

suva



Coupage et soudage

Protection contre les fumées, poussières,
gaz et vapeurs



Photo de couverture

La petite photo, agrandie 1250 fois, montre des particules de fumées de soudage accumulées sur un filtre textile garni de téflon (filtre Gore-Tex). La structure arachnéenne représente le revêtement du filtre sur lequel sont déposés des particules métalliques (microsphères) et des oxydes métalliques floconneux issus de fumées de soudage.

1 Introduction	4		
1.1 Pourquoi cette publication?	4	4.3 Soudage sous gaz actif avec électrode métallique	15
1.2 Dangers pour les soudeurs	4	4.4 Soudage sous gaz inerte avec électrode métallique	16
		4.5 Soudage sous gaz inerte avec électrode de tungstène	17
		4.6 Soudage sous flux	18
		4.7 Coupage et soudage au plasma	19
		4.8 Procédés autogènes	20
		4.9 Soudage par résistance (par points)	22
		4.10 Coupage et soudage au laser	23
		4.11 Brasage	24
2 Principes de la protection de la santé au poste de travail	6		
2.1 Bases légales et prescriptions sur la sécurité au travail	6		
2.2 Définition des sources de danger	6		
2.3 Substitution des substances et procédés dangereux	7		
2.4 Protection collective	7		
2.5 Protection individuelle	7		
3 Procédés de coupage et de soudage	9		
3.1 Procédés de soudage des métaux	9		
3.1.1 Définition de la notion de «soudage»	9		
3.1.2 Soudage par fusion de métaux	9		
3.1.3 Soudage par pression de métaux	9		
3.2 Procédés de soudage des matériaux synthétiques	9		
3.3 Assemblage par brasage	9		
3.4 Coupage thermique	10		
3.5 Procédés spéciaux	10		
3.5.1 Revêtement par pulvérisation thermique	10		
3.5.2 Soudage de recharge	10		
3.6 Installations et substances	10		
3.6.1 Appareils, machines et installations	10		
3.6.2 Matériaux de base	10		
3.6.3 Matériaux et produits auxiliaires	11		
4 Soudage et coupage: dangers pour la santé	12		
4.1 Substances nocives	12		
4.2 Soudage à l'arc avec électrode en barre	14		
		5 Valeurs limites d'exposition aux postes de travail (valeurs VME)	25
		6 Mesures de protection	26
		6.1 Substitution des substances et procédés dangereux	26
		6.2 Protection collective	26
		6.2.1 Exemples de mesures techniques	27
		6.2.2 Épuration de l'air vicié	28
		6.2.3 Surveillance des filtres	30
		6.3 Protection individuelle	30
		6.3.1 Appareils de filtration	31
		6.3.2 Appareils isolants	32
		7 Récapitulation des procédés de soudage et des substances nocives émises	33
		8 Informations et renseignements	34
		Bibliographie	34
		Autres références bibliographiques	35
		Crédits photographiques	35

1 Introduction

1.1 Pourquoi cette publication?

Durant son travail, le soudeur est exposé à de multiples contraintes. Outre le bruit, le rayonnement, les températures élevées et les contraintes physiques dues à la posture qu'il doit adopter, il peut être exposé à des substances nocives en concentrations diverses. La présente publication aborde ces substances nocives générées durant les différents processus de soudage, sous forme de fumées, de poussières, de vapeurs et de gaz. Y sont également exposées les mesures correspondantes pour la protection de la santé.

Cette publication s'adresse aux propriétaires, chefs d'entreprise et chargés de sécurité.

1.2 Dangers pour les soudeurs

En Suisse, plus de 150 000 soudeurs exécutent quotidiennement des opérations de soudage et de découpage thermique dans les ateliers et sur les chantiers. La grande diffusion des procédés de soudage et de découpage dans l'industrie et l'artisanat, associée aux conditions très variables au travail, soumettent les soudeurs à des combinaisons de contraintes très diverses. Les émissions de substances nocives, les rayonnements ainsi que le bruit constituent les incidences majeures (fig. 1).

