et l'air ambiant, ennemi du soudeur.

EN PRATIQUE :

Le soudeur commence par mettre à nu (procédé mécanique ou chimique) le métal des deux pièces à souder.

Puis il allume l'acétylène, il règle le débit pour que la flamme touche juste la buse (en augmentant le débit, la flamme se crée plus en avant)

Ensuite il allume l'oxygène et règle le débit pour ne voir qu'un seul dard (langue à l'intérieur de la flamme) Si le débit est trop fort il y a deux dards. Le dard doit être assez court.

Après quoi il chauffe les deux pièces à souder sur une zone assez large, d'environ 2 cm, en faisant des petits cercles, ceci sans que le dard ne touche le métal. Jusqu'à ce que le métal prenne une couleur rouge cerise, 1 à 2 minutes en fonction de l'épaisseur du métal et de sa température de fusion.

C'est le contrôle visuel qui permet de déterminer que la bonne température est atteinte, la couleur et l'aspect du métal sont observés en permanence par le soudeur.

Celui-ci amène alors la baguette de soudage au niveau de l'espace entre les deux pièces à souder et il commence par les pointer : c'est-à-dire faire des points de soudure avant de les souder complètement ; ceci permet de stabiliser les deux pièces l'une par rapport à l'autre et confère au cordon de soudure une meilleure résistance aux forces de traction et de torsion.

Dans le soudage dit « au chalumeau » deux techniques doivent être décrites. Elles ne sont pas à proprement parler des techniques de soudage, mais elles sont fréquemment utilisées par les soudeurs : le brasage et le soudobrasage

Brasage

PRINCIPE :

Le brasage permet l'assemblage de deux pièces métalliques à l'aide d'un **métal de nature différente**. Ce métal a une température inférieure à celle des pièces à assembler et lui seul participe à la constitution du joint d'assemblage, en se fusionnant au contact du métal de base plus chaud.

L'assemblage des pièces se fait par recouvrement, comme pour un collage. Ce procédé permet de créer un **joint d'étanchéité** par pénétration du métal d'apport par capillarité entre les deux tuyaux de métal. [25]

EN PRATIQUE :

Après avoir chauffé les deux parties à souder sur une zone large d'environ 2 cm autour de la jonction, le soudeur amène la baguette de brasage à la jonction des deux pièces. Celle-ci fond, au contact du métal de base chauffé et comble l'interstice. Il continue de chauffer la jonction des pièces tout en faisant avancer la baguette le long de l'interstice. Il n'y a pas de nécessité de protection gazeuse ou autre, car il n'y a pas, à proprement parlé, de cordon de soudure.

Le métal d'apport est un alliage, on parle de procédé hétérogène.

Il s'agit généralement d'un alliage d'étain binaire voire ternaire, avec divers métaux comme le plomb, l'argent mais aussi le cuivre, l'antimoine, le bismuth, l'indium, le cadmium, le zinc, l'or...

L'alliage le plus couramment utilisé est composé d'environ 60% d'étain et 40% de plomb. La teneur en plomb peut cependant varier de 15 à 95% en fonction de l'utilisation envisagée.

Les alliages d'apport se présentent sous des formes diverses : baguettes, tiges, fils, pastilles, poudres, crèmes...

On parlera de brasage fort ou tendre en fonction de la température appliquée.

L'application d'une température plus élevée augmente la résistance mécanique du métal d'apport.

Selon l'utilisation faite, on choisira donc un brasage tendre ou fort.

☀ En dessous de 220 °C, le brasage est dit tendre, Il trouve son application en plomberie, sanitaire, zinguerie, pour la création d'une étanchéité à l'aide de joints brasés au niveau de tuyauterie d'alimentation d'eau sur laquelle ne sera pas appliqué de contraintes mécaniques fortes. Mais aussi en électronique (circuits imprimés), en électricité (connexion de fils) ou encore en ferblanterie et en zinguerie.

☀ Entre 780 et 800 °C on parlera de brasage fort, Ce procédé est utilisé pour étanchéfier ou assembler les conduites de gaz, en cuivre, offrant une bonne résistance aux contraintes mécaniques. Il permet des assemblages résistants sur cuivre, laiton, métaux ferreux, aluminium, argent, or. (au delà de 920 °C, point d'Eutexie, il y aura transformation du métal)

Le brasage ne se fait pas sur l'acier on parlera alors de soudobrasage :

Soudobrasage

Il s'agit d'un assemblage ayant une haute résistance mécanique.

La température de chauffe est supérieure à 950°C.

Il est surtout utilisé pour les métaux ferreux, mais aussi le cuivre, nickel, chrome...

On utilise un chalumeau butane propane ou un chalumeau oxygaz.

Ce procédé permet de déposer le métal d'apport à l'angle formé par deux pièces disposées à la perpendiculaire l'une de l'autre. Et de les solidariser. [6]

Les métaux des pièces soudées peuvent être de nature différente (par exemple acier et cuivre) Ceci permet donc une utilisation dans les rénovations, la modification de l'existant étant possible sans utiliser le même type de métal que l'existant. Le cordon de soudure sera constitué du métal d'apport, enrobé, qui sera un alliage (cuivre, acier, nickel, soufre, plomb, étain, cadmium...)

Il existe de nombreux alliages, le choix se fera en fonction des propriétés de chacun (l'argent et le phosphore augmentent la résistance mécanique)

Mais aussi en fonction de leur coût, certains alliages peuvent atteindre un prix de 1200 euros/kg, les moins chers n'étant pas forcément les moins toxiques.

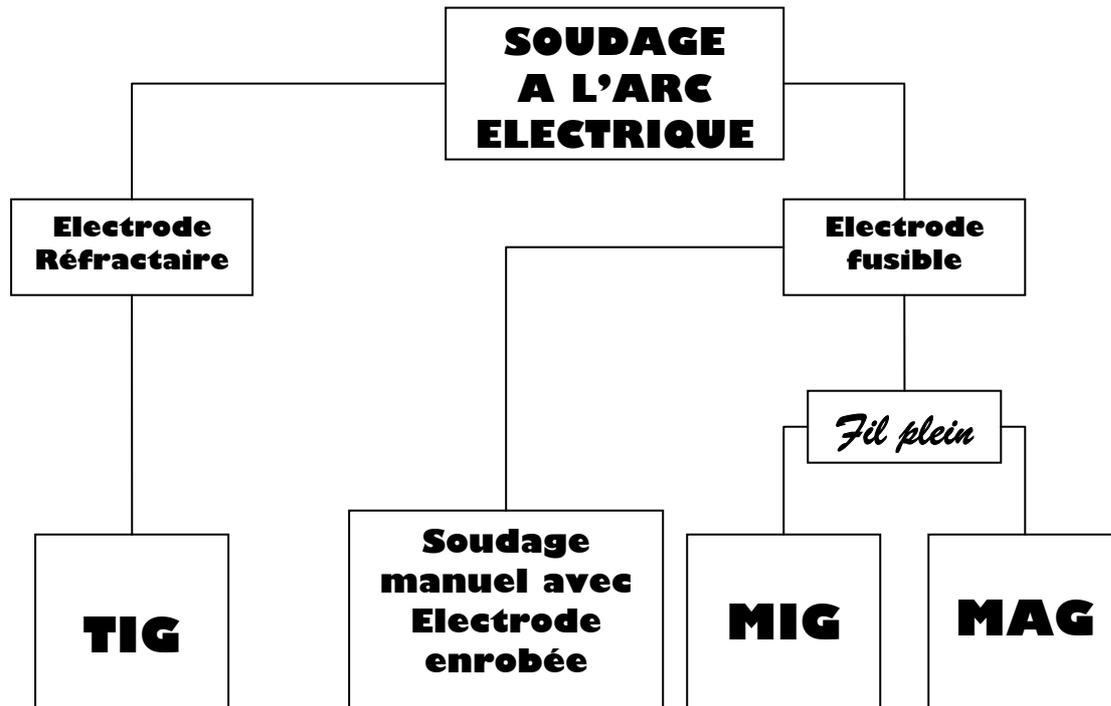
- ➡ Le brasage amène une pénétration du métal d'apport par capillarité.
- ➡ Dans le soudage, le métal d'apport ainsi que le métal de base sont amenés à fusion, ce qui permet de combler l'espace entre les pièces de métal. La soudure se fait sous protection de l'enrobage de la baguette fournissant le métal d'apport.

EN PRATIQUE :

Les outils qui fournissent la chaleur pour la mise en œuvre du brasage, du soudobrasage et du soudage à la flamme sont :

- ☀ Le fer électrique qui peut atteindre une température de 250°C, voir 450°C pour les fers utilisés en ferblanterie et en chaudronnerie.
- ☀ Le fer à gaz ou la lampe à souder à cartouche de Butane, qui atteint une température de 350°C à 600°C.
- ☀ Un système de panne en cuivre alimentée par du gaz propane.
- ☀ Le chalumeau atteint une température supérieure, il est utilisé lorsque de grandes quantités d'alliage d'apport sont nécessaires ou pour des surfaces importantes de métaux à assembler ou lorsque le point de fusion de l'alliage est élevé (alliage à base d'argent par exemple)
- ☀ Le chalumeau : est muni d'une buse, il existe différents type de buses qui permettent de faire varier le débit du mélange gazeux, 100 ou 70 litres. Ceci permet alors de faire varier la température de la flamme.

SOUDEGE A L'ARC ELECTRIQUE



Principaux procédés de soudage à l'arc (INRS, guide pratique ventilation n° 7-ED 668) [14]

Les différentes techniques de soudage à l'arc utilisent **l'énergie calorifique** d'un arc électrique entretenu entre une électrode et le métal à assembler. [27]

Le métal d'apport est apporté par une baguette. Et la **protection** de la soudure se fait soit par un gaz ou par l'enrobage de la baguette.

L'échauffement local produit un bain de fusion qui, en se refroidissant, constitue le cordon de soudure.

Les phénomènes métallurgiques qui se produisent pendant l'opération de soudage sont complexes en raison de :

- ☞ la nature du métal de base
- ☞ les gradients de température influant sur sa structure granulaire et sur sa composition chimique
- ☞ l'oxydation provoquée par l'atmosphère entourant le bain de fusion

Le courant électrique continu ou alternatif est fourni par un générateur dont la tension à vide doit être supérieure à la tension d'amorçage.

L'intensité du courant est réglée en fonction de différents paramètres comme le diamètre de l'électrode, la nature de l'enrobage éventuel, la position de soudage, le type d'assemblage, la dimension et la nuance des pièces à assembler.

Les autres paramètres à régler sont la distance de l'électrode par rapport au métal de base et sa vitesse d'avance.

Soudage manuel à l'arc électrique avec électrode enrobée

PRINCIPE :

Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées permet d'assembler ou de recharger des éléments ou des pièces métalliques au moyen de cordons de soudure. Il s'agit du type de soudage le plus répandu.

L'énergie nécessaire à la fusion du métal est fournie par un arc électrique jaillissant entre les pièces à souder et une électrode fusible fournissant le métal d'apport.

La soudure à l'arc électrique est une soudure de type autogène, pour l'assemblage de pièces en acier. Les assemblages ainsi obtenus sont très résistants puisque l'acier est mis en fusion et les deux éléments soudés ne forment plus qu'une seule masse en acier après soudage.

Les applications de ce procédé sont particulièrement nombreuses. La mobilité des appareils et la grande diversité des types d'électrodes permettent d'effectuer des travaux sur un certain nombre de métaux et de leurs alliages comme les aciers non alliés ou faiblement alliés, les aciers inoxydables, les fontes et dans certaines conditions, l'aluminium, le cuivre et le nickel. Tous les types d'assemblage (bord à bord, d'angle...) et toutes les positions de soudage (à plat, en corniche...) sont possibles.

Il y a mise en fusion des pièces à souder et du métal d'apport.

Pour obtenir cette fusion il faut une température très élevée supérieure à 3000°C . Celle-ci est obtenue par court-circuit entre deux électrodes (la pièce à souder et l'électrode constituée de métal d'apport) en créant un «arc électrique» qui est une sorte d'étincelle continue de très forte puissance qui dégage à la fois de la lumière et une chaleur intenses.

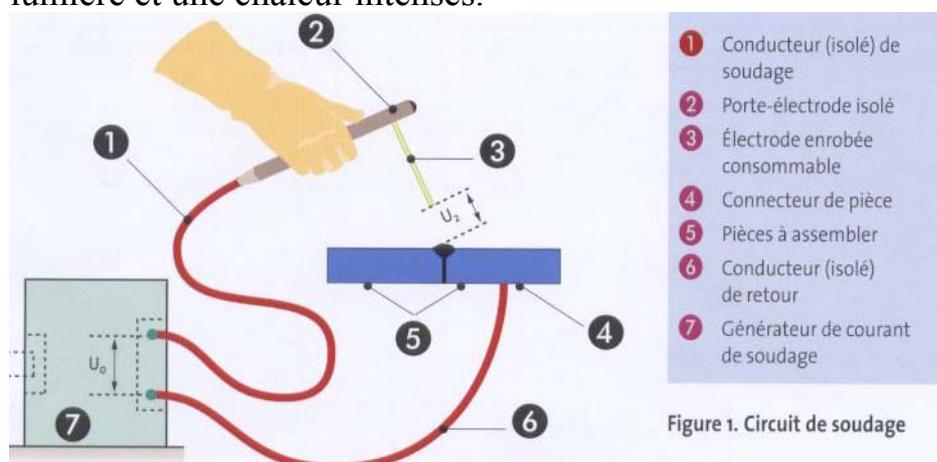


Figure 1. Circuit de soudage

INRS ED 83 [13]

(fiche pratique de sécurité, Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées)

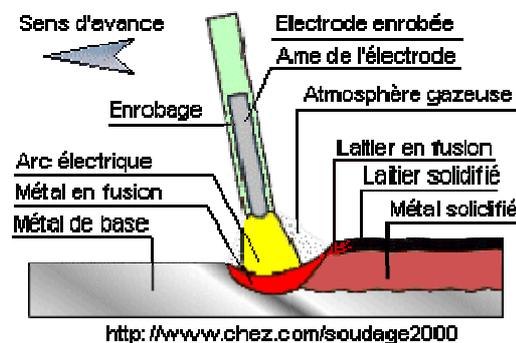
EN PRATIQUE :

L'opérateur amorce l'arc électrique en grattant la surface d'une des pièces à souder avec l'extrémité de l'électrode qu'il éloigne ensuite pour obtenir la longueur d'arc désirée.

Le principe de base du soudage à l'arc est de conserver un écartement constant entre l'électrode et la pièce à souder pour créer l'arc électrique. Si l'électrode touche la pièce, le courant circule entre les deux, il n'y a pas de fort dégagement de chaleur et l'électrode colle à la pièce. Si en revanche on éloigne trop l'électrode de la pièce, il n'y a plus de passage d'électricité et il n'y a plus d'étincelle. [25]

L'électrode est constituée d'une baguette métallique (l'âme) entourée d'un revêtement adhérent (l'enrobage). Elle est maintenue par son extrémité nue dans un porte-électrode que l'opérateur manipule en cours de travaux.

L'amorçage établi, l'électrode fond ainsi que, localement le métal de base. L'âme métallique fond en gouttelettes qui sont projetées et se mélange au métal de base dans le bain de fusion. Ces gouttelettes ainsi qu'une partie de l'enrobage, constituent, après refroidissement, le cordon de soudure.



[27]

(Comme dans le procédé de soudage oxyacétylénique, c'est le métal d'apport qui permet le soudage en créant le cordon de soudure).

L'enrobage produit au refroidissement une couche de laitier protégeant le cordon de soudure. Celui-ci sera « piqué » au marteau-burin, puis le cordon de soudure sera nettoyé et poli à l'aide de brosses, limes, meules...

Le poste à souder :

L'arc électrique permet d'amorcer le soudage en apportant la chaleur nécessaire à la fusion du métal d'apport, mais il ne fait pas le soudage. [27] [13]

Il est produit à l'aide d'un générateur haute fréquence qui a pour fonction de :

- ✓ faire fondre l'électrode. Le poste à souder transforme le courant d'alimentation du secteur, afin de fournir à la sortie du poste, des intensités suffisamment élevées pour permettre la fusion de l'électrode de soudage.
- ✓ stabiliser l'arc électrique. La continuité de l'arc électrique permet une soudure régulière. L'onduleur qui remplace les anciens transformateurs et redresseurs, corrige les variations du courant électrique et apporte une puissance et une tension électrique constante.

Une intensité élevée permet le soudage de pièces épaisses, si l'intensité est trop faible, la fusion du métal d'apport n'est pas bonne et la soudure sera moins résistante. La tension à 50 Volt minimum permet d'amorcer plus facilement le soudage, en évitant les effets de «colle» de l'électrode.

En fondant, l'**enrobage de l'électrode** remplit différents rôles :

- ✓ **Rôle électrique** : l'enrobage permet une bonne circulation du courant électrique, il favorise l'amorçage et la stabilisation de l'arc par ionisation de l'air
- ✓ **Rôle physique** : l'électrode est de même nature que le métal de base, la soudure est autogène. L'enrobage confère une protection vis à vis de l'air ambiant, permettant le soudage et l'unification de l'arc électrique. Il concentre l'arc par la formation d'un cratère à son extrémité, il permet le soudage dans différentes positions et influence la forme et l'aspect du cordon, l'enlèvement des dépôts de laitier.
- ✓ **Rôle mécanique** : l'apport de matière confère une solidité à l'assemblage
- ✓ **Rôle métallurgique** : il protège le bain de fusion de l'action de l'air par formation d'une pellicule de laitier liquide et d'une veine gazeuse.
- ✓ Il ralentit le refroidissement et ajoute, dans certains cas, des éléments nécessaires à l'obtention des caractéristiques mécaniques du joint de soudure.
- ✓ Par ailleurs, l'adhérence du laitier solidifié au cordon de soudure dépend essentiellement du type d'enrobage de l'électrode (acide, basique, cellulosique ou rutile : oxyde de titane TiO_2)

Mais la combustion du métal d'enrobage va être responsable de la projection de scories et de la formation du laitier. Ainsi que de la formation de beaucoup de fumées.

Composition de l'électrode :

- ✓ La soudure est de type autogène, le métal d'apport, constitué par l'âme métallique de l'électrode peut être en fonction du métal à souder, de l'acier, du cuivre, de l'inox...
- ✓ L'enrobage de l'électrode est variable, différents composants dont le fer, qui est un adjuvant pour le soudage, du cuivre, du manganèse, du silicium, du nickel, du molybdène, de l'acier... et toujours de la poudre de fer.

Le choix du type d'électrode et d'enrobage se fera en fonction de l'application : type d'assemblage (angle, à plat, sur tube...), de l'épaisseur à souder, des qualités requises : dureté, ductilité..., du type d'acier.

On choisira aussi le diamètre de l'électrode en fonction de l'épaisseur du métal à souder.

On distingue cinq grands types d'enrobage [1]:

- ☞ Type O (oxydant) : à base d'oxyde de fer
- ☞ Type A (acide) : à base d'oxyde de fer, d'oxyde de ferromanganèse, de silice, de silicate ou de ferroalliage désoxydant
- ☞ Type B (basique) : carbonate de calcium, spath fluor ou ferroalliage
- ☞ Type C : cellulosique, composé de cellulose et de matières organique
- ☞ Type R : rutile, comprenant 95 % d'oxyde de titane ou ilménite comprenant 50 % d'oxyde de titane et 50 % d'oxyde de fer

Les enrobages les plus utilisés aujourd'hui sont ceux de type B et R.

Dans le soudage à l'arc électrique et électrode enrobée, il convient de distinguer deux techniques :

- ✂ La technique montante : la soudure est démarrée en bas et s'effectue du bas vers le haut, pour chaque moitié du diamètre du tuyau. C'est une technique plus lente, l'énergie en jeu est moyenne, l'éblouissement est aussi limité, elle est plus sécurisante. La soudure formée est de meilleure qualité, en sa défaveur, c'est une technique plus lente.
- ✂ La technique descendante : à l'inverse on démarre en haut pour aller vers le bas. C'est une technique qui développe plus d'énergie, l'éblouissement est important. Mais elle est souvent préférée car deux fois plus rapide.

APPLICATION :

- Le soudage manuel à l'arc électrique et électrode enrobée concerne surtout les postes de tuyauteurs pour des tubulures de diamètre et d'épaisseur importante. Conférant une bonne résistance mécanique aux soudures.
- Il convient aux aciers doux (enrobage de l'électrode type O), aux aciers faiblement alliés, aux aciers inoxydables et réfractaires, à la fonte grise, aux métaux non ferreux : nickel (après décapage à l'acide et neutralisation), cuivre et cuproaluminium.
- Il est préféré au procédé TIG pour les soudures sur tuyauterie transportant du gaz, car il supprime le risque gaz lié à la présence du gaz protecteur.
- La rapidité de sa mise en œuvre est aussi appréciable ; sous arc électrique la température idéale de soudage qui est atteinte rapidement reste stable tout au long du soudage.
- Sur le plan financier son intérêt réside aussi dans le coût minime et la simplicité du matériel mis en œuvre : onduleur, porte électrode, électrode, meuleuse, brosse...
- Néanmoins la technique de l'arc électrique n'est pas facile, elle nécessite une bonne maîtrise. Avec un appui constant de l'électrode enrobée. Ceci en maintenant une distance constante de 2mm avec la zone de fusion. Le métal d'apport est alternativement poussé puis tiré au niveau de la zone de soudure.
- Ce type de procédé de soudage se pratique en général à l'extérieur, en effet il rend possible le soudage quelles soient les conditions météo, de température, de vent....C'est le procédé de soudage idéal par tous temps.
- Par contre, son utilisation en atelier ou en lieu clos nécessite une aspiration directe indispensable ainsi que le port d'EPI adaptées.
- Car la production de fumées est importante, de même que la projection de particules métalliques. Ces fumées sont issues de la mise en fusion des différents métaux, base à souder, âme et enrobage de l'électrode.
- L'exposition aux risques des fumées de soudage (fièvre des métaux, irritation ORL avec enrouement dès la première journée) projections de particules métalliques, UV et coup d'arc est important dans ce type de procédé de soudage.

Soudage à l'arc électrique type TIG Tungsten inert gas

PRINCIPE :

Procédé de soudage mis au point aux Etats-Unis.

Il s'apparente au soudage à l'arc, mais en lui apportant des améliorations conséquentes en matière de facilité de mise en œuvre et de qualité de soudure. Après le soudage à l'arc électrique et électrode enrobée, c'est le procédé le plus répandu.

La chaleur nécessaire à créer la soudure est apportée par un arc électrique. Cet arc électrique est transmis au métal de base par une électrode en tungstène et le bain de soudure est protégé par un flux de gaz inerte.

L'arc électrique généré est stable, précis, capable de souder des métaux très réactifs comme l'Aluminium ou le Titane.

Par exemple le soudage de l'inox, avec le procédé TIG, permet d'éviter la formation d'oxydes de chrome. Formation qui entraînerait localement une baisse de la concentration en chrome et diminuerait sa résistance à la corrosion.

La soudure se fait **sous protection de gaz inerte** (ne présentant pas de danger, pas de risque explosif) Différents types de gaz sont utilisés:

- ☞ Argon pour l'acier
- ☞ Argon- Hélium (mélange binaire) pour l'aluminium
- ☞ Argon- Hélium- Oxygène

Dans cette technique l'arc électrique et la soudure sont protégés par le gaz. Ce qui permet de se passer de l'enrobage de la baguette. Ceci amène une diminution substantielle des émissions de fumées.

Une **électrode en tungstène réfractaire**, non fusible (c'est à dire qui ne fond pas) permet le passage de l'arc électrique (le tungstène est très bon conducteur) Au tungstène était parfois ajouté du Thorium, à présent interdit et remplacé par du Cérium, pour le soudage sur les aciers alliés.

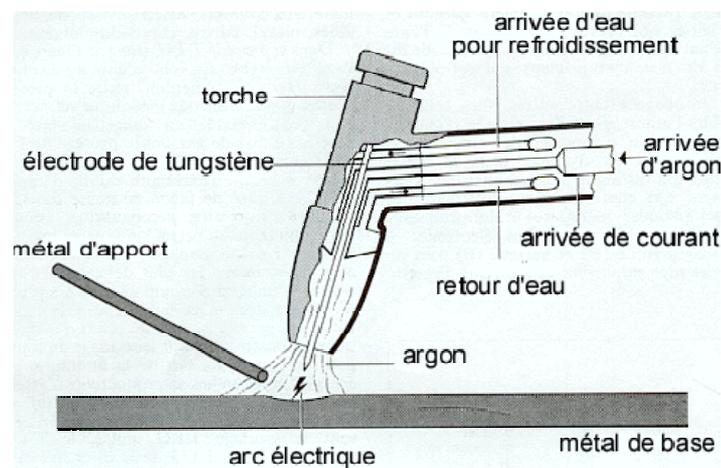
Pour le soudage sur métaux non alliés, comme l'aluminium, l'électrode est en tungstène pur.

EN PRATIQUE :

La distance entre l'électrode et la zone à souder doit être contrôlée, trop éloignée l'arc s'interrompt, trop près ou si contact il y a court-circuit et la pointe de l'électrode s'émousse.

Il faut alors la «repointer» à la meuleuse ou à l'affûteuse (exposition aux poussières de métaux durs, prévenue par l'utilisation d'affûteuse à bain d'huile étanche)

Et une **baguette de métal d'apport** que le soudeur tient d'une main pour former et alimenter le bain de fusion. De l'autre main il tient **la torche** pour établir l'arc avec **la pièce à souder**.



▲ Soudage TIG sous argon (plg.chez-alice.fr)

APPLICATION :

- ☞ Ce procédé de soudage apporte une grande qualité de régularité au cordon de soudure.
- ☞ Il est aussi apprécié pour la rapidité de sa mise en œuvre, en effet la température de fusion au niveau de la zone à souder est obtenue quasi immédiatement, de plus elle reste bien localisée, ne s'étendant que sur une zone de quelques millimètres.
- ☞ Le métal de base devient aussi métal d'apport. Du fait d'une bonne pénétration du métal d'apport et d'une continuité en profondeur dans la matière, la quantité de métal d'apport nécessaire est plus faible qu'avec le procédé au chalumeau. Les joints ainsi obtenus sont de grande qualité.
- ☞ Il n'y a pas les défauts d'inclusion du « laitier » comme avec l'électrode enrobée.
- ☞ Les défauts observés peuvent être des excès de soufflure par manque de gaz, ou un aspect vermiculaire (bulles de gaz) par excès de gaz.

- ☞ Ce procédé de soudage est appliqué pour les soudures de tôlerie fine, de tubes par les tuyauteurs.
- ☞ Il convient à la plupart des métaux, aciers divers, aluminium, manganèse cuivre, nickel, métaux et alliages réfractaires ainsi qu'aux métaux précieux ou délicats (titane-tantale ou zirconium)
- ☞ En raison du poids et de l'encombrement des installations nécessaires il est appliqué en atelier
- ☞ La mise en œuvre en endroits clos est possible car il n'y a pratiquement pas d'émission de fumées ni de particules métalliques. Sauf dans le cas de traitement de surface au niveau des métaux à souder. (attention aux charpentes métalliques pré peintes avant soudage)
- ☞ Par contre sur chantier extérieur, il n'est pas toujours privilégié, car la protection gazeuse est sensible au vent, au taux d'humidité. Et en cas de perte de protection il y aura oxydation de la soudure.

Soudage semi automatique : MIG, MAG

Aussi appelé « kilomètre soudé ». Il s'agit d'un procédé de production en grande quantité. Dans les ateliers, la métallerie. Il est rapide, nécessitant moins de formation pour la mise en œuvre que le procédé TIG. Sans production de laitier comme dans le soudage à l'arc avec électrode enrobée.

PRINCIPE :

L'arc électrique est véhiculé par un **fil électrode fusible** (à la fois métal d'apport et électrode), ceci jusqu'à l'extrémité de la torche de soudage, qui est munie d'une gâchette.

Le fil est disposé sur le dévidoir d'une bobine. Ce dévidoir tourne pour faire avancer le fil à l'aide d'un moteur de 24 Volt. La vitesse du fil en m/min est réglée à l'aide d'un potentiomètre.

Le soudeur appuie sur la gâchette pour débiter le **gaz protecteur**, alimenter l'arc électrique et dévider le fil électrode. [5]

● **Protection gazeuse inerte (MIG : Metal Inert Gas)** le gaz s'écoule de façon continue et protège le métal en fusion contre l'oxygène et l'azote de l'air. En général de l'Argon ou du mélange Argon-Hélium.

● **Protection gazeuse active (MAG : Metal Active Gas)** le plus souvent par CO₂ ou mélange Argon-CO₂ ou Argon-CO₂-O₂. Le gaz protecteur participe activement au processus en réagissant, dans l'arc, avec les métaux d'apport et de base.

Caractéristiques du fil d'apport : fils pleins ou fils nus

EN PRATIQUE :

Le fil conditionné sous forme de bobine, à la fois métal d'apport et électrode est acheminé jusqu'à l'extrémité de la torche de soudage, tenue à la main par l'opérateur.

Le fil est amené de façon automatique et régulière au travers d'un tube contact conique avec filetage de diamètre intérieur permettant son passage. La pièce précédente, de même configuration, capte l'impulsion électrique et la transmet au tube contact.

Le fil capte ainsi au passage l'arc électrique.

L'arc électrique se produit entre le fil d'apport et le métal de base.

Le fil avance régulièrement et lorsqu'il touche la pièce à souder il se produit un court-circuit qui sera à l'origine de la fusion et donc de la soudure.

APPLICATION :

Protection gazeuse inerte (MIG : Metal Inert Gas)

Ce procédé autogène (assemblage de pièces de métal de même nature) convient aux aciers alliés, inoxydables, à la fonte, à l'aluminium et aux alliages légers, au cuivre et aux cuproallioages, au manganèse, au nickel et aux métaux et aciers réfractaires.

Protection gazeuse active (MAG : Metal Active Gas)

Ce procédé s'adapte aux aciers doux non alliés, galvanisés ou zingués et aux métaux ferreux.

On peut décrire 3 modes de fusion, ceci quelque soit la puissance, la nature ou l'origine de l'appareil à souder.

court-circuit :

- ➡ Vitesse et intensité faible, 1 et 2/6.
- ➡ Appliqué pour le soudage de tôles fines, les positions délicates, les soudures au plafond...
- ➡ Lorsque le fil touche le métal de base il y a court circuit, l'extrémité du fil sous forme d'une boule, se trouve collée sur le métal de base. Il y a alors brisure du fil suivi de sa rétraction.
- ➡ La circulation du courant et l'avancée du fil reprennent et le même processus peut recommencer à côté.
- ➡ Le cordon de soudure est donc formé par la mise bout à bout de ces «boules».

globulaire ou grosse goutte :

- ➡ Vitesse et intensité moyenne 3 et 4/6.
- ➡ Application pour le soudage en angle, à plat ou en position montante. La zone d'impact est plus grande, ainsi que la pénétration dans la matière.
- ➡ La «goutte» sera plus grosse et c'est pourquoi elle se détache spontanément avant que le fil de soudure ne touche le métal de base ; donc avant le court-circuit.
- ➡ Ce procédé de soudage offre une meilleure résistance mécanique à la soudure.

PA ou pulvérisation axiale :

- ➡ Vitesse et intensité élevée, 5 et 6/6.
- ➡ Le fil ne touche pas le métal de base. Quand il arrive à proximité il y a pulvérisation dans l'espace du métal du fil de soudure.
- ➡ La pénétration du métal d'apport est importante et le cordon de soudure a une forte épaisseur.
- ➡ Ce procédé est appliqué en production de masse, pour les soudures en angle et à plat.

L'automatisation est possible, il n'y a pas de meulage, ni de reprise nécessaire. L'exposition aux UV est très importante, ainsi que le risque de coup d'arc. La formation de fumées est aussi plus importante, ainsi que la crépitation avec la projection de particules métalliques incandescentes.

Le port d'EPI est indispensable.

Pour finir avec les différents procédés de soudage à l'arc électrique, nous citerons rapidement le:

Soudage à l'arc électrique sous flux ou Soudage à l'arc électrique submergé

Dans ce procédé la protection de la soudure se fait, non pas par l'enrobage ni par un gaz, mais par un flux (par exemple sous forme pulvérulente)

Flux qui est déversé automatiquement, par un dispositif, devant le fil électrode.

A noter que le flux peut aussi être présent à l'intérieur du fil électrode qui sera alors appelé « fil fourré ».

Ce flux forme une couche en excès qui protège l'arc. [27]

Il n'y a pas de projections et le cordon de soudure est recouvert d'un laitier auto détachable qui laisse apparaître un métal fondu lisse et brillant.

Il s'agit d'un procédé essentiellement automatique qui produit peu d'émissions de fumées.

- ☀ Le flux permet de décaper les pièces à assembler, de faciliter le mouillage de l'alliage d'apport et d'éviter la formation d'oxydes lors du brasage.
- ☀ Les flux peuvent être incorporés dans les alliages d'apport. La quantité de flux varie selon les produits de 0,6 % à 3,9 %.
- ☀ Les fils à flux incorporé sont parfois appelés fils à âme décapante.
- ☀ Les flux peuvent aussi être appliqués séparément sous forme liquide, solide ou pâteuse.
- ☀ Le choix du flux approprié dépend essentiellement de la nature des matériaux à braser.
- ☀ Les flux peuvent être :
 - résineux à base de colophane
 - organiques, non résineux, solubles ou non dans l'eau, à base d'alcools (isopropanol, propanol, éthanol) ou de solvants organiques...
 - inorganiques, à base de chlorures, de fluorures, de borates, d'acides phosphoriques, d'amines...

Leurs propriétés peuvent être modifiées par l'addition d'agents activants : composés halogénés, amines aliphatiques, acides organiques (glutamique, adipique, formique, oxalique....) hydrazine.