Lors de travaux de soudage, de coupage et d'opérations connexes, la production de fumées, de poussières, de vapeurs et de gaz est inévitable. En raison du faible diamètre de leurs particules (généralement inférieur à $1\mu\text{m}$), les fumées peuvent, tout comme les gaz, atteindre, à travers le larynx, la cavité naso-pharyngienne et le système bronchique, les bronchioles les plus fines ainsi que les alvéoles pulmonaires. Les fumées et gaz de soudage sont des mélanges très complexes, comprenant plus de 40 éléments chimiques et leurs composés.

Les effets des substances nocives sont essentiellement déterminés par leurs propriétés spécifiques, par la quantité inhalée par unité de temps et par la quantité totale subsistant dans le corps.

Les bases d'évaluation de la nocivité ou de l'innocuité des concentrations de substances produites au poste de travail sont les valeurs limites d'exposition aux postes de travail (valeurs VME). Le respect de ces valeurs assure généralement une bonne protection contre les atteintes à la santé. Une exposition durable à des concentrations supérieures à ces valeurs limites peut occasionner des maladies professionnelles.

En ce qui concerne les substances nocives susceptibles de provoquer des allergies ou des cancers, il convient de prendre les mesures nécessaires afin de ramener le plus possible les concentrations au-dessous des valeurs limites (voir chapitre 4).

Vous trouverez de plus amples informations sur les dangers du soudage à l'adresse www.suva.ch (mot-clé à saisir dans le moteur de recherche: soudage).