RISQUES AUXQUELS SONT EXPOSES LES SOUDEURS

RISQUES CHIMIQUES ☠️

Les fumées de soudure sont incommodes, insalubres, irritantes ou toxiques, Ces fumées, mélangées à de l'air chaud, sont formées, en proportion variable suivant le procédé, de gaz et de poussières :

GAZ ET VAPEURS TOXIQUES

Les gaz et les vapeurs toxiques émis lors du soudage proviennent de la transformation thermique de gaz combustibles, de l'air, de matériaux de revêtements ou d'impuretés. [1] [2]

- ☠️ Produits de décomposition thermique ou photochimique des **enduits, peintures, graisses, lubrifiants ou de solvants** de dégraissage recouvrant les pièces « sales » (dégagement de **phosgène** en cas d'utilisation de solvants chlorés pour le dégraissage)
- ☠️ Produits de fusion et de volatilisation de **l'électrode et des métaux de base**
- ☠️ **Le flux et/ou l'enrobage** peut contenir de la colophane (résine), du polypropylène glycol ou du alkylaryl polyéthéralcool. Les produits de décomposition thermique de la colophane comprennent : **l'acétone, le méthanol, diverses aldéhydes aliphatiques, le CO₂, le CO, le méthane, l'éthane, l'acide abiétique et divers acides diterpéniques.**
- ☠️ **Gaz utilisés dans le procédé** de soudage ou produits par combustion ou par action sur l'air ambiant.

PROCEDE DE SOUDAGE	CO	F ₂	NO _x	O ₃
Arc, électrode enrobée		X	X	
Arc, sous flux	X	X	X	
Arc, sous gaz, argon ou hélium			X	X
Arc, sous gaz carbonique	X		X	
Arc, tungstène, sous gaz (TIG)			X	X

Principaux gaz nocifs selon le procédé de soudage

[1]

Il s'agit notamment des composés suivants :

- **Le monoxyde de carbone (CO)**, émis par la combustion incomplète de gaz combustible dans le procédé de soudage au chalumeau. Ainsi que lors du soudage sous gaz protecteur actif (procédé MAG, gaz : CO₂-Argon), par la combustion incomplète du dioxyde de carbone (CO₂).
- **Les oxydes d'azote ou vapeurs nitreuses**, monoxyde d'azote (NO) et dioxyde d'azote (NO₂), désignés parfois par NO_x, produits lors de procédés thermiques par la réaction entre l'azote et l'oxygène de l'air.
- **L'ozone (O₃)** produit par photolyse de l'oxygène de l'air ambiant sous l'action des rayons ultraviolets émis par le procédé de soudage (plus marqué pour les procédés à l'arc électrique)
- Le **phosgène (COCl₂)**, **des aldéhydes (RCHO)** et autres produits de décomposition tels le phosphène (PH₃), l'acide cyanhydrique (HCN), le fluor (F₂) ou des gaz irritants tel le chlorure d'acétyle (CH₃COCl), qui peuvent se dégager des restes de graisses ou de solvants chlorés sur des pièces dégraissées, des peintures, des résines, des lubrifiants et des décapants. [4]

POUSSIÈRES

- ✱ La quantité de fumée et de poussière dépend du procédé de soudage et de ses paramètres
- ✱ Le diamètre des particules contenues dans les fumées est généralement en quasi totalité inférieur à 1 μm et supérieur à 0,01 μm . Elles sont donc susceptibles d'atteindre la région alvéolaire.
- ✱ Il n'est pas rare qu'il y ait agglomération de ces particules, souvent sphériques, pour donner des particules chaînées de plus grand diamètre.
- ✱ Le niveau d'empoussièrement peut être très élevé et atteindre plusieurs dizaines de mg/m^3 . [1]

- ✱ La composition en poussière des fumées dépend des métaux et des électrodes utilisés, des enrobages ou flux éventuels, des revêtements (peinture à base de plomb, métal galvanisé (zinc ou cadmié) ou résidus d'impuretés sur les pièces à souder

- ✱ La prise en compte de l'exposition aux nano particules conduira très probablement dans les années à venir à revoir radicalement nos critères en matière d'évaluation de ce risque.

NIVEAU DE RISQUE GLOBAL =

**Risque dû au métal d'apport +
Risque dû au métal de base +
Risque dû au revêtement +
Risque dû au gaz**

[14]

☛ Cette composition est complexe, on y recense plus de 40 représentants de la table périodique des éléments. [1]

- ➡ On évalue à 95% la part des fumées qui provient du métal d'apport et 5% celle qui provient du métal de base. [1]
- ➡ Poussières en fonction des matériaux utilisés (métal de base et d'apport, électrode) : poussière d'oxyde de fer (Fe_2O_3) et de zinc avec le métal galvanisé, aciers alliés contenant du plomb, titane, nickel, manganèse, aluminium, cuivre, chrome, béryllium, zinc, cadmium, cobalt...

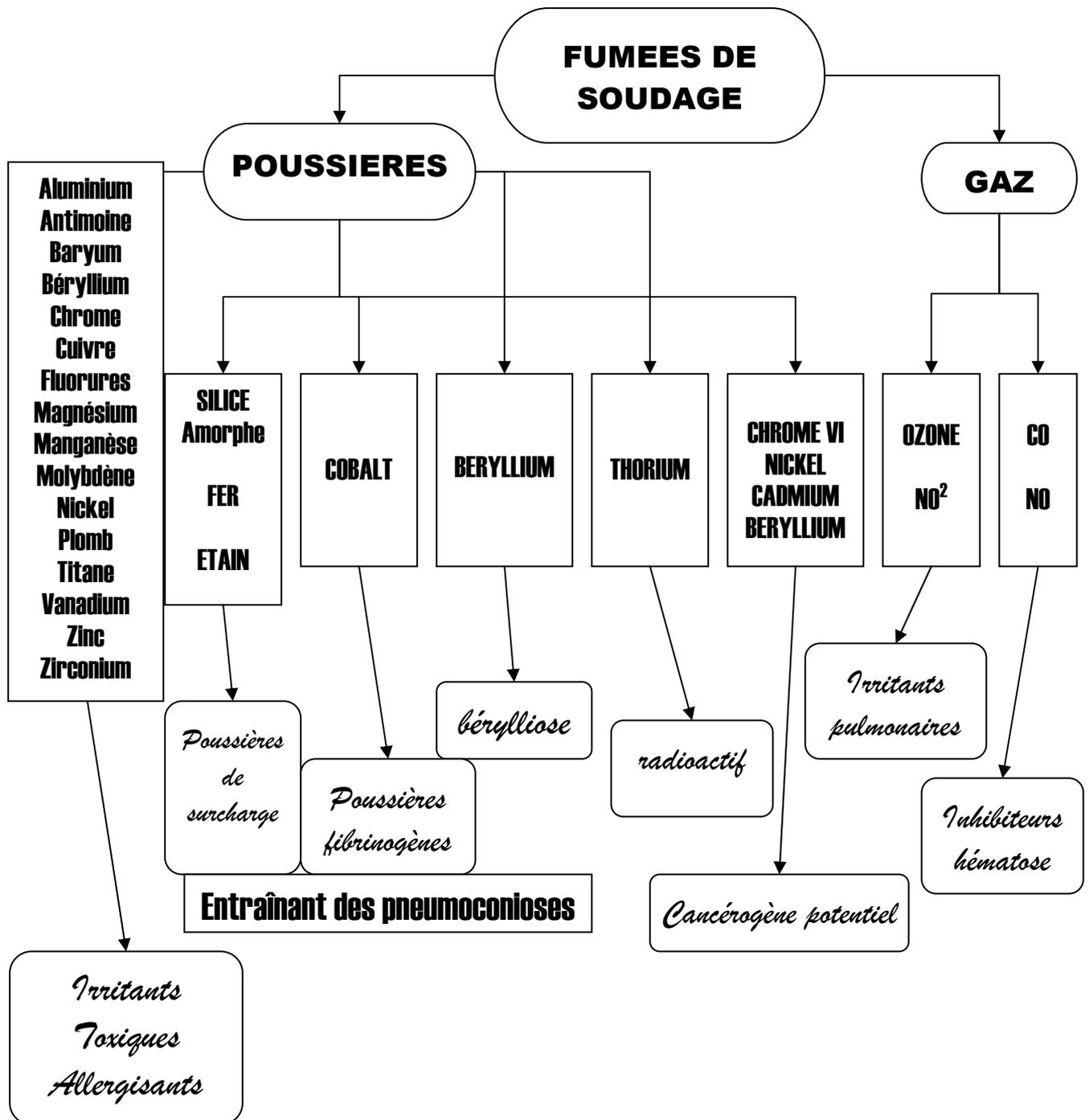
- ➡ La teneur en carbone des aciers provient du combustible utilisé pendant la fonte, soit le coke. **Le fer brut** contient donc du manganèse, du silicium, du soufre* et du phosphore * (* éléments fragilisant l'acier, leur taux est maintenu bas)
- ➡ Les **aciers non alliés** ne contiennent que des taux très faibles d'éléments étrangers, pour des taux inférieurs à 5% on parlera d'aciers faiblement alliés.
- ➡ Au-delà de 5% on parlera d'**aciers alliés**, dans lesquels on peut ajouter du manganèse, du chrome, du nickel, du cobalt, du tungstène, de l'aluminium, du cuivre, du molybdène, du tantale, du titane, du vanadium ou d'autres éléments.

- ➡ Provenant des flux de brasage : fluor ; baryum, béryllium

- ➡ Les anciens revêtements antirouille peuvent contenir du plomb.
- ➡ Les restes de peinture, de vernis, de résines ou de matières plastiques, d'huiles peuvent donner lieu à la présence, dans les fumées de composés toxiques (cadmium, phtalates, hydrocarbures polycycliques aromatiques...)

- ➡ Le dioxyde de silicium (SiO_2) se trouve dans la fumée sous forme amorphe, non cristalline et ne revêt donc pas le caractère toxique du quartz.

PATHOLOGIES PROFESSIONNELLES LIEES AU SOUDAGE



Fumées de soudage. Catégories de toxiques classés en fonction des principales affections qu'ils peuvent engendrer. [14]

Guide pratique de ventilation n° 7 ED 668, INRS, 2003

Pathologies respiratoires

Effets respiratoires aigus

- Le soudage est susceptible d'entraîner la libération de nombreuses substances irritantes, notamment d'oxyde d'azote et d'ozone.
- On constate une augmentation de la prévalence des symptômes d'irritation des voies aériennes chez les soudeurs. [3]
- Les vapeurs nitreuses, le phosgène (COCl_2) et l'ozone ou l'acroléine peuvent être à l'origine d'oedèmes ou de suboedèmes aigus lésionnels.
- En cas d'inhalation massive d'irritants, on peut également observer, dans les minutes ou les heures qui suivent, la survenue d'un syndrome de Brooks (toux, dyspnée associées à une hyperactivité bronchique qui pourra alors persister plusieurs mois)
- Le soudage d'alliages contenant du cadmium, du chrome du manganèse ou du zinc peut provoquer des pneumopathies chimiques.
- Asphyxie, lors du soudage en espace confiné, par accumulation de fumées rapidement toxiques et/ou par appauvrissement de l'air en oxygène.

Effets respiratoires chroniques

■Pneumoconiose

La **sidérose** n'apparaît qu'après une exposition régulière et prolongée (10 à 15 ans) aux fumées de soudage en atmosphère confinée sans ventilation. L'absence de protection respiratoire ou un port irrégulier favorise la survenue d'une sidérose. [1]

Cette sidérose est considérée en général comme bénigne, mais elle peut parfois chez les soudeurs, être associée à une **fibrose**, en raison de la silice présente dans les électrodes, on parlera alors de sidérosclérose.

En raison de l'utilisation de matériaux d'isolation thermique contenant de l'amiante, des cas d'**asbestose** ont été retrouvés.

Par ailleurs la présence de divers métaux dans les électrodes peut théoriquement être à l'origine d'autres pneumoconioses telles que l'**aluminose**, la **staniose**, la **bérylliose** ou la **barytose**.

■Asthme

Différents composés présents dans les fumées de soudage peuvent être en cause. Nous citerons la colophane, le chrome, le nickel ou le cobalt (soudage de l'acier inoxydable). [1]

Les flux en particulier, peuvent contenir de la colophane (résine), du polypropylène glycol, de l'alkylarylpolyéthéralcool ou de l'amino-éthyl-éthylamine, responsables d'asthme ainsi que de lésions eczématiformes (pour la colophane)

■ Bronchopneumopathies chroniques

Chez les soudeurs un certain nombre d'étude montrent une augmentation de la prévalence des symptômes d'irritation chronique tels que la toux et l'expectoration chroniques, plus rarement de la bronchite chronique.

Mais concernant la fonction respiratoire des soudeurs, les résultats des différentes études sont discordants.

Lien avec l'apparition d'une bronchite chronique : selon Näslund et Högstedt. Confirmé par l'étude Özdemir et al. Sobaszek et al., dans une étude cas témoin portant sur des soudeurs procédés MIG et TIG, a mis en évidence une prévalence plus élevée des signes d'irritation bronchique (toux, expectoration) et une diminution de la fonction ventilatoire de base au-delà de 25 ans d'exposition aux fumées de soudage inox. [3]

■ Autres pathologies respiratoires liées à l'exposition chronique aux fumées de soudage

Des cas de pneumopathie interstitielle fibrosante (*hard metal interstitial pulmonary disease*) ont été décrits chez des soudeurs.

Le risque de mortalité par pneumonie serait accru par une augmentation réversible de la susceptibilité aux infections. L'exposition à l'ozone et aux oxydes d'azote pourrait être impliquée (Coggon et al.) [3]

<i>Principaux effets sur la santé de certains composants</i>	<i>des flux de brasage</i>
COLOPHANE <i>Respiratoire : asthme</i> <i>Cutané : eczéma, dermatite de contact allergique, urticaire de contact (rare)</i>	VME : 0,1 mg/m ³ (exprimé en formol)
FLUORURES <i>Irritations graves des muqueuses, système respiratoire, peau. (pas d'atteintes osseuses chez les braseurs)</i>	VME : 2,5 mg/m ³ en F
CHLORURES <i>Irritations muqueuses, dermatite, système respiratoire</i>	VLE : 7,5 mg/m ³
ISOPROPANOL <i>Dermites irritatives, eczéma, syndrome ébrieux</i>	VLE : 980 mg/m ³
AMINOETHYLETHANOLAMINE <i>Dermites irritatives et eczémas allergiques</i>	
HYDRAZINE, cancérigène catégorie 2 <i>Dermites irritatives et eczémas allergiques</i>	VME : 0,1 mg/m ³

Tableau tiré de : « Le brasage tendre » fiche pratique de sécurité ED 122, INRS [12]

Effets cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction

- Les fumées de soudage sont répertoriées groupe 2B, cancérogène possible, dans la classification du CIRC. Elles contiennent des poussières de chrome hexa valent, de nickel, de béryllium, et de thorium. [3]
- Un excès de cancers broncho pulmonaires primitifs a été mis en évidence (de l'ordre de 30 à 50%) dans plusieurs études épidémiologiques, cas témoins ou de cohorte, portant sur la prévalence ou la mortalité par cancer bronchopulmonaire. Le rôle du chrome hexa valent, du nickel et de l'asbeste a été évoqué.
- Cet excès de cancer broncho pulmonaire n'a pas été confirmé dans toutes les études.
- Deux facteurs de confusion ont été fréquemment évoqués pour expliquer cet excès de cancer du poumon : le tabagisme (dont la prévalence est significativement plus élevée chez les soudeurs) et l'amiante (notamment chez les soudeurs dans l'industrie navale).
- La mutagénicité des fumées de soudage sur acier inoxydable, (test d'Ames, Hedenstedt et al.; Maxild et al.) ainsi qu'un excès d'aberrations chromosomiques a été décelé (Elias et al. ; Knudsen et al.)
- Une altération de la spermatogénèse est retrouvée dans certaines études (Mortensen).

Autres pathologies

- **La fièvre des métaux** est assez rare chez les soudeurs. L'exposition aux fumées d'oxyde de zinc (métal galvanisé) entraîne un syndrome similaire à celui de la fièvre des fondeurs de laiton. [1] Les symptômes apparaissent dans les heures suivant l'exposition. Une fièvre à 39-40°C, des frissons, des myalgies, une irritation des voies aériennes supérieures, une toux, une oppression thoracique sont fréquemment décrits. L'auscultation pulmonaire, la radiologie et les épreuves fonctionnelles sont généralement normales. L'évolution est favorable sous 24 à 48 heures. Un phénomène de tolérance est décrit, avec atténuation des manifestations lors d'une exposition régulière. Mais les symptômes peuvent réapparaître lors d'une nouvelle exposition, « fièvre du lundi », après une interruption de l'exposition durant le week-end.
- Le risque de **saturnisme** lors du soudage « étain-plomb » est très discuté. Un certain nombre de d'études ne trouvent en effet pas d'augmentation significative de la plombémie chez les soudeurs. Cependant, d'autres études décrivent des cas de saturnisme subaigu avec coliques de plomb lors d'intervention sur des ouvrages d'art métalliques protégés par du minium de plomb.

Risques liés à l'exposition aux fumées de soudage en fonction des poussières de métaux : [3] [16] [17]

- ☞ **Aluminium** : emphysème, fibrose pulmonaire
- ☞ **Cobalt, Zinc, Béryllium** : fibrose pulmonaire

En raison de ses propriétés thermo-mécaniques, le cobalt est très employé pour la fabrication de superalliages dont il améliore la résistance mécanique, la résistance à l'usure et à la corrosion. Les outils de coupe et d'usinage sont constitués d'alliages frittés de carbure de tungstène et de cobalt. Diverses manifestations respiratoires ont été mises en évidence : syndrome irritatif, rhinite, conjonctivite, toux irritative et asthme. Pneumopathie d'hypersensibilité pouvant évoluer vers la fibrose interstitielle diffuse. Une élévation du risque de cancer broncho-pulmonaire a été mise en évidence. En rapport avec une exposition conjointe cobalt et carbure de tungstène.

☞ **Béryllium** : Conjonctivites, dermites, pneumopathie, fibrose pulmonaire. Le béryllium ou glucinium est un métal gris-argenté, d'aspect brillant, plus léger que l'aluminium et plus résistant que l'acier. Il est également non magnétique, résistant à la corrosion et bon conducteur thermique. Du fait de ces propriétés il est présent dans de nombreux secteurs industriels. Le secteur de la métallurgie et de la fabrication d'alliages est le plus gros consommateur de béryllium. Les principaux effets toxiques du béryllium sont des atteintes pulmonaires et des lésions hépatiques et rénales. L'atteinte pulmonaire se caractérise par une pneumopathie chronique retardée, la béryllose, (diagnostic différentiel avec la sarcoïdose) Elle est accompagnée parfois de manifestations cutanées de type dermite allergique. L'installation se fait dans un contexte d'altération de l'état général et ne survient que chez des personnes présentant une susceptibilité génétique. Un excès de cancer pulmonaire a été retrouvé chez les patients atteints de béryllose chronique. Le béryllium est classé cancérigène avéré, catégorie 1.

- ☞ **Fer** : sidérose **Silice** : silicose
- ☞ **Nitrites** : sidérose, néoplasme des bronches et fosses nasales
- ☞ **Cadmium** : fièvre des fondeurs, asthme, atteinte rénale, troubles gastro intestinaux. néoplasme bronches et fosses nasales.
- ☞ **Cuivre, Zinc** : fièvre des fondeurs
- ☞ **Nickel** : fièvre des fondeurs, pneumopathie, dermite eczématiforme
- ☞ **Chrome** : ulcération de la cloison nasale ; pigeonneaux des doigts ; dermite de contact -asthme ; BPCO - emphysème; néoplasme bronches et fosses nasales ; sidérose.
- ☞ **Aldéhydes** : irritations VRS
- ☞ **Colophane** : asthme
- ☞ **CO, CO₂** : irritation VRS, SNC, myocarde
- ☞ **NO, Oxydes de fer, Ozone, Phosgène** : irritation des VRS
- ☞ **Cyanures** : anoxie

- ☞ **Manganèse** : SNC, pneumopathie
- ☞ **Métaux durs** : broncho-pneumopathie, asthme
- ☞ **Plomb** : saturnisme, encéphalopathie, lésions rénales.
- ☞ **Sulfure d'hydrogène** : kératoconjonctivite, bronchite
- ☞ **Trichloréthane** : effets narcotiques et hépatotoxiques.
- ☞ **Thorium** : risque potentiel de contamination externe et interne ; métal faiblement radioactif émetteur alpha et gamma ; exposition lors de l'affûtage des baguettes en tungstène thorié utilisées pour le soudage, selon le procédé TIG, des aciers inox et de l'aluminium.

Principaux effets sur la santé des métaux et de leurs oxydes

PLOMB

Saturnisme ; atteintes hématologiques, rénales, digestives, neurologiques, troubles de la reproduction, reprotox catégorie 1 ; VME : 0,1 mg/m³

ETAIN

Faible toxicité, symptômes irritatifs locaux : conjonctivite, rhinite, dyspnée. Pneumopathie de surcharge : stannose ; dermatites de contact

ARGENT

Oxyde est irritant cutané, oculaire et respiratoire, VME : 0,1 mg/m³ inhalation chronique : argyrie (coloration bleu ardoise des muqueuses)

CUIVRE

Fumées d'oxyde de cuivre : irritation des VRS, nausées, fièvre des fondeurs Dermites de contact rares, VME : 0,2 mg/m³, fumées et 1 mg/m³, poussières

CADMIUM

Atteinte pulmonaire : aigue, OAP sévère possible, cancer (oxyde de Cd K cat 2)

Insuffisance rénale VME : 0,05 mg/m³

ANTIMOINE

Pneumoconiose de surcharge : stiboise ; Trioxydes : K cat 3 ; VME : 0,5 mg/m³

Oxydes : irritants cutané, oculaire, VRS, bronchite chronique

INDIUM

Pour certains composés: toxicité hépatique, rénale, pulmonaire

ZINC

*Fumées d'oxyde de zinc : irritation VRS, digestives et fièvre des métaux
Poussières de zinc : peu d'effet aigu ou chronique*

Tableau tiré de : « Le brasage tendre » fiche pratique de sécurité ED 122, INRS [12]

RISQUES PHYSIQUES

➡ **Rayonnements :**

👁 **UV**, particulièrement important dans le procédé TIG. Ces rayonnements induisent un risque d'érythème et de brûlures cutanées plus ou moins sévères. Ainsi que des risques oculaires : kérato-conjonctivite, risque de « coup d'arc ». Celui-ci se traduit, après une période de latence, par un larmoiement, une sensation de brûlure oculaire, une photophobie et un blépharospasme. Le ptérygion serait plus fréquent chez les soudeurs.

👁 **IR** émis par le métal en fusion, risque de cataracte et de brûlure rétinienne

👁 **Visible, lumière bleue** [24]

➡ **Bruit** : Cette nuisance fréquente en milieu professionnel [7] peut trouver son origine dans le procédé de soudage lui-même, mais est le plus souvent en lien avec des activités de préparation (meulage, découpe) et/ou au bruit des générateurs de l'arc électrique ou de la ventilation. (confère chapitre métrologie)

➡ **Températures élevées** : le stress thermique et le rayonnement infrarouge qui peuvent survenir doivent être pris en compte en tant que contrainte physiologique significative. [5]

➡ **Vibrations** : outils pneumatiques à main pouvant être utilisés lors des activités de préparation au soudage

RISQUES SENSORIELS 👁

➡ Bruit de l'aspiration, de l'environnement de l'atelier, lors des travaux de préparation ou de finition, ou soudage à l'arc sur aluminium

➡ Eblouissement et fatigue visuelle de la lumière bleue [24]

RISQUES BIOMECANIQUES ⚔

- ➡ Manutention de charges lourdes
- ➡ Postures contraignantes
- ➡ Gestes répétitifs

CHARGE MENTALE

- ➡ Travail de précision
- ➡ Travail sous contrainte de temps

RISQUES ORGANISATIONNELS

- ➡ Travail posté
- ➡ Déplacements pour les soudeurs très spécialisés, notamment les soudeurs au chalumeau.

AUTRES RISQUES [24] [5]

➡ **Risques électriques**

- ⚡ Liés aux pièces nues sous tension (pièces à souder, électrodes, raccords, câbles, pince porte-électrode)
- ⚡ Liés aux tensions mises en jeu : tension à vide des générateurs
- ⚡ Liés à l'environnement conducteur ou très conducteur : pièces métalliques, enceintes conductrices, milieu humide sueur.

➡ **Risques d'incendie et d'explosion** : l'utilisation de flammes, de gaz sous pression, de courant électrique produisant des arcs, des étincelles, des projections de métal en fusion et de laitier, représente autant de risques d'incendie ou d'explosion.

➡ **Radiations ionisantes** : les électrodes en tungstène thorié sont utilisées dans le procédé de soudage TIG. Il ne semble pas qu'il existe un risque sérieux d'exposition pour les soudeurs, actuellement le cérium vient substituer le thorium. En revanche des accidents d'irradiation ont été décrits avec les sources utilisées pour les radiographies de contrôle des soudures, avec exposition aux rayonnements X et Gamma, du fait de la proximité des soudeurs lors des vérifications par les organismes agréés.

➡ **Champs électromagnétiques** : bien que les risques à long terme des champs électromagnétiques de basses fréquences ne soient pas encore clairement établis, il convient d'appliquer le principe de précaution, en particulier pour les porteurs d'implants actifs (stimulateurs cardiaques ou défibrillateurs implantables).

RISQUES POUR L'ENVIRONNEMENT

■ Pollutions :

- ☁ Pollution chimique par les métaux des eaux et du sol
- ☁ Pollution atmosphérique par les vapeurs et les poussières métalliques

■ Accidents, incendie, explosion : 💣

Inflammation de gaz, de poussières ou de solides au contact de points chauds

RISQUES SPECIFIQUES DU SOUDAGE AU CHALUMEAU

RISQUES CHIMIQUES

☀ **Les risques dus aux fumées, intoxication/irritation :**

- ➡ l'action de la flamme sur les pièces à souder et sur les flux de brasage, provoque des fumées incommodantes, insalubres, irritantes ou toxiques.
- ➡ Ces fumées, gaz et poussières, proviennent à la fois de métal de base, du métal d'apport, de la décomposition des flux de brasage, des traitements de surface des pièces (dégraissant, peintures, enduits...) des gaz utilisés
- ➡ L'inhalation répétée de ces fumées peut se traduire par des troubles plus ou moins graves :
 - Irritation de la peau et des yeux (émission de dérivés halogènes chlorés ou fluorés) de gravité variable : de type aigu
 - Atteinte de la fonction respiratoire : de type aigu par inhalation de dérivés irritants (solvants chlorés, cadmium) de type chronique (bronchite chronique, sidérose) et fièvre des soudeurs (ou fièvre des métaux qui est bénigne)
 - Autres manifestations organiques : atteintes neurologiques, hépatiques et rénales, liées aux expositions de poussières de métaux
 - Une augmentation du risque de cancer pulmonaire en rapport avec l'inhalation de substances cancérigènes (comme l'oxyde de cadmium) [3]

☀ **Les risques dus aux gaz :** [11]

- ➡ On utilise principalement une flamme d'hydrogène et d'oxygène ou de l'oxyacétylène.
- ➡ **Oxygène** : un % d'O₂ dans l'air ambiant supérieur à 25% augmente les risques **d'incendie**.
- ➡ **Acétylène** : présente des risques d'**explosion** même sans apport d'air ou d'oxygène. C'est un gaz très inflammable et instable sous pression. Comprimé il peut se décomposer (explosion) sous le seul effet de la pression, d'un choc, d'une élévation de température ou au contact de certains alliages. Son stockage et sa distribution sont, pour cette raison soumis à des précautions et à une réglementation particulières. (Pression maximale d'utilisation à 1,5 bar, pour l'acétylène en phase gazeuse)

- L'acétylène peut être contaminé par de l'hydrogène phosphoré.
Gaz incolore plus lourd que l'air et très toxique.
- Exposition aiguë : atteinte système nerveux et respiratoire.
- Exposition subaiguë : lésions hépatiques, rénales, myocardiques, ainsi que des voies respiratoires et du système nerveux central.
- Les risques dus à la **combustion des gaz**.
- Production de **monoxyde de carbone**
- Décomposition de l'air sous l'effet de la chaleur, avec production **d'oxydes d'azote** (irritant oculaire et respiratoire avec risque de manifestations de type œdème pulmonaire ou emphysème)

☀ **Brasage tendre à l'aide du mélange plomb-étain**

- Les fumées de brasage tendre contiennent peu de métaux car les températures atteintes (hormis le chalumeau à gaz) sont situées entre 180°C et 250°C.
- Le plomb commence à se volatiliser vers 550°C et l'étain, l'argent, le cuivre bien au-delà.
- La température de fusion est insuffisante pour libérer des quantités importantes de vapeurs de plomb
- mais l'exposition à de fines poussières d'oxyde de plomb est possible surtout lors de la phase de polissage de la soudure.
- Les opérations de grattage ou de limage des soudures peuvent provoquer l'inhalation de poussières métalliques ainsi que la contamination des mains.
- Le risque d'intoxication au plomb est extrêmement faible lors du brasage manuel au fer à souder et l'utilisation d'un alliage 40% plomb- 60% étain.
- A températures plus élevées, pour le soudobrasage et le soudage, les fumées peuvent alors contenir des métaux (confère tableau **PAGE**)

RISQUES PHYSIQUES

- ☀ Les projections de métal incandescent à l'origine de graves lésions oculaires et des **brûlures** : si l'on surchauffe le bain de fusion ou si la buse entre en contact avec le métal en fusion, d'où le port de vêtements en coton ignifugé, couvrants.
- ☀ Les risques dus à la **flamme et aux rayonnements, UV, IR** :
 - La flamme peut causer des brûlures cutanées, allant de l'érythème jusqu'à des brûlures au 3^{ème} degré.
 - Le rayonnement UV est peu important, des lunettes avec protection 4 à 7 suffisent.

- ➡ Néanmoins ils peuvent provoquer une lésion de la cornée ou de la conjonctive de l'œil qui se manifeste par une sensibilité des yeux à la lumière et une sensation de paupières en « papier de verre »
- ➡ Par contre les IR et la chaleur peuvent provoquer des conjonctivites et des lésions oculaires chroniques :
 - sclérite diffuse des soudeurs au chalumeau
 - plus rarement, la cataracte des soudeurs oxy-acétyléniques
- ☀ **Risque électrique** : lié à l'utilisation de fer à souder électrique défectueux ou le brasage de pièces sous tension.
- ☀ Blessures dues à la **manutention** : essentiellement des coupures
- ☀ **Incendie** : risque amplifié en présence de matériaux ou de substances inflammables ou explosives.

RISQUES SPECIFIQUES DU SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE

RISQUES CHIMIQUES

Fumées de soudage

- Ⓢ Fumées de soudage : du fait des hautes températures atteintes au point de fusion, les différents procédés de soudage à l'arc ont en commun l'inconvénient d'émettre des fumées. (Leur importance et leur composition dépendent, notamment, des conditions de travail) [13]
- Ⓢ C'est sans conteste le soudage à l'arc électrique et électrode enrobée ou soudage à l'arc manuel, qui dégage le plus de fumées. Avec les électrodes enrobées acides, alcalines ou contenant du rutile. 30-90% de la fumée totale sont constitués de chrome hexavalent. Des fluorures sont présents avec des enrobages alcalins. Et le nickel en forte proportion avec des enrobages riches en métal.
- Ⓢ Les éléments principaux trouvés dans les fumées : fer, cuivre, silicium, chrome, manganèse, fluor, potassium et calcium.
 - ➡ Les électrodes utilisées peuvent ne pas être consommées au cours de l'opération (électrode en graphite ou en tungstène) mais le plus souvent elles fournissent le métal principal de jonction des deux pièces métalliques et contiennent, en plus de l'acier, différentes substances (manganèse, fer, titane, asbeste, mica, talc, alumine, silice...)
 - ➡ Ces substances se trouvent habituellement dans le flux ou dans l'enrobage recouvrant l'électrode.
 - ➡ Selon le métal de base on peut trouver du titane, du zinc ou de l'étain.
 - ➡ Le dioxyde de silicium (SiO_2) se trouve dans la fumée sous forme amorphe, non cristalline et ne revêt donc pas le caractère toxique du quartz.

Gaz

- Ⓢ Gaz produits au cours du soudage à l'arc : le CO , CO_2 , NO_2 et O_3
 - ➡ NO_2 et O_3 résultent de l'action des rayons UV sur l' O_2 et le N_2 atmosphériques.
 - ➡ A l'exception du NO_2 , la concentration de ces gaz n'est généralement pas suffisante pour entraîner des manifestations toxiques chez les sujets sans antécédents pulmonaires (asthmatiques).

☉ Anoxie, asphyxie : par appauvrissement en oxygène de l'air dans le local. Dans les procédés de soudage sous protection gazeuse, le gaz émis par la torche et celui apporté éventuellement en complément, pour la protection de la soudure, peuvent dans certains cas (récipient en creux, gros débit de gaz...) déplacer suffisamment l'air pour en altérer la qualité par diminution de la teneur en oxygène de l'environnement du poste de travail. En dessous de 18% d'oxygène, des malaises peuvent survenir, entraînant rapidement l'asphyxie.

Indication du niveau de risque de l'opération de soudage en fonction du métal d'apport (fil, électrode, enrobage) ; INRS, ED 668 [14]

Classification NF A 81-040		Niveau de risque Sans revêtement 🖐
Fil pour MIG/ MAG Et électrode enrobée	A1	très élevé
	A2	très élevé
	A3	très élevé
	A4	élevé
Fil pour MIG/ MAG Et électrode enrobée	B1	élevé
	B2	moyen
	B3	moyen
	B4	moyen
Baguette pour TIG		peu élevé

🖐 **Avec revêtement (huile, graisses, solvants, peinture, zinc, plomb...) il peut y avoir augmentation importante du risque**

RISQUES PHYSIQUES

- ☉ Le risque de « coup d'arc », lié à l'intensité du rayonnement (visible, UV et IR) produit par l'arc électrique :
 - ➡ kérato-conjonctivites, érythèmes : UV
 - ➡ lésions rétinienne : effets photochimiques de la lumière bleue
 - ➡ cataractes, brûlures du visage, de l'œil et de la rétine : rayonnement visible et IR
 - ☉ Electrisation, électrocution : par contact direct ou indirect. Le risque est faible sauf en cas de travail en environnement humide.
 - ☉ Brûlures
 - ☉ Incendie, explosion
 - ☉ Interférences radioélectriques
- Perturbations dues aux appareils de soudage sur des implants actifs et des commandes de machines et appareils de levage voisins
- ☉ Les projections de laitier lors du soudage ou du piquage
 - ☉ Le bruit est généralement faible, sauf pour les procédés semi automatiques et le soudage sur aluminium.