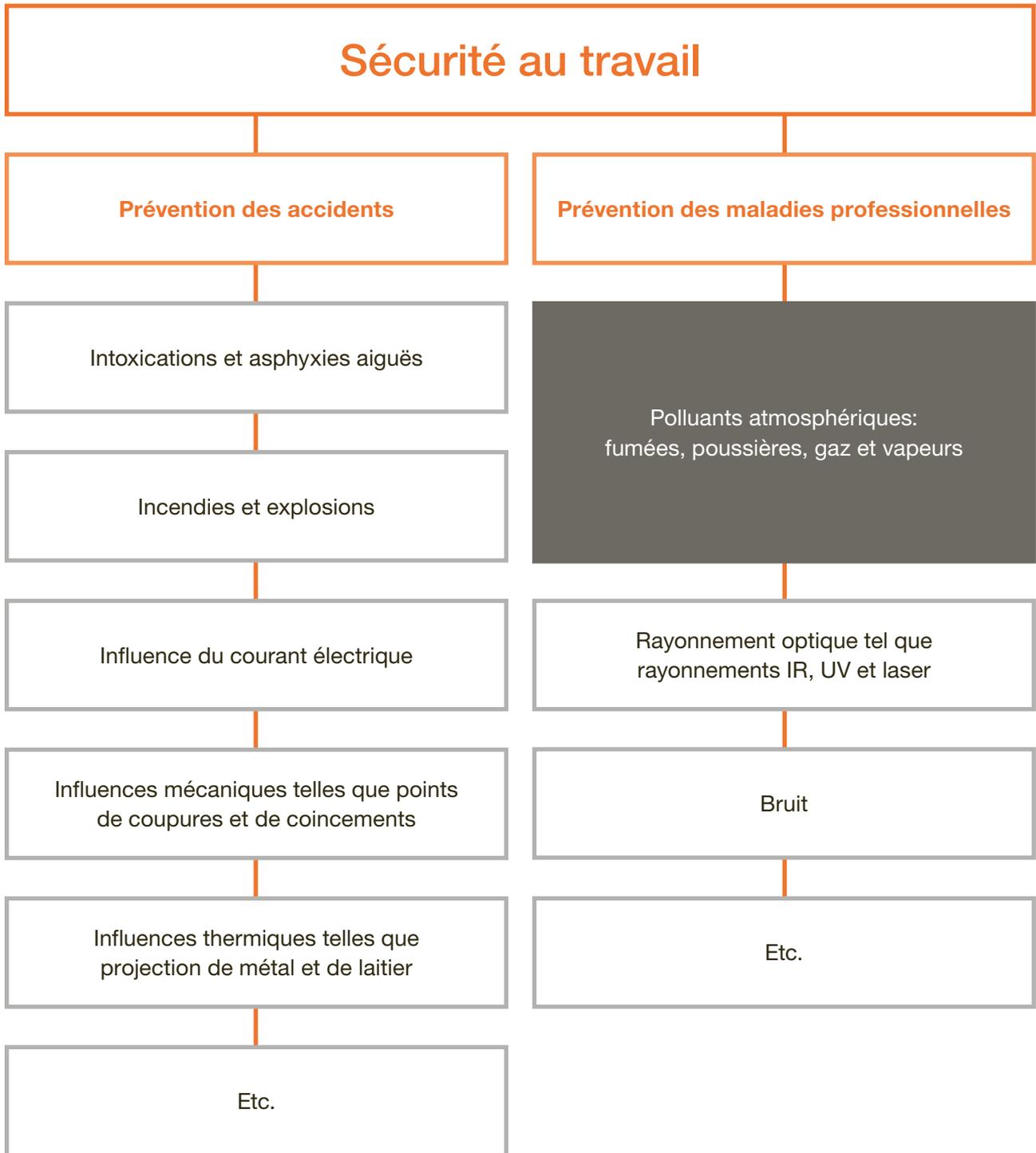


Fig. 1
Aspects de la sécurité au travail à prendre en compte durant les travaux de soudage et de coupage

2 Principes de la protection de la santé au poste de travail

2.1 Bases légales et prescriptions sur la sécurité au travail

Le droit suisse en matière de contrat de travail impose à tout employeur l'obligation de porter toute l'attention requise à la santé de ses employés et de prendre les mesures propres à sauvegarder la vie et la santé (art. 328 CO). Cette obligation très générale est précisée dans les prescriptions correspondantes de la loi fédérale sur l'assurance-accidents (LAA) et de l'ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles (OPA) [2, 3].

L'obligation de prévenir les accidents et maladies professionnelles dans l'entreprise appartient en premier lieu à l'employeur et à ses cadres (art. 82 al. 1 LAA).

Il est tenu de prendre toutes les mesures

- dont l'expérience a démontré la nécessité
- que l'état de la technique permet d'appliquer
- qui sont adaptées aux conditions données

Le travailleur, pour sa part, est tenu

- de respecter les instructions de son employeur ou de ses supérieurs
- d'observer les prescriptions sur la sécurité au travail
- d'utiliser correctement les dispositifs de sécurité et les équipements de protection individuelle (art. 82 al. 3 LAA)

Conformément à l'OPA, les principales exigences de sécurité relatives aux fumées de soudage sont les suivantes:

- conception correcte des équipements de travail (art. 26 OPA)
- mesures relatives au traitement de l'air (art. 33 OPA)
- équipements de protection individuelle (art. 5 OPA)
- mesures de protection lors de l'apparition de substances nocives (art. 44 OPA)

Pour déterminer les effets des substances chimiques et des agents physiques sur la santé, la Suva publie, en vertu de l'art. 50 al. 3 OPA, une liste des valeurs limites d'exposition aux postes de travail [4]. Dans toutes les entreprises soumises à la LAA, la Suva est habilitée à surveiller l'application des prescriptions sur la prévention des maladies professionnelles (art. 50 OPA) et les mesures de prévention au poste de travail (art. 70 à 89). On trouvera d'autres éclaircissements au sujet d'articles particuliers de la loi fédérale sur l'assurance-accidents (LAA) et de l'ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles (OPA) dans les «Directives pour la sécurité au travail» de la Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail (CFST) [5].

Les prescriptions relatives à la sécurité au travail lors du soudage sont concrétisées dans la directive CFST «Soudage, coupage et techniques connexes appliqués à l'usinage des matériaux métalliques» [6]. Elle traite des méthodes et outils de travail ainsi que des installations et appareils techniques faisant partie intégrante du poste de travail.