RISQUES SPECIFIQUES DU SOUDAGE SOUS COUVERT DE GAZ (ARGON, HELIUM) TUNGSTEN INERT GAS SHIELDED METAL ARC : **TIG**

Procédé de soudage qui met en oeuvre un courant de très grande densité. [5]

RISQUES PHYSIQUES

- ☉ Emission intense de radiations UV

RISQUES CHIMIQUES

GAZ

- ☉ Production d'**ozone** et de **NO₂**
- ☉ Production de **CO** si emploi de CO₂ comme gaz protecteur
- ☉ Décomposition et formation de divers contaminants, dont le **phosgène** :

☛ Si du trichloréthylène ou d'autres solvants chlorés, comme le perchloréthylène et le méthylchloroforme (utilisés pour le dégraissage de pièces) contaminent l'atmosphère, alors la température de l'arc peut engendrer la formation de phosgène (COCl₂), d'HCl, de Cl₂ et d'autres produits chlorés comme le chlorure de dichloroacétyle.

☛ Le CCl₄ engendre de plus forte concentration de phosgène que les autres solvants chlorés, mais dans la plupart des pays, la législation interdit l'emploi de ce solvant.

☛ Le risque de production de phosgène en présence de solvants chlorés est plus important dans le soudage de l'aluminium. En raison de l'intensité du rayonnement UV.

Poussières

- ☉ Production de fumées métalliques, à l'identique du procédé à l'arc électrique
- ☉ L'utilisation d'électrodes thorium-tungstène dans des espaces confinés, non ou mal ventilés, peut donner lieu à des expositions à des fumées radioactives.

A noter que dans le soudage à l'arc électrique et électrode enrobée, ainsi que dans le soudage semi type MIG et MAG, les risques sont majorés, par rapport au procédé TIG. L'émission de fumées et de poussières (surtout oxyde de fer), les projections sont plus importantes. De même que le risque rayonnement.

Il est intéressant de souligner que les procédés les plus utilisés Sont les procédés de soudage les plus exposants.

EVALUATION DES RISQUES PROFESSIONNELS : ETUDE DE POSTE ET FICHE ENTREPRISE

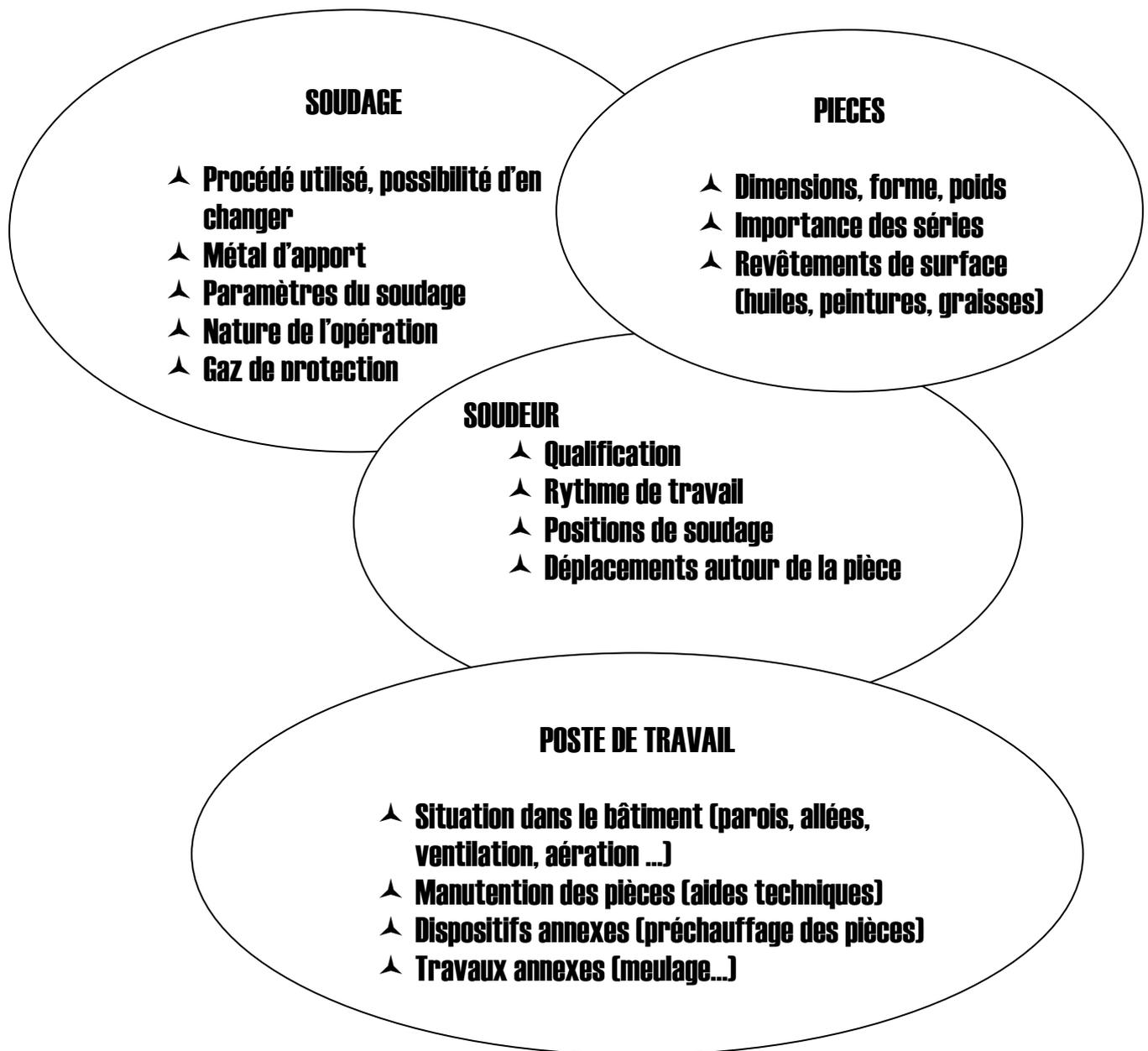
ETUDE DE POSTE

La minutie et la précision sont des qualités essentielles pour qui veut devenir soudeur. Néanmoins il existe de grandes variations des postes et des conditions, selon le procédé de soudage et l'application. Par exemple, peu de choses en commun entre le soudeur dans l'industrie du meuble, où les risques de projections ou de brûlure sont minimes comparés au salarié qui effectue des soudures sur des chantiers navals ou des chantiers de constructions.

Les soudeurs sont presque toujours dans le noir, ils passent leur journée sous leur casque de protection. Ils oeuvrent plutôt en solitaire, chacun dans sa « cabine », protégés les uns des autres par un rideau.

- ⊗ analyse du cycle de travail : travail prescrit ou tâche
- ⊗ analyse de l'activité, travail réel
- ⊗ installation générales : caractéristiques des locaux, matériel, outils
- ⊗ personnel : effectif, caractéristiques, biométrie
- ⊗ métrologie d'ambiance

- ⊗ L'analyse du poste de travail nécessite une approche de différents paramètres :
 - ⊕ le soudage : caractéristiques liées au procédé mis en œuvre
 - ⊕ les pièces à souder : contraintes propres, taille, poids, manutention, revêtement de surface
 - ⊕ le soudeur : les interactions homme / procédé de soudage / soudage
 - ⊕ le poste de travail : les contraintes exercées par l'environnement et le matériel sur le poste



Paramètres à prendre en compte pour l'analyse du poste de travail (INRS ED 668) [14]

🌀 L'analyse du travail prescrit :

Procédé de soudage au chalumeau :

- ☀️ manutention éventuelle des bouteilles
- ☀️ nettoyage des surfaces à souder avec une lime, de la toile émeri, de la laine d'acier
- ☀️ application du décapant ou flux (permet la répartition du métal d'apport et évite l'oxydation des pièces à souder, à chaque métal

d'apport correspond une pâte décapante ou flux, dans certains métaux d'apport le flux est incorporé : âme décapante)

- ☀ assemblage des éléments, par exemple à l'aide d'une pince étai
- ☀ chauffe du métal à l'endroit de l'assemblage jusqu'à la température de fusion du métal d'apport
- ☀ pose du métal d'apport sur le joint, il fond au contact du métal chauffé

Soudure par capillarité ou brasage tendre :

- ☀ nettoyage des pièces à souder à la toile émeri ou à la laine d'acier
- ☀ enduire les parties à souder avec de la pâte décapante en gel
- ☀ emboîtement des pièces à assembler en tournant pour répartir la pâte décapante
- ☀ chauffage du joint à la flamme (la pâte décapante grésille et noircit)
- ☀ lorsque le cuivre prend une couleur rouge cerise, écarter la flamme et poser sur le joint le fil de soudure
- ☀ la soudure à l'étain fond et « file » dans le joint,
- ☀ essuyer avec un chiffon

Soudure à l'arc

- ☀ allumage du poste à souder (choix de la tension 220V ou 380V)
- ☀ réglage de l'intensité en fonction de l'épaisseur à souder
- ☀ nettoyage soigneux des pièces à souder à la brosse métallique et au besoin dégraissage
- ☀ si un élément à souder a été préalablement tronçonné, ébarbage à la lime avec création d'un chanfrein
- ☀ assemblage des pièces à souder, par exemple avec un serre-joint
- ☀ l'ensemble est placé sur un support ininflammable et la pince de masse est fixée sur la pièce à souder
- ☀ l'électrode est fixée dans le porte-électrode du poste à souder
- ☀ l'arc électrique est amorcé par le frottement de la pointe de l'électrode sur la pièce ce qui crée des étincelles
- ☀ on éloigne l'électrode de 2 à 3 mm pour créer l'arc électrique, le soudage peut commencer. Il se fait par déplacement régulier de l'électrode au dessus de la zone à souder, pour créer le cordon de soudure
- ☀ Pour souder des pièces longues, on réalise une soudure par points sur une face avant de souder en cordon sur l'autre face
- ☀ Après soudure, on laisse refroidir, puis la soudure est piquée au marteau à piquer pour éliminer le laitier

📍 L'analyse de l'activité, travail réel

Le débit d'émission et la composition des fumées dépendent de nombreux paramètres (dont certains sont liés entre eux) parmi lesquels on peut citer :

- 👉 le procédé de soudage
- 👉 le diamètre du fil ou de l'électrode
- 👉 le rendement de l'électrode
- 👉 la composition et l'épaisseur de l'enrobage ou du flux (fils fourrés)
- 👉 la composition du fil ou de l'électrode qui, jointe aux caractéristiques précédentes, détermine le risque induit par le produit d'apport
- 👉 les paramètres de soudage : intensité, tension, longueur d'arc, vitesse de déplacement
- 👉 le facteur de marche de l'installation (temps effectif de soudage/ temps total de travail)
- 👉 la position de soudage : à plat, en angle, verticale montante... le débit et la composition du gaz protecteur, la composition du métal de base et son préchauffage éventuel
- 👉 la présence de revêtements (contenant du zinc, du plomb, du cadmium...) ou de contaminants sur le métal de base (par exemple salissures, graisses, traces de solvants)

L'ensemble de ces paramètres et à évaluer sur le terrain :

- 🌍 Avec étude des fiches données sécurité de tous les produits utilisés, ainsi que la composition précise des matériaux mis en œuvre, des quantités utilisées.
- 🌍 Les mesures de prévention collectives et individuelles mises en œuvre.

⊗ installations générales : caractéristiques des locaux, du matériel, des outils
(description plus détaillée, confère : chapitre fiche d'entreprise)

⊕ caractéristiques des locaux : situation, surface, orientation, ouvertures, voies d'accès, de circulation, d'évacuation, éclairage, chauffage, caractéristiques de réverbération des parois, nombres de postes et disposition, présence de coactivité, lieu de stockage du matériel, salle de repos, locaux d'hygiène, ...

⊕ mise en sécurité du site :

- ➡ balisage de la zone de travail, limitation de l'accès
- ➡ évacuation des produits inflammables
- ➡ armoires électriques consignées
- ➡ présence d'un extincteur
- ➡ modalités de stockage des bouteilles, à l'extérieur du local

⊕ équipement du poste de travail :

- ➡ escabeau de hauteur adaptée permettant une position de travail stable,
- ➡ la zone de travail doit être laissée libre
- ➡ présence de notices au poste

⊕ installation et mise en service du poste :

- ➡ positionnement des bouteilles sur un sol ferme et plan, les attacher pour prévenir le risque de chute.
- ➡ vérifier l'absence de graisse sur les manodétendeurs et les raccords de bouteille, montage et vérification de l'étanchéité des raccords
- ➡ protection des appareils contre les projections de métal en fusion (armoire électrique, brûleur, pompes, matériels de régulation)

⊕ ventilation du local, caractéristique, maintenance, dernières mesures

⊕ dispositif d'aspiration au poste, réalité de l'utilisation, caractéristiques et maintenance

⊕ protection des individus et des matériels

Lunettes ou masques de soudage, gants en cuir, chaussures de sécurité, bleu en coton (sans graisse)...

👤 personnel :

⊕ effectif, ancienneté, horaires, formation et qualification professionnelle

⊕ caractéristiques, données du suivi médical, incidents, accidents, reconnaissance de maladies professionnelles, signes d'exposition excessive, plaintes

⊕ biométrie adaptée à l'exposition

Les IBE sont de deux types :

🟢 **Indicateurs biologiques d'exposition**, ils reflètent l'exposition réelle du salarié en intégrant toutes les voies de pénétration, toutes les sources d'exposition et le port d'EPI. (dosage du toxique ou d'un de ces métabolites)

🟢 **Indicateurs biologiques d'effet**, ils traduisent :

- 🔴 La réponse de l'organisme (adaptation ou compensation)
- 🔴 Des altérations précoces des mécanismes de défense.

Prévention médicale en cas d'exposition aux métaux lourds lors du soudage [3]

MÉTAL	IBE	Examens paracliniques	CMR
Béryllium	<i>Si exposition à 2 µg/m³ (VME) Be urinaire à 7µg/l et Be sanguin à 4 µg/l, non exposé < 0,9 µg/l d'urines</i>	<i>Test de prolifération lymphocytaire au contact du béryllium</i>	<i>Classé cat 1 (CIRC), non mutagène, non reprotoxique</i>
Cadmium	<i>Cd sang < 5µg/l Cd urinaire < 5µg/g créat.</i>	<i>RP, EFR, protéinurie : RBP et β2µglobuline</i>	<i>Classé cat 2A (CIRC) mutagène et reprotoxique</i>
Cobalt	<i>Cobaltémie < 5µg/l Cobalturie < 15µg/l Fin de poste et semaine</i>	<i>EFR, RP, ECG Bilan thyroïdien</i>	<i>Classé cat 2B (CIRC)</i>
Chrome	<i>Cr sanguin < 0,05µg/0,1l Chromurie < 1µg/g créat.</i>	<i>Rhinoscopie, RP, EFR</i>	<i>reprotoxique</i>
Manganèse	<i>Mn sang ≤ 7 à 10 µg/l Mn urines ≤ 1 à 3 µg/l</i>	<i>NFS Plaquettes EFR, tests ψ techniques</i>	<i>Non</i>
Nickel	<i>Nickel sang ≤ 4 µg/l Ni urinaire ≤ 2 à 10 µg/l Fin de poste et semaine</i>	<i>Rhinoscopie, RP, EFR, tests épicutané au sulfate de Ni</i>	<i>Classé cat 1 par UE</i>
Plomb	<i>Plombémie 70 µg/100 ml ALA u < 4 mg/g créat. PPZ < 2,2 µg/g d'Hb</i>	<i>NFS avec Hb et Ht Créatinémie, plombémie, PPZ (expo chronique) ou ALA u (expo aigue)</i>	<i>Classé 2B par le CIRC et catégorie 1 par UE reprotoxique</i>

- La prescription et l'interprétation ainsi que la restitution individuelle et collective (anonyme) des résultats, sont strictement du ressort du médecin.
- Une mesure isolée n'est pas directement exploitable.
- Si la taille du groupe homogène d'exposition est trop petite, on privilégiera alors un suivi des salariés dans le temps, par exemple en effectuant une série de prélèvements avant des mesures de prévention, et une seconde série après.
- Les prélèvements doivent être effectués dans des conditions rigoureuses d'hygiène, pour éviter tout risque de contamination externe.
- Les données précises sur les modalités de prélèvement : support, transport, moment du dosage doivent être connus. Ainsi que le laboratoire agréé ou en mesure d'effectuer les analyses.
- Le moment du prélèvement dépend de la demi-vie du produit étudié.
- On pourra aussi consulter le guide BIOTOX.
- A l'exception de la plombémie, les IBE n'ont pas de valeur réglementaire en France. Il s'agit de valeurs conseils, dont la définition et l'interprétation peuvent varier selon les pays. Des valeurs guides sont recommandées en France.

- ➡ Pour ce qui concerne le soudage, l'évaluation de l'exposition au **plomb** se fait par le dosage (par un laboratoire agréé) de la Plombémie, des PPZ et ALAT.
- ➡ Le suivi de l'exposition au **CO** se fait par le dosage du CO sanguin et dans l'air expiré, ainsi que l'HbCO sanguin.
- ➡ un certain nombre de dosage concerne l'exposition aux **métaux durs**. Suivant la nature de l'exposition, dosage du Pb, Cd, Be, F, Ni, Cr, Mn ... dans les milieux biologiques
- ➡ Le dosage du **cobalt** sanguin en fin de poste et fin de semaine est un bon reflet de l'exposition récente au Cobalt et à ses composés inorganiques. La cobalturie est bien corrélée avec la concentration dans l'air du local. Deux valeurs guides sont utilisées en France : 15 µg/l pour le cobalt urinaire et 1 µg/l pour le cobalt sanguin. La concentration sérique des sujets non exposés est < 0,5 mg/l et < 2 mg/g de créatinine pour la concentration urinaire. Elle est majorée chez les fumeurs, ainsi que chez les porteurs de prothèse de hanche en alliage avec cobalt.
- ➡ Une exposition au **béryllium** dans l'air des locaux de travail équivalente à la VME fixée à 0,002 mg/m³ correspond à un dosage à 7 µg/l dans les urines et 4 µg/l de sang, avec pour une population non exposée une concentration urinaire < 0,9 µg/l. Le tabac augmente ces concentrations. Le moment de prélèvement est indifférent. Le test de prolifération lymphocytaire au contact du

béryllium, réalisé sur un prélèvement sanguin, permet de diagnostiquer 70 à 94% des personnes sensibles.

- ➡ Dosage de la cadmiémie qui devra être $< 5\mu\text{g/l}$ et de la cadmiurie (reflet en exposition chronique de la charge corporelle en cadmium) qui devra être $< 5\mu\text{g/g}$ de créatinine. Il existe une bonne corrélation entre les taux de **cadmium** urinaire, l'intensité de l'exposition et le risque d'atteinte rénale.
- ➡ Pour évaluer l'intensité de l'exposition au **chrome hexavalent**, dosage du chrome urinaire en fin de semaine, avec une chromurie qui doit être $< 30\mu\text{g/g}$ de créatinine. Pour évaluer une exposition moyenne chronique, on peut doser le chrome intraérythrocytaire.
- ➡ La surveillance bio métrologique du **nickel** doit trouver un dosage urinaire en fin de poste, fin de semaine, $< 70\mu\text{g/g}$ de créatinine, pour un taux $< 5-10\mu\text{g/g}$ de créatinine chez les sujets non exposés et un dosage de nickel sanguin $< 10\mu\text{g/l}$ pour une valeur $< 4\mu\text{g/l}$ chez les sujets non exposés.

⊙ métrologie d'ambiance

⊕ ventilation, aspiration : vérification du bon fonctionnement par

- ➡ mesure des vitesses de l'air dans la zone d'évolution de l'opérateur par anémomètre thermique
- ➡ vérification de l'efficacité de la ventilation par contrôle visuel des mouvements des nuages de fumées dégagées et des dépôts de poussières au sol ou sur la zone de travail.
- ➡ Vérification d'un non colmatage des filtres par manomètre différentiel
- ➡ Détermination du champ de vitesse de l'air aux bouches de soufflage (pour la ventilation générale) par anémomètre thermique
- ➡ Contrôle visuel de la propreté des gaines
- ➡ Vérification du bon fonctionnement des ventilateurs de réseau par contrôle de la vitesse de rotation (tachymètre) et de la puissance consommée (wattmètre)

⊕ prélèvement poussières :

- ➡ diagnostic quantitatif par prélèvement actif par pompe + filtre à cassette (fraction inhalable ou thoracique) + cyclone (fraction alvéolaire) ou dispositif à coupelle rotative (type CIP 10).
- ➡ La quantification se fera par pesée gravimétrique des filtres. Ce qui ne permet pas de distinguer les différentes particules de métal collectées.
- ➡ La VME des poussières sans effets spécifiques est de 10 mg/m³ pour les poussières totales et de 5 mg/m³ pour les poussières alvéolaires.
- ➡ L'identification des fibres se fait par comptage et celle des métaux et de la silice par analyse physicochimique.
- ➡ Le prélèvement peut être ambulatoire individuel, ayant pour avantage de prendre en compte les déplacements du salarié et le geste professionnel, conférant une bonne représentativité à la mesure. Le salarié ne devra pas modifier son comportement et il conservera la pompe durant toute la durée de la mesure.
- ➡ Le prélèvement peut aussi se faire à un poste fixe, on parlera alors de prélèvement d'ambiance. Cela permet de caractériser la pollution ambiante d'un atelier, le point de mesure sera au centre de l'atelier et pas à proximité immédiate d'une source de polluant.
- ➡ La durée du prélèvement est conditionnée par le type de valeur limite d'exposition à laquelle on souhaite comparer le résultat des mesures. Il peut être unique, sur toute la durée du poste, ou multiple, avec un nombre minimal pour être représentatif.

⊕ dosage gaz : pré diagnostic semi quantitatif par prélèvement à lecture immédiate (ex. tubes colorimétriques Dräger) suivi d'un diagnostic quantitatif par prélèvement passif (badge) ou actif (pompe + tube ou barboteur). Dosage en laboratoire et comparaison aux VLE et VME.

⊕ La base de données Métropol de l'INRS comprend plus de 80 modes opératoires spécifiques à une substance ou à une famille chimique.

⊕ mesurage bruit, exposimétrie, sonométrie.

⊕ analyse des contraintes posturales (méthode RULA, OREGÉ)

⊕ analyse de la pénibilité du poste (cardiofréquence-métrie)

**VLEP : Valeurs limites d'exposition professionnelle [18]
aux agents chimiques en France (extrait tableau, ND 2098 ; INRS)**

	<i>VME en mg/m³</i>	<i>VLE en mg/m³</i>
Acétone	1210	
Aluminium (fumées de soudage...)	5	
Antimoine	0,5	
Argent	0,1	
Baryum	0,5	
Béryllium	0,002	
Cadmium		0,05
Chlorures		7,5
Chrome VI	0,05	
Cobalt	0,01	
Colophane	0,1	
Cl O ₂	0,3	
CO	50 ppm	
CO ₂	9000	
Cuivre (fumées de...)	0,2	
Etain	0,1	
Fibres de laitier	1 fibre/cm ³	
Fumées de soudage, totalité des particules	5	
Poussières inhalables et alvéolaires	10 et 5 ®	
Fluorures	2,5	
Hydrazine	0,1	
Isopropanol		980
Manganèse (fumées de ...)	1	
Méthanol	260	
Nickel	1	
NO	30	
NO ₂		6
Ozone	0,2	0,4
Phosgène	0,08	0,4
Plomb	0,15®	
Poussières oxyde de fer	5	
Silice : cristobalite et tridymite	0,05 ®	
Silice : quartz	0,1 ®	
Vanadium	0,05	
Zinc	1	

® : VLEP réglementaires, les autres valeurs sont indicatives.

FICHE ENTREPRISE [23]

Raison sociale de l'entreprise

Etablie en application de l'article R. 241-41-3 du Code du Travail et conforme à l'arrêté du 29 mai 1989.

L'employeur doit la tenir à la disposition du médecin inspecteur régional du travail et de l'inspecteur du travail.

L'employeur la présente au C.H.S.C.T. Elle peut être consultée dans l'entreprise par les agents des services de prévention de la C.R.A.M.

1. RENSEIGNEMENTS D'ORDRE GENERAL

- Ⓢ Date de la fiche :
- Ⓢ Identification de l'entreprise : adresse, téléphone, télécopie, personne contactée, nature de l'activité, convention collective de référence, CHSCT ou délégués du personnel
- Ⓢ Effectifs concernés par la fiche lors de son établissement :

2. APPRECIATION DES RISQUES / EFFECTIFS POTENTIELLEMENT EXPOSES

- Ⓢ Facteurs de risques :

⊕ physiques

- ☞ Bruit : Découpe de tôles, martelage, presse, cisailles, façonnage, meulage, piquage manuel des soudures et mécanique par aiguillage
- ☞ Intempéries en extérieur : équipes en chantiers
- ☞ Ambiance thermique des ateliers : température, hygrométrie, climatisation
- ☞ Rayonnements visibles : fort éclat lumineux --> photophobie transitoire
- ☞ Rayonnements thermiques invisibles :
 - ➡ U.V. : kérato-conjonctivite (coup d'arc), érythème du visage (AT)
 - ➡ infra-rouge : cataracte, brûlures rétiniennes
 - ➡ rayonnements ionisants
- ☞ Poussières : liées aux matériaux de base, électrode et enrobage
 - ➡ fer, sidérose, galvanisé avec production de zinc, métaux durs
- ☞ Vapeurs : de solvants chlorés utilisés comme dégraissants --> production et dégagement de phosgène
- ☞ Gaz :
 - ➡ oxyde de carbone : procédé MAG = CO₂ - Argon
 - ➡ anhydride carbonique : technique MAG à sous-oxygénation de l'air respiré par le soudeur
 - ➡ vapeurs nitreuses (O₂ et azote de l'air respiré)
 - ➡ ozone : U.V. de l'arc électrique + O₂ de l'air
- ☞ Les fumées de soudage sont répertoriées cancérogènes. Elles appartiennent au Groupe 2 B du CIRC : cancérogènes possibles.

⊕ Risques chimiques, voir les fiches de données de sécurité et analyse du procédé

- ☞ traitement de surface
- ☞ Silice
- ☞ Plomb, Nickel, Chrome
- ☞ Poussières de fer, de zinc

⊕ Risques et contraintes liés à des situations de travail

- ☞ Manutentions contraignantes pour rachis et membres supérieurs surtout en chantier :
- ☞ Postures : à genoux, accroupi, bras en surélévation, rachis en flexion
- ☞ Station debout permanente

⊕ Charge mentale :

- ☞ Opérationnelle, fonction de la charge de travail
- ☞ Emotionnelle, fonction des relations de travail
- ☞ Cognitive, relative à l'adaptation au travail par son apprentissage
- ☞ Déplacements, risque routier : pour les équipes extérieures

⊕ Risques d'accidents prépondérants :

- ☞ Risques de chutes :
 - De hauteur, particulièrement grave pour les monteurs et lors de la maintenance de certains appareils (ponts roulants,...)
 - De plain-pied : sol gras et encombré
 - Accidents par chute de pièces
- ☞ Machines dangereuses : cisailles, poinçonneuses, guillotines, presses...
- ☞ Appareils de levage : ponts roulants et palans électriques
- ☞ Appareils de levage : nécessité d'un bon état des accessoires de levage (élingues, crochets, sangles, chaînes...)
- ☞ Risques électriques
- ☞ Risques d'explosion ou d'incendie
- ☞ Autres risques : brûlures, coupures

⊕ Risques divers :

- ☞ Perforation de tympan par projection de métal en fusion
- ☞ Brûlure de la peau, lésions externes de l'oeil, corps étrangers
- ☞ Blessures, coupures lors de la manutention de pièces
- ☞ Accidents d'électrisation :
 - fonction de l'intensité du courant
 - fonction du temps de contact
 - fonction de la nature du courant : continu, alternatif
 - fonction de l'humidité : sueur

📍 Conditions générales de travail

⊕ Temps de travail : de nuit, posté, en alternance

⊕ Installations générales (description et évaluation de l'état) :

☞ Caractéristiques des locaux de travail : ils sont anciens/récents et leur disposition est/n'est pas en adéquation avec une bonne organisation du travail.

☞ (Pas de) marquage au sol.

☞ Existence d'équipements sociaux : salle de repos, réfectoire, restaurant d'entreprise, distributeur de boissons

⊕ Hygiène générale (description et évaluation sommaires) :

☞ Ventilation : de l'atelier, générale...

☞ Renouvellement d'air naturel

☞ Dispositifs individuels fixes et mobiles de chauffage

☞ Vestiaires : armoires doubles

☞ Douches, toilettes obligatoires

📍 Indicateurs de résultats (au cours des douze derniers mois) :

⊕ Accidents de travail :

☞ Accidents sans arrêt dans l'année N-1 : nombre, causes : carnet de soins ou déclaration AT

☞ Accidents avec arrêt dans l'année N-1 : nombre, nombre de jours de travail perdus, causes

☞ Incapacités Professionnelles Permanentes liées à un accident du travail

⊕ Maladies professionnelles :

⊕ Autres pathologies remarquées : avec ou sans arrêt. Peuvent elles cadrer avec un tableau de MP et être en lien avec le travail effectué ?

☞ Pathologies ostéo-articulaires.

☞ Pathologies pulmonaires à type de bronchopneumopathies chroniques avec syndrome obstructif à l'EFR

⊕ Autres indicateurs :

☞ Turn-over

☞ Absentéisme

3. ACTIONS TENDANT A LA REDUCTION DES RISQUES

- ⊗ Résultats des mesurages et prélèvements disponibles : Bruit
Eclairage Prélèvements d'atmosphère Calcul de la vitesse
d'air Rayonnements Glissance des sols

- ⊗ Mesures de prévention technologique :

⊕ Nature et efficacité de la protection collective :

- ☞ Conformité des machines, des appareils de levage
- ☞ Marquage au sol
- ☞ Isolation des machines bruyantes
- ☞ Pièges à sons : diminution de la réverbération, cloisons acoustiques, systèmes antivibratiles sur et sous les machines
- ☞ Préparation adéquate des pièces avant soudage
- ☞ Poste de soudure : aspiration des fumées de soudage à la source captage mobile incorporé à la torche, ne pas souder face au vent tables aspirantes, écrans de soudage opaques de longueur suffisante
- ☞ Nettoyage, rangement
- ☞ Chauffage, ventilation
- ☞ Sur les chantiers : garde-corps à plate-formes individuelles roulantes légères
- ☞ Aides à la manutention : système de ventouses...

⊕ Nature et efficacité de la protection individuelle :

- ☞ Protection anti-bruit en fonction du niveau de bruit
- ☞ Chaussures de sécurité, vêtement de travail (ensemble pantalon, veste) en coton ignifugé, bien ajustés, dépourvus de plis, revers, tabliers de cuir, gants à manchettes
- ☞ protection des yeux : filtre adapté à l'exposition, masques à écran LCD (Speedglass)
- ☞ protection respiratoire : des masques à cartouche sont importables sous les écrans faciaux, on peut opter pour une protection totale de la face par masque à soudage avec obscurcissement automatique, cagoule et ventilation assistée par air filtré.
- ☞ protection des mains contre l'action coupante des tôles, contre la chaleur et la conduction électrique
- ☞ protection contre l'électrisation : EPI réduisant la conduction, maintien du poste de soudage en bon état (permanence de la mise à la terre), câble de masse des pièces métalliques, chaussures de sécurité à semelles isolantes

- ⊕ Fiches de données de sécurité : disponibles/non disponibles dans l'entreprise, communiquées/non communiquées au médecin du travail

⊕ Diffusion de consignes de sécurité :

- ☞ Affichage des consignes ainsi que des listes de secouristes
- ☞ Trousse de secours
- ☞ Fiches de postes
- ☞ Ne pas boire, fumer, ni manger dans les ateliers

⊕ Etablissement de mesures en cas d'urgence :

- ☞ Plan d'évacuation
- ☞ Numéros de téléphone : pompiers, SAMU, police

Ⓢ Actions spécifiques conduites par le médecin du travail :

⊕ Plan d'activité du médecin du travail :

⊕ Actions menées dans le cadre d'une convention conclue dans le cadre de l'article 13 (décret n°88-1178 du 28 décembre 1988)

Ⓢ Mesures particulières (prises dans le cadre d'un contrat de prévention passé en application d'une convention d'objectifs article L.442-5 du Code de la Sécurité Sociale)

Ⓢ Mesures concernant la formation à la sécurité : moyens, modalités. Formation à l'embauche, formation au poste, gestes et postures, formation anti-incendie avec manipulation des extincteurs

Ⓢ Mesures concernant les soins et les premiers secours :

⊕ Armoire à pharmacie ou trousse de secours

⊕ Secourisme : (un pompier n'est pas un secouriste du travail, il faut une équivalence de sauveteur secouriste du travail). Nombre de personnes formées, nature de leur formation, actualisation de leur formation.