2.2 Définition des sources de danger

Lors des procédés de soudage et de coupage thermique, en raison des températures très élevées de la flamme de gaz ou des arcs électriques, il se produit une combustion ou une vaporisation des matériaux en présence pour former des particules et des gaz inhalables. Il en résulte une émission plus ou moins forte de fumées, poussières, vapeurs et gaz pouvant présenter certains risques pour la santé. Déterminer les substances nocives produites pendant les différents procédés de soudage et d'oxycoupage ainsi que les combinaisons de matériaux qui en résultent, autrement dit définir les principales substances nocives selon leur concentration et leur nocivité, est une condition essentielle pour bien évaluer une situation et parvenir à une prévention optimale des maladies professionnelles.

[] Les chiffres entre crochets se réfèrent à la liste bibliographique de la page 34.

Une bonne estimation des risques pour la santé implique la prise en compte d'autres critères en plus des valeurs limites d'exposition aux postes de travail. Il s'agit notamment de répondre aux questions suivantes:

- Le soudeur travaille-t-il dans des locaux exigus, dans des locaux normaux ou dans de grandes halles?
- Le soudeur travaille-t-il dans un atelier ou à l'air libre (par ex. sur un chantier)?
- Quelles sont les conditions d'aération sur le lieu de travail (voir paragraphe 2.4)?
- Le soudeur travaille-t-il dans un endroit déterminé?
- Quel est le temps effectif de soudage (de courte ou de plus longue durée)* comparativement au temps de travail?
- Quelles sont les conditions d'hygiène durant les pauses de travail, durant les repas?
- Quelle est l'influence des substances nocives sur l'homme? Entraînent-elles des intoxications aiguës ou chroniques, de graves maladies ou l'asphyxie? [7]
- Quelles sont les conditions d'environnement? Existe-t-il d'autres sources de substances nocives et qu'en est-il de leurs influences réciproques, par ex. lors de travaux dans des secteurs à risque d'explosion ou d'incendie?

L'évaluation des risques pour la santé des travailleurs demande des considérations autres que les paramètres de soudage proprement dits, notamment la position de la tête et la posture du soudeur par rapport à la soudure, la structure de la pièce, les dimensions du local et les conditions d'aération.

2.3 Substitution des substances et procédés dangereux

Le principe premier de la prophylaxie des maladies professionnelles [8] consiste à remplacer, dans la mesure du possible, les substances et les procédés mettant la santé en danger par d'autres substances moins dangereuses en fonction des possibilités techniques (voir fig. 2 et paragraphe 6.1).

On pourra, par exemple, remplacer le soudage manuel à l'arc par le soudage sous protection gazeuse, présentant moins de risques.

2.4 Protection collective

Les postes de travail doivent être agencés de telle façon que, compte tenu du procédé utilisé, des matériaux et des conditions d'application, l'air inhalé par des travailleurs soit exempt de substances dangereuses pour leur santé. Selon la situation, les mesures suivantes peuvent être prises:

- systèmes fermés (enceinte)
- aspiration dans la zone d'émission (aspiration à la source)
- ventilation naturelle
- ventilation technique (des locaux)
- autres mesures appropriées telles que les installations à bain d'eau pour la coupe au jet de plasma ou les installations d'injection d'eau pour l'oxycoupage mécanique
- combinaison des mesures citées ci-dessus (voir fig. 3 et paragraphe 6.2)

2.5 Protection individuelle

Lorsque les mesures techniques et organisationnelles n'assurent pas une protection suffisante contre les substances nocives ou les risques d'asphyxie, par exemple, des mesures de protection individuelle doivent être prises. Le port d'un appareil respiratoire est nécessaire dans certains cas (voir fig. 4 et paragraphe 6.3).

Le travailleur peut se protéger contre les autres dangers (voir fig. 1) en portant des vêtements appropriés, un casque de protection, des lunettes de protection, des gants, etc. chaque fois que ces mesures sont indiquées.

Il est, de plus, interdit de fumer, de manger et de boire au poste de travail en cas de manipulation de substances nocives et (ou) combustibles.

* On parle de «courte durée» lorsque la durée d'allumage de la flamme ou de l'arc n'excède pas une demi-heure par jour ou deux heures par semaine. Le temps de soudage est «de plus longue durée» lorsque la durée d'allumage excède ces valeurs.