4. DOCUMENTS AUTRES :

- Ⓢ Fiche adhérent
- Ⓢ Liste des salariés
- Ⓢ Pyramide des âges
- Ⓢ Résultats des mesurages et prélèvements effectués
- Ⓢ En cas d'accident
- Ⓢ Contenu de la trousse de secours
- Ⓢ Rappel réglementaire sur la surveillance médicale des salariés
- Ⓢ Ordonnances de prévention

PREVENTION

Stratégie de prévention :

- ↳ **Bases législatives et réglementaires**
- ↳ **Démarche préalable à l'évaluation du risque**
- ↳ **Evaluation du risque réel**
- ↳ **Actions à la source**
- ↳ **Prévention technique collective**
- ↳ **Prévention technique individuelle**
- ↳ **Prévention médicale**
- ↳ **Formation et information des salariés**

- ↳ **Bases législatives et réglementaires [24]**

TEXTES LEGISLATIFS ET REGLEMENTAIRES

- ↳ Décret du 23/12/03 relatif à la prévention du risque chimique qui introduit dans le Code du Travail les articles R.231-54 à R.231-57 concernant les règles générales de prévention du risque chimique et du risque d'exposition aux cancérogènes.
- ↳ Décret du 01/02/01 n° 2001-97, dit « décret CMR », établissant les règles particulières de prévention des risques CMR (Cancérogènes, Mutagène, Toxique pour la reproduction)
- ↳ L'article L 230-2 du Code du Travail énumère les principes généraux de prévention qui devront guider l'action du chef d'établissement.
- ↳ Décret n°88-1056 du 14 novembre 1988 modifié par le décret n°95-608 du 6 mai 1995 (J.O. du 7) pris pour l'exécution des dispositions du livre II du code du Travail (titre III : Hygiène, sécurité et conditions de travail) en ce qui concerne la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en oeuvre des courants électriques
- ↳ Décret du 7/12/84 relatif aux concentrations moyennes en poussières inhalables et alvéolaires dans les locaux à pollution spécifique.
- ↳ Décret Plomb du 01/02/88 et arrêté du 15/09/88
- ↳ Décret bruit du 21/04/88
- ↳ Directive Européenne 2003/10 Bruit, du 6 février 2003

- ☞ Arrêté du 13 août 2004 modifiant l'arrêté du 1er juin 2004 relatif au titre professionnel de soudeur à l'arc électrode enrobée et TIG
- ☞ Arrêté du 10 août 2004 relatif au titre professionnel de soudeur à l'arc semi-automatique
- ☞ Arrêté du 1er juin 2004 relatif au titre professionnel de soudeur semi-automatique MIG, MAG et fil fourré
- ☞ Arrêté du 22 décembre 2003 relatif au titre professionnel de technicien en soudage
- ☞ Arrêté du 19 mars 1993 fixant, en application de l'article R.237-8 du Code du travail, la liste des travaux dangereux pour lesquels il est établi par écrit un plan de prévention. Travaux de soudage oxyacétylénique exigeant le recours à un "permis de feu".
- ☞ Arrêté du 14 décembre 1988 relatif aux courants électriques mis en oeuvre sans le soudage électrique à l'arc par résistance et dans les techniques connexes
- ☞ Article R.232-5 à R.232-5-14 concernant l'aération et l'assainissement des lieux de travail
- ☞ Arrêté du 8 octobre 1987 relatif au contrôle périodique des installations d'aération et d'assainissement des locaux de travail
- ☞ Arrêté du 9 octobre 1987 relatif au contrôle de l'aération et de l'assainissement des locaux pouvant être prescrit par l'inspecteur du travail
- ☞ Articles R.231-32 à R.231-34 concernant la formation à la sécurité

RECOMMANDATIONS ET NORMES

- ☞ Recommandations de la CNAMTS : R 360 Soudage à l'arc, prévention des risques professionnels

Normes (AFNOR)

- ☞ NF EN 175. Septembre 1997. Protection individuelle de l'oeil - Equipements de protection des yeux et du visage pour le soudage et les techniques connexes.
- ☞ NF EN ISO. 5172 Décembre 1996. Chalumeaux manuels pour soudage aux gaz, coupage et chauffage - Spécifications et essais.
- ☞ NF EN 1327. Août 1996. Matériel de soudage aux gaz - Tuyaux souples en matière thermoplastique pour le soudage et les techniques connexes.
- ☞ NF EN 50060. Mars 1995. Sources de courant pour soudage manuel à l'arc à service limité.
- ☞ NF EN 559. Octobre 1994. Matériel de soudage aux gaz - Tuyaux souples en caoutchouc pour le soudage, le coupage et techniques connexes.
- ☞ NF EN 169. Décembre 1992. Protection individuelle de l'oeil - Filtres pour le soudage et les techniques connexes - Spécifications de transmission et utilisation recommandée.

- ☞ NF A 85-002. Janvier 1985. Equipement pour soudage électrique à l'arc et techniques connexes - Règles particulières de sécurité électrique concernant l'installation et l'utilisation.
- ☞ NF A85-600. Mars 1978. Porte-électrode pour soudage manuel avec électrodes enrobées - Règles de sécurité, spécifications et essais de type.

CONVENTION COLLECTIVE ET ACCORDS DE BRANCHE

Selon le secteur d'activité - Le plus souvent, la métallurgie.

- ☞ Convention collective nationale de la métallurgie. Fascicule n°3109, J.O.
- ☞ Convention collective nationale des industries métallurgiques, mécaniques et connexes de la région parisienne. Fascicule n°3126, J.O.

↳ Démarche préalable à l'évaluation du risque, documents à consulter :

- ☞ élaboration du document unique par l'employeur
- ☞ données bibliographiques

↳ Evaluation du risque réel :

(Confère chapitre : Evaluation des risques professionnels, étude de poste, fiche d'entreprise)

- ☞ Analyse du cycle de travail : temps de travail, procédé
- ☞ Installations générales : caractéristiques des locaux, état d'entretien du matériel
- ☞ Etude du personnel concerné : effectif potentiellement concerné, quantification de l'exposition
- ☞ Métrologie d'ambiance : prélèvement d'atmosphère, poussières, gaz.
- ☞ Respect des VLE et VME : les chiffres sont acceptables s'ils sont inférieurs à 0,3 VME, tolérables entre 0,3 et 0,7 VME, plan de contrôle régulier et ils sont inacceptables si supérieur à 0,7 VME, nécessité de mettre en œuvre des actions de correction pour réduire le risque.
- ☞ Evaluation de l'aspiration au poste et de la ventilation générale : étude de captage et de transport à l'aide d'un anémomètre à fil chaud au niveau de la source d'aspiration et au niveau des gaines de ventilation.
- ☞ Métrologie acoustique et éclairage
- ☞ Biométrologie

Pour déterminer si les nuisances, notamment les nuisances chimiques, présentent un risque pour la santé des soudeurs, il convient dans un premier temps de caractériser l'exposition des travailleurs concernés, puis, dans un deuxième temps de déterminer si cette exposition est acceptable ou non. [1]

■ Caractérisation de l'exposition

A quelle concentration et durant combien de temps le salarié est-il exposé aux substances nocives identifiées ?

En admettant que l'on se limite à l'exposition par inhalation en négligeant les autres voies possibles (résorption et ingestion), il faut donc prélever l'air dans la zone respiratoire du travailleur pour déterminer la concentration en toxique. La stratégie et la méthode de prélèvement sont déterminées de manière à se rapprocher le plus possible des conditions réelles d'exposition des travailleurs, dans ce sens des prélèvements individuels sont préférables.

■ Acceptabilité du risque

Lorsque l'exposition à une ou plusieurs substances nocives a été évaluée, l'acceptabilité du risque est déterminée par confrontation aux valeurs limites moyennes d'exposition au poste de travail (VME). Elles sont définies comme la concentration moyenne dans l'air des postes de travail en polluant qui, en l'état actuel des connaissances, ne met pas en danger la santé de la très grande majorité des travailleurs sains qui y sont exposés à raison de 40 heures par semaine et 8 heures par jour. Il existe aussi des valeurs limites d'exposition à court terme, (VLE) qui permettent de se prononcer sur des niveaux d'exposition de 15 minutes. En pratique, du fait d'un certain nombre d'incertitude, concernant la caractérisation du risque, les seuils des VME et VLE qui évoluent continuellement vers une diminution, de leurs valeurs très variables d'un pays à l'autre, il est d'usage de déterminer un seuil d'action avec mise en place de mesures correctives dès que le tiers ou la moitié de la valeur de la VME ou VLE est atteint.

Pour caractériser l'exposition aux métaux toxiques, il est aussi possible d'avoir recours à ce que l'on nomme la surveillance biologique, c'est-à-dire au dosage du métal considéré (ou d'un produit dérivé ou induit) dans un fluide biologique (principalement urines et sang) du soudeur. Cette approche complémentaire permet de mieux caractériser l'exposition chronique du soudeur, la demi-vie des métaux est en général longue.

Pour les gaz, seul le monoxyde de carbone se prête à la surveillance biologique, soit par dosage de la carboxyhémoglobine dans le sang, soit par dosage du gaz lui-même dans l'air expiré.

↳ Actions à la source

🦋 Suppression du risque

Dans notre cas renoncer au procédé de soudage par la recherche d'une alternative. Par exemple achat ou fabrication de pièces ne nécessitant pas de soudage.

🦋 Substitution des substances et procédés dangereux

Chaque fois que cela est possible il convient de substituer les substances et les procédés dangereux, par d'autres, moins délétères pour la santé. [1]

- Ⓢ Par exemple béryllium, thorium.
- Ⓢ Remplacement des électrodes en tungstène thorié par des électrodes en tungstène cérié.
- Ⓢ La couleur de l'extrémité de l'électrode indique sa composition. Rouge pour le tungstène thorié, gris pour le tungstène cérié, vert pour le tungstène pur et blanc pour le zirconium.
- Ⓢ Afin d'éviter le risque de saturnisme, il est recommandé d'utiliser des alliages d'apport sans plomb : alliages étain-argent, étain-cuivre, étain-argent-cuivre. [12]
- Ⓢ Pour le soudage sur acier préférer le soudage sous gaz protecteur au procédé à l'arc et électrode enrobée.
- Ⓢ Préférer un enrobage rutile aux enrobages basique, acide ou même cellulosique
- Ⓢ Parmi les procédés de soudage sous gaz protecteur préférer par ordre décroissant le procédé TIG au MIG et le MIG au MAG.
- Ⓢ Substituer les brasures contenant des alliages de cadmium, par des brasures sans cadmium.
- Ⓢ Pour le brasage préférer comme source de chaleur un fer à souder électrique plutôt que la flamme à gaz d'un chalumeau.

🦋 Modification du procédé

afin d'agir sur la composition des fumées[1]

- Ⓢ L'addition de zinc dans le fil d'apport (procédé MIG) élimine quasiment la présence de chrome hexa valent dans les fumées émises.

✂ Captage ou aspiration des fumées à la source [14]

Elle consiste à capter les produits dégagés au plus près possible de leur source d'émission, avant qu'ils ne pénètrent dans la zone des voies respiratoires du salarié ou qu'ils ne soient dispersés dans toute l'atmosphère du local.

Différents moyens techniques peuvent être mis en œuvre :

- ⊕ Aspiration localisée déplaçable et amovible
- ⊕ Aspiration liée à l'outil : les torches aspirantes en procédé MIG et MAG

Sur les torches de soudage semi-automatique, l'aspiration est réalisée par un dispositif intégré à l'outil. La torche est reliée à un groupe aspirant à faible débit (captation efficace, sans nuire à la qualité de la soudure) et forte dépression.

Les torches de soudage aspirantes présentent l'intérêt de capter les fumées au plus près de leur point d'émission.

- ⊕ Cabine de soudage
- ⊕ Table aspirante par le plan de travail, par le dossier ou par les deux
- ⊕ Masques aspirants : ils permettent le captage des fumées à l'aide d'un dispositif d'aspiration intégré au masque et relié à un groupe d'aspiration. Seules sont captées les fumées qui viennent à proximité du masque du soudeur.
- ⊕ Caisson aspirant :
- ⊕ Les fumées doivent ensuite être évacuées directement à l'extérieur du local de travail, ou captées et filtrées (protection de l'environnement)
- ⊕ Transport des fumées de soudage : la vitesse moyenne dans les canalisations de l'air chargé de fumées doit être suffisamment élevée pour éviter une sédimentation des poussières (en fonction de la granulométrie moyenne des poussières de soudage une vitesse de 10 à 15 m/s)

🔗 Prévention technique collective [6]

🦋 Système clos, cloisonnement, confinement du poste

- 🕒 Isoler autant que possible les opérations de soudure du reste de l'aire de travail. Des mesures organisationnelles, du type du regroupement des postes de soudage dans un secteur donné où la ventilation générale est adéquate.
- 🕒 Les dégraisseurs de pièces métalliques ou toute autre source de solvants chlorés doivent être utilisés à distance des endroits où se pratiquent des soudures.
- 🕒 Préparation correcte du lieu d'intervention avec écrans protecteurs opaques ou filtrants autour du poste de travail et résistants aux projections chaudes et à la chaleur.

🦋 Automatisation du procédé

Par exemple dans l'industrie automobile, le soudage est effectué par des robots soudeurs. Le risque d'exposition professionnelle est supprimé.

🦋 Propreté des locaux :

- 🕒 Les scories et les gouttes de métal doivent être recueillies dans un récipient à couvercle. [12]
- 🕒 Il faut éviter qu'ils ne s'accumulent sur les postes de travail, les sols et le matériel. [13]
- 🕒 Avant le soudage, procéder au nettoyage soigneux des contaminants (huiles) des pièces à souder.

🦋 Aspiration générale, ventilation

Principes généraux :

- 🕒 Captage des polluants au plus près des points d'émission (aspiration à la source).
- 🕒 Bonne ventilation des locaux.
- 🕒 Analyse régulière de l'air ambiant : métrologie d'ambiance

⊕ La ventilation dans le voisinage proche du soudage ou la ventilation générale des locaux est certainement le moyen de prévention le plus utilisé. Néanmoins une bonne ventilation, bien conçue et efficace est rare. En tout état de cause, il faut que le flux d'air ne passe pas à hauteur des voies respiratoires des soudeurs.

- ⊕ La ventilation évite l'inhalation de fumées par les salariés mais aussi la pollution de l'atelier, limitant ainsi les risques de contamination par les mains ou les vêtements souillés.
- ⊕ L'introduction d'air neuf et le contrôle fréquent de l'atmosphère sont impératifs dans les enceintes où l'aération est insuffisante ou ayant contenu des substances toxiques et/ ou inflammables ou explosibles.

🕒 Ventilation générale :

Elle est obligatoire pour les locaux à pollution spécifique.

Le débit d'air neuf minimal /occupant, le recyclage et l'entretien sont soumis à réglementation.

La concentration moyenne minimale à ne pas dépasser dans le local est de :
 10 mg/m³ en poussières totales et 5 mg/m³ en poussières alvéolaires.

Elle opère par dilution des polluants à l'aide d'un apport d'air neuf dans le local en quantité suffisante pour amener les concentrations de substances dangereuses en dessous des VLE et VME.

De par son principe même, il n'est pas satisfaisant de l'utiliser seule, car elle admet un niveau de pollution résiduelle. Il est fortement recommandé de ne l'utiliser qu'en complément d'une ventilation localisée.

On ajoutera la réduction de la propagation des fumées par la mise en place de cloisons, rideaux.

Une ventilation adéquate est parfois difficilement réalisable quand les opérations ont lieu dans des espaces clos.

🦋 Protection incendie, explosion :

- 🕒 Eviction de matériaux combustibles à proximité des postes de soudage ; Proscrire l'utilisation et/ou le stockage de solvants, graisses, huiles, chiffons, sciure au niveau du poste de soudage.
- 🕒 Protection adaptée avec procédure du "Permis de feu"
- 🕒 Disposer à proximité de moyens d'alarme et de lutte contre le feu. Extincteurs en nombre suffisant, correctement placés, signalés et contrôlés annuellement
- 🕒 Moyens de manutention adaptés aux pièces chaudes ;
- 🕒 Intercepteur de flamme sur chalumeau soudeur placé à 30 cm du bec sur les tuyaux ou intégré à la torche. Clapet anti-retour pare flamme
- 🕒 Matériel électrique antidéflagrant [11]

- Ⓢ Utilisation des gaz de façon rationnelle (uniquement les quantités nécessaires). Les bouteilles de gaz (respect des couleurs identifiant les gaz utilisés) placées verticalement et attachées sur des structures stables ou des chariots à roulettes. Le transport se fera en position verticale, les bouteilles correctement attachées. Eviter les chocs lors du déchargement, il se fera sur un tapis amortissant. Les bouteilles d'oxygène doivent être stockées à l'écart des bouteilles de gaz combustible (distance minimale à 6 m ou séparation par un mur anti feu de 1,5 m de haut) Les bouteilles vides seront séparées des pleines. Le stockage se fera dans un local sec et frais, éloigné du soleil. Les raccords se feront par des tuyaux conformes aux normes, en bon état, de même pour les détendeurs.
- Ⓢ Le codage par couleur conventionnelles est utilisé pour alerter sur le risque associé au contenu de la bouteille et d'éviter toute confusion pouvant conduire à des accidents graves. Néanmoins l'étiquetage reste la première source d'information. [15]

✎ Protection risque électrique :

- Ⓢ Mise à la terre des masses, vérification annuelle des installations électriques par un organisme agréé.
- Ⓢ Matériel contrôlé conforme aux normes : transformateurs, pinces porte-électrodes, raccords pour câbles de soudage

🔗 **Prévention technique individuelle**

Les équipements de protection individuelle doivent être conformes aux directives et aux normes Françaises et Européennes en vigueur.