Soudage à électrodes métalliques

Beaucoup de fumée



Soudage au gaz de protection

Moins de fumée



Substitution de substances et procédés dangereux

Fig. 2
Limitation des sources de danger par modification des procédés

Soudage MAG

Soudage manuel sans ventilation technique



Soudage MAG

- Aspiration à la source
- Zone séparée
- Automatisation



Protection collective

Fig. 3
Installations techniques de protection destinées à éliminer les substances nocives

Coupage au plasma sans protection respiratoire



Soudage avec casque, filtre anti-fumée et ventilation



Protection individuelle

Fig. 4
Protection individuelle contre les substances nocives

3 Procédés de coupage et de soudage

Les sources de chaleur appliquées en technique de soudage peuvent être utilisées non seulement pour assembler, mais aussi pour sectionner, revêtir, former et modifier les propriétés des matériaux.

On utilise comme source de chaleur notamment une flamme de gaz combustible-oxygène/air ou un arc électrique. Les techniques de soudage en général englobent près de 140 procédés normalisés [9]. Nous vous présentons ci-dessous une sélection des principaux procédés utilisés aujourd'hui.

3.1 Procédés de soudage des métaux

3.1.1 Définition de la notion de «soudage»

Le soudage est un procédé consistant à réunir ou à revêtir des matériaux de base métalliques sous l'effet de la chaleur, de la pression ou des deux ensemble, avec ou sans matériaux d'apport. Les matériaux de base sont réunis dans la zone de soudage, de préférence à l'état plastique ou liquide. En présence de matériaux de nature similaire, les propriétés de la soudure sont identiques à celles des matériaux de base. L'assemblage est indémontable. Le soudage de métaux peut être subdivisé en deux catégories principales: le soudage par pression et le soudage par fusion.

3.1.2 Soudage par fusion de métaux

Pour ce procédé, les parties des matériaux de base en contact sont réchauffées jusqu'au point de fusion et sont liées ensemble, généralement avec addition d'un matériau semblable (matériau d'apport). La jonction des parties s'effectue par conséquent à l'état liquide. Principaux procédés de soudage par fusion:

- soudage à l'arc manuel
- soudage sous flux de gaz de protection avec électrode métallique
- soudage sous flux de gaz inerte avec électrode de tungstène
- soudage au gaz (soudage autogène)
- soudage à l'arc sous flux

3.1.3 Soudage par pression de métaux

Ce procédé consiste à joindre les matériaux métalliques par pression. Les parties en contact ne doivent cependant pas être réchauffées (soudage par pression à froid). Ce procédé n'utilise généralement pas de matériaux d'apport. Les principaux procédés sont les suivants:

- soudage par résistance électrique (soudage par points)
- soudage par friction

3.2 Procédés de soudage des matériaux synthétiques

Certains matériaux synthétiques peuvent également être assemblés par soudage. On utilise à cet effet des procédés de soudage à gaz chaud, à haute fréquence, à friction ou aux ultrasons. La présente publication se limite uniquement aux procédés de soudage et de coupage de matériaux métalliques.

3.3 Assemblage par brasage

Le brasage est un procédé d'assemblage de matériaux métalliques au moyen d'un métal d'apport en fusion (brasure), le cas échéant avec application de fondant et (ou) de gaz protecteurs. La température de fusion de la brasure se situe au-dessous de celle des matériaux à joindre; ceux-ci sont humidifiés, sans être mis en fusion.

On effectue une distinction entre le brasage tendre et le brasage fort. Pour le brasage tendre, on utilise comme brasure essentiellement des alliages de plomb, d'étain, de zinc, de cadmium et d'antimoine. Le brasage fort utilise des alliages de cuivre et d'argent. Les procédés de brasage se distinguent non seulement par le type de brasure, mais aussi par la source de chaleur appliquée. Pour le brasage tendre, les principaux procédés sont le brasage au fer à souder à la flamme, au four, à résistance et à la vague. Pour le brasage fort, le point à souder est généralement réchauffé à la flamme, mais aussi au four sous gaz protecteur ou par circulation d'un courant électrique.