Vêtement de travail (ensemble pantalon, veste) en coton

- ‡ Ces vêtements doivent être en coton ignifugé, bien ajustés, dépourvus de plis, revers ou poches non dotées de rabats
- ‡ Vêtements propres, en présence d'oxygène les tissus souillés de graisse peuvent s'enflammer
- ‡ Vêtements de protection en cuir : tablier, veste $\frac{3}{4}$ à col montant, boléro (porté surtout par les tuyauteurs), cuissardes, calotte, guêtres (protection des chevilles), manchettes bras et avant-bras, bavette de casque.
- ‡ Apportent une protection contre la chaleur et les projections. (Procédé de soudage à l'arc et semi).
- ‡ Au chalumeau, pas d'exposition UV, le risque essentiel est le risque de brûlure, le port de vêtement en nylon est interdit.
- ‡ Chaussures de sécurité recouvertes par le pantalon, à semelles isolantes

Protection des mains contre l'action coupante des tôles, contre la chaleur et la conduction électrique [6]

Protection des yeux :

- 👁 **Lunettes de protection** équipées de verres teintés et munies de coques latérales pour le soudage au chalumeau
- 👁 Les **écrans faciaux** protègent les yeux, le visage et une partie du cou. Ils peuvent être équipés d'un plastron ou bavette. Pour une utilisation intermittente, il existe des écrans faciaux de type relevable ou tenus à la main. Ils assurent une protection globale, visage et yeux, mais ne sont pas étanches vis-à-vis du milieu ambiant.
- 👁 Pour les activités de soudage les écrans faciaux sont équipés de filtres adaptés au rayonnement du procédé de soudage.
- 👁 Les **masques de soudage** à filtre électro-optique dont le filtre s'obscurcit automatiquement lorsque l'arc de soudage est amorcé.
- 👁 Cagoule ou masque en protane, à indice de protection élevé pour le soudage à l'arc
- 👁 Pour les opérations de pointage, verres filtrants à occultation rapide ou casque/masque à volet mobile
- 👁 Masques à écran LCD (Speedglass) ; ou protection totale de la face par masque à soudage avec obscurcissement automatique

- ☞ Ecran à cristaux liquides et détection électronique : la vitre qui protège les yeux noircit dès que le soudeur commence à souder. Le soudeur garde donc son masque en permanence. Ce qui lui apporte un confort et une visibilité en toutes circonstances
- ☞ Masques de soudage à double numéro d'échelon dont le filtre possède une zone claire pour le pointage de l'électrode et l'amorçage de l'arc et une zone plus foncée permettant de surveiller le bain de fusion et la soudure.
- ☞ Une cagoule de base coûte environ 160 euros, contre 700 à 800 euros, pour une cagoule à détection électronique et filtration de l'air intégré
- ☞ Le masque est généralement préféré à la **cagoule**. Certains soudeurs manifestent des signes de claustrophobie lors du port de la cagoule
- ☞ La protection contre les rayonnements est moins bonne avec le masque, comparé à la cagoule qui est plus étanche
- ☞ A chaque type de travail correspond un **filtre particulier**, différentes teintes. L'annexe de la **norme EN 169**, relatif aux filtres pour le soudage permet de choisir directement les filtres appropriés à partir de la connaissance du procédé de soudage et de l'intensité du courant. [13]
- ☞ Dans le cas des filtres de soudage, il est à noter que le numéro d'échelon ne comporte que la classe de protection. Selon les conditions d'utilisation, il est possible d'utiliser un filtre de n° d'échelon immédiatement supérieur ou inférieur. Mais il est très dangereux d'utiliser des filtres de numéro d'échelon trop élevé, trop foncé, le manque de visibilité conduit l'opérateur à trop se rapprocher de la source de rayonnement et à respirer les fumées de soudage.
- ☞ A l'inverse, certains soudeurs optent pour une protection insuffisante, mais conférant une meilleure visibilité, au détriment de la protection oculaire.

- ☀ Puissance de l'arc < 5 : lunettes visiteurs (teinte 3), le soudage est impossible avec

- ☀ Puissance de l'arc < 9 : procédé de soudage oxyacétylénique

- ☀ Puissance de l'arc de 9 à 10 : procédé de soudage TIG

- ☀ Puissance de l'arc de 10 à 12 : procédé à l'arc électrique et électrode enrobée

- ☀ Puissance de soudage de 11 à 15 : procédé de soudage semi automatique

- ☞ A noter que dans le procédé TIG, du fait de l'émission limitée de fumées, le bain de fusion apparaît plus nettement. A intensité égale le risque rayonnement est plus important.

La protection ne sera jamais complète, en effet on observe chez les soudeurs en permanence un « bronzage des mains et du visage »

Protection respiratoire :

Le port de cagoule ne protège pas contre l'inhalation des fumées de soudage.

Le choix du type de protection respiratoire est déterminé par les conditions d'utilisation telles que l'atmosphère environnementale, les locaux.

La première question consiste à savoir si l'air respiré contient assez d'oxygène, de connaître les substances nocives susceptibles d'être respirées par l'opérateur.

On peut distinguer différents appareils de protection respiratoire : [20] [21]

- **Les protections respiratoires contre les gaz par masques filtrants :** ils procèdent à une épuration de l'air ambiant contaminé et se présentent sous forme d'une pièce faciale équipée d'un filtre antigaz adapté. Il convient de vérifier l'adaptation des cartouches aux gaz spécifiques. Ils ne sont utilisables qu'en atmosphère avec une teneur en oxygène suffisante.
- **Les protections respiratoires contre les poussières par masque filtrants :** le choix du filtre se fait en fonction de l'intensité de dépassement de la valeur limite de concentration admissible mesurée. Habituellement le filtre recommandé est de classe 3 et dans le cas où des gaz toxiques seraient aussi présents, on aura recours à un filtre combiné.
- **Les appareils à adduction d'air :** pour augmenter le confort du soudeur et limiter les désagréments et la fatigue de la respiration à travers un masque, il faut veiller à apporter une adduction d'air frais de bonne qualité. L'air est prélevé à l'extérieur et envoyé dans le casque au moyen d'un système qui garantit que l'air pulsé est de bonne qualité. L'air peut être prélevé dans la zone de travail. Là aussi les précautions d'usage s'appliquent, changement régulier et adaptation du filtre aux caractéristiques des émanations de soudage (gaz et poussières)
- **Les appareils respiratoires isolants :** on a recours à eux lorsque les conditions d'exposition ne sont pas connues avec suffisamment de précision, lors de travail en milieu confiné. Ils sont raccordés à une source non contaminée d'air ou d'oxygène, air neuf extérieur à la zone de travail ou bouteilles d'oxygène.

Différents modèles sont proposés :

- ☀ Masque ou pièce faciale filtrante ou à cartouche sous la cagoule
- ☀ Masque à double paroi, la ventilation se fait par un tuyau qui dirige les fumées vers le bas
- ☀ Cagoule avec ventilation assistée par air filtré
- ☀ Cagoule avec adduction d'air et verre de vision teinté en Protane

Quelque soit l'équipement choisi, la cagoule pour la protection oculaire est adaptable sur ces appareils à adduction d'air ou isolants. De plus une protection efficace passe par le respect des conditions d'utilisation et une maintenance adéquate. Que la capacité de rétention des cartouches et des filtres ne soit pas dépassée. Casque ou masque de protection doivent être conformes à la norme NF EN 175.

Protection contre l'électrisation :

- ✓ EPI réduisant la conduction
- ✓ maintien du poste de soudage en bon état (permanence de la mise à la terre)
- ✓ contrôle des câbles de masse des pièces métalliques

Protections diverses :

- ☀ Ecrans anti chaleur au poste de soudage
- ☀ Rideaux de soudure (projection, coups d'arc)
- ☀ Servantes pour support de tôles

Mesures d'hygiène : [12]

- ☞ Afin d'éviter toute intoxication par les voies cutanées et digestives, une bonne hygiène est indispensable.
- ☞ Il faut se laver les mains et le visage avant les repas et avant de quitter le lieu de travail.
- ☞ Il est recommandé de ne pas manger, boire, fumer, mâcher de la gomme ou se maquiller au poste de travail
- ☞ Il convient de se doucher après le travail, des douches doivent être à disposition sur le lieu de travail.
- ☞ Et de changer de vêtements après le travail

☞ **Prévention médicale** [24]

SMR, examen clinique et examens complémentaires

IBE

Fiche d'entreprise

VISITE MEDICALE

Surveillance réglementaire :

Embauche et annuelle

En cas d'exposition au bruit, au plomb, à des agents cancérogènes ou en cas de travail de nuit, le salarié est soumis à une surveillance médicale renforcée.

Surveillance conseillée :

- Ⓜ Recherche d'une intoxication aiguë
- Ⓜ Examen clinique avec contrôle cardiovasculaire, respiratoire, neurologique, cutané, ostéoarticulaire, hépatique, urinaire
- Ⓜ Recherche d'une pathologie chronique : altération de l'état général, pathologie broncho-pulmonaire, ORL, pathologie ophtalmologique, pathologie articulaire ou périarticulaire, pathologie néphro urologique, pathologie hépatique, pathologie neurologique.

EXAMENS COMPLEMENTAIRES :

Surveillance réglementaire :

Néant, sauf en cas d'exposition au bruit ou au plomb

Surveillance conseillée :

En fonction des résultats des examens cliniques et des expositions.

Epreuves fonctionnelles respiratoires (EFR), radiographie pulmonaire, éventuellement audiogramme

VACCINATIONS :

Surveillance réglementaire : néant

Surveillance conseillée : rappel DT Polio tous les dix ans

SUIVI POST PROFESSIONNEL :

En cas d'exposition à des agents cancérogènes (modèle d'attestation d'expositions aux CMR dans les documents en annexes)

DOSSIER MEDICAL

- Ⓢ En cas d'exposition au bruit, conservation du dossier médical pendant au moins 15 ans après la fin de la période d'exposition.
- Ⓢ En cas d'exposition aux agents cancérogènes ou aux agents chimiques dangereux, conservation du dossier médical pendant au moins 50 ans après la fin de la période d'exposition.
- Ⓢ Fiche individuelle d'exposition et attestation d'exposition (modèle dans les documents en annexes)

IBE (Indicateurs Biologiques d'Exposition ou d'Effets)

- Ⓢ Suivant la nature de l'exposition, dosage de métaux ou de gaz dans les milieux biologiques (confère chapitre étude de poste)

REPARATION [24]

- ⊕ Tableau n°1 RG : Affections dues au plomb et à ses composés
- ⊕ Tableau n°10 RG : Ulcérations et dermites provoquées par l'acide chromique, les chromates et bichromates alcalins, le chromate de zinc et le sulfate de chrome
- ⊕ Tableau n°10 bis RG : Affections respiratoires provoquées par l'acide chromique, les chromates et bichromates alcalins
- ⊕ Tableau n°25 RG : Affections consécutives à l'inhalation de poussières minérales renfermant de la silice cristalline (quartz, cristobalite, tridymite), des silicates cristallins (kaolin, talc), du graphite ou de la houille
- ⊕ Tableau n°32 RG : Affections professionnelles provoquées par le fluor, l'acide fluorhydrique et ses sels minéraux
- ⊕ Tableau n°33 RG : Maladies professionnelles dues au béryllium et à ses composés
- ⊕ Tableau n°36 RG : Affections provoquées par les huiles et graisses d'origine minérale ou de synthèse
- ⊕ Tableau n°37 RG : Affections cutanées professionnelles causées par les oxydes et les sels de nickel
- ⊕ Tableau n°37 bis RG : Affections respiratoires causées par les oxydes et les sels de nickel
- ⊕ Tableau n°39 RG : Maladies professionnelles engendrées par le bioxyde de manganèse
- ⊕ Tableau n°42 RG : Atteinte auditive provoquée par les bruits lésionnels
- ⊕ Tableau n°44 RG : Affections consécutives à l'inhalation de poussières ou de fumées d'oxyde de fer

- ⊕ Tableau n°57 RG : Affections périarticulaires provoquées par certains gestes et postures de travail
- ⊕ Tableau n°61 RG : Maladies professionnelles provoquées par le cadmium et ses composés
- ⊕ Tableau n°65 RG : Lésions eczématiformes de mécanisme allergique
- ⊕ Tableau n°66 RG : Rhinite et asthmes professionnels
- ⊕ Tableau n°70 bis RG : Affections respiratoires dues aux poussières de carbures métalliques frittés ou fondus contenant du cobalt
- ⊕ Tableau n°73 RG : Maladies professionnelles causées par l'antimoine et ses dérivés
- ⊕ Tableau n°84 RG : Affections engendrées par les solvants organiques liquides à usage professionnel : hydrocarbures liquides aliphatiques, alicycliques, hétérocycliques et aromatiques, et leurs mélanges (white spirit, essences spéciales) ; dérivés nitrés des hydrocarbures aliphatiques ; acétonitrile ; alcools, aldéhydes, cétone, esters, éthers dont le tétrahydrofurane, glycols et leurs éthers ; diméthylformamide, diméthylsulfoxyde
- ⊕ Tableau n°98 RG : Affections chroniques du rachis lombaire provoquées par la manutention manuelle de charges lourdes

↳ **Formation et information des salariés :**

Organisation avec le médecin du travail et renouvelée périodiquement

- Ⓢ A la technique : nécessité d'un certificat ou d'un agrément de soudage précisant le procédé utilisé, les métaux, les positions de soudage, les types d'assemblages ainsi que les types de pièces
- Ⓢ A la réglementation
- Ⓢ A l'utilisation des équipements de protection collective et individuelle mis à leur disposition, ainsi qu'aux mesures de prévention à appliquer
- Ⓢ Aux risques liés :
 - ⊕ à l'utilisation du courant électrique
 - ⊕ aux poussières et aux gaz
 - ⊕ à l'émission de rayonnements
 - ⊕ à la présence de matières inflammables ou explosives
 - ⊕ aux projections
 - ⊕ à la manutention et à la manipulation des pièces
 - ⊕ aux mesures d'hygiène et de sécurité

CONCLUSION

Nos objectifs dans ce travail ont été une tentative de clarification des différents procédés de soudage les plus couramment utilisés.

Afin d'apporter au lecteur les outils nécessaires à une démarche de compréhension des principes physico chimiques et technologiques mis en œuvre lors du soudage.

Ces éléments nous paraissaient nécessaires en vue de l'élaboration d'une démarche d'analyse et de quantification précise des risques auxquels sont exposés les soudeurs. Préalable indispensable à la proposition par le médecin du travail et à la mise en œuvre, au sein de l'entreprise et au poste, de mesures de prévention adéquates.

La mise en œuvre des propositions de prévention collectives et individuelles en particulier pour l'exposition aux fumées de soudage : aspiration, ventilation, masques filtrants... se heurte néanmoins à une problématique sérieuse de faisabilité sur les postes de soudeur sur chantier.

Ce travail fait référence à l'état de nos connaissances actuelles, néanmoins la prise en compte de l'exposition professionnelle des soudeurs aux nano particules conduira très probablement dans les années à venir à revoir radicalement nos critères en matière d'évaluation du risque poussière.

BIBLIOGRAPHIE

- ⊕ [1] Thaon I, Guillemain M, Gonzalez M, Cantineau A. Risques toxiques et pathologies professionnelles liés au soudage métallique. Encycl. Méd. Chir. (Editions Scientifiques et médicales Elsevier SAS), 2001.
- ⊕ [2] Deschamps F, Géraut C. Evaluation des principaux risques professionnels par métier ; Ellipses, 2005
- ⊕ [3] Lauwerys RR. Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, Masson, 4^{ème} édition, 2003
- ⊕ [4] Oedème aigu du poumon d'origine professionnelle, Université Virtuelle de Médecine du Travail, 1998 ; www.uvmt.org
- ⊕ [5] Drui M, Henni A, Heugel M, Martin C, Simon C. Les différents procédés manuels de soudage, leurs risques et leur prévention ; 2003 www.ast67.org
- ⊕ [6] Alt I, Haeringer A, Spielmann E. Les activités de transformation des métaux ; 1998 , www.ast67.org
- ⊕ [7] Enquête SUMER 2003, Dares, www.travail.gouv.fr
- ⊕ [8] Classification INSEE des professions (PCS 2003) : 623e Soudeurs manuels - 673c Ouvriers non qualifiés de montage, contrôle en mécanique et travail des métaux. ([INSEE](http://www.insee.fr)) (2003)
- ⊕ [9] ROME. Dictionnaire des emplois / métiers techniques et industriels : 44132 Soudeur / soudeuse. ([La Documentation française](http://www.ladocumentationfrancaise.fr)) (1999)
- ⊕ [10] Classification Internationale Type des professions (CITP) : 7212 Soudeurs et oxycoupeurs. ([B.I.T.](http://www.b.it))1991)
- ⊕ [11] Soudage et coupage au chalumeau. Conseils d'utilisation. Edition INRS ED 742. 2000
- ⊕ [12] Le brasage tendre. Fiche pratique de sécurité ED 122INRS avril 2005
- ⊕ [13] [1] Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées. Fiche pratique de sécurité ED 83. [INRS](http://www.inrs.fr), 1999
- ⊕ [14] Opérations de soudage à l'arc. Guide pratique de ventilation n° 7. Editions INRS ED 668. ([INRS](http://www.inrs.fr)) (1996)
- ⊕ [15] Codage couleur des bouteilles à gaz transportables, Fiche pratique de sécurité ED 87, (INRS) mars 2000
- ⊕ [16] Le béryllium, Le point des connaissances sur..., ED 5020, (INRS avril 2003
- ⊕ [17] Le cobalt, Le point des connaissances sur..., ED 5011, INRS, 2001
- ⊕ [18] Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France ; note documentaire ND 2098 INRS
- ⊕ [19] Les équipements de protection individuelle des yeux et du visage, ED 798, INRS, 1999

- ⊕ [20] Les appareils de protection respiratoire, Fiche pratique sécurité, ED 98, INRS, novembre 2003
- ⊕ [21] Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation, ED 780 INRS, 2002
- ⊕ [22] Machines à métaux. Manuel pratique de prévention 29. C9 P 03 99 (OPPBTP) (1999)
- ⊕ [23] Fiche d'entreprise Bossons futé n° 2, www.bossons-futé.com
- ⊕ [24] Fiche d'activité professionnelle Bossons futé n° 48 « soudeur », www.bossons-futé.com
- ⊕ [25] Les fiches conseils : La soudure au gaz. La soudure à l'arc. www.mr-bricolage.fr
- ⊕ [26] Soudage : définition, applications et généralités, OTUA au service de l'acier, www.otua.org
- ⊕ [27] Soudage à l'arc, C.E.R. ENSAM Angers-Laboratoire Industriel de Déformation Plastique ; www.angers.ensam.fr
- ⊕ [28] Modèle de fiche d'exposition et d'attestation d'exposition à un agent cancérigène, mutagène, toxique pour la reproduction ; <http://perso.wanadoo.fr/christian.crouzet>