3.4 Coupage thermique

Lors du coupage thermique, la matière portée en fusion par le jet de gaz est expulsée du plan de coupe sous l'effet de l'énergie cinétique élevée du gaz. On effectue une distinction entre le procédé autogène (oxycoupage) et le coupage à l'arc (coupe au laser, au jet de plasma, etc.).

3.5 Procédés spéciaux

3.5.1 Revêtement par pulvérisation thermique

La pulvérisation thermique permet de revêtir la surface de la pièce d'une couche adhérente de matière amorphe aux propriétés désirées (poudre, fil de métal). C'est la pulvérisation au plasma qui a pris une importance prépondérante. La matière pulvérisée est introduite par un gaz propulseur dans la flamme de plasma qui la met en fusion, l'accélère et la projette avec une énergie considérable contre la surface de la pièce à revêtir. Étant donné que les températures au cœur de la flamme de plasma sont extrêmement élevées (20 000 °C), une partie de la matière à projeter est toujours vaporisée. C'est la raison pour laquelle les dispositifs de pulvérisation thermique doivent être enveloppés ou équipés d'un bon dispositif d'aspiration.

3.5.2 Soudage de recharge

Le soudage de recharge permet de regarnir différentes surfaces de pièces. Les surfaces de pièces en matériaux à faible résistance à l'usure peuvent être blindées de matière à haute résistance. De même, des substances résistant à la corrosion peuvent être chargées sur des matériaux de supports non résistants.

3.6 Installations et substances

3.6.1 Appareils, machines et installations

Pour évaluer les procédés de soudage par rapport à la protection de la santé, il faut également tenir compte des appareils, machines et installations mis en œuvre. Le soudage peut être exécuté dans le cadre d'une activité manuelle, mais aussi d'un procédé partiellement ou entièrement mécanisé et automatisé. Le nombre d'appareils, d'installations et de machines se trouvant dans le local est important, notamment en raison du volume de substances nocives émises.

La conception du système de ventilation artificielle permettant de recueillir et d'évacuer les substances dangereuses dépendra des locaux ainsi que des techniques de production.

3.6.2 Matériaux de base

L'émission de substances nocives est influencée par le matériau de base et son état de surface. Le matériau de base détermine dans une large mesure la sélection du procédé de soudage et par conséquent les matériaux d'apport.

Les principaux matériaux de base sont subdivisés en matériaux ferreux et non ferreux. Pour les premiers, on effectue une distinction entre les aciers non alliés, faiblement alliés et fortement alliés. Les aciers fortement alliés contiennent plus de 5 % d'éléments d'alliage. Pour l'alliage des aciers, on utilise avant tout le chrome et le nickel, mais aussi du manganèse, du molybdène, du silicium, du cuivre, du tungstène, du titane, etc.

L'état de surface de la pièce mérite une attention particulière. Les revêtements de surface (par ex. vernis, peinture, revêtements métalliques) et les impuretés (par ex. corps gras, résidus de solvants) peuvent être largement responsables de la formation de substances nocives.

3.6.3 Matériaux et produits auxiliaires

Les additifs trouvent leur application dans la quasi-totalité des procédés et contribuent largement à la formation de substances nocives. Parmi les matériaux auxiliaires, on citera les électrodes pleines, les électrodes fourrées, les électrodes en barres, la poudre de soudage, etc. Les substances auxiliaires concernent en particulier les gaz combustibles et protecteurs, qui sont à la base de l'émission de substances gazeuses dangereuses pour la santé. Les gaz peuvent également présenter des risques d'explosion ou d'incendie par la formation de mélanges déflagrants ou des risques d'asphyxie par des gaz déplaçant l'air respirable tels que le gaz carbonique (CO_2) ou l'argon (Ar) [10–13].



Fig. 5
Soudage de recharge automatique

4 Soudage et coupage: dangers pour la santé

4.1 Substances nocives

Lors du soudage et des procédés connexes, les substances se dégagent sous forme de fumées, poussières, gaz et vapeurs, rendant impur l'air respiré par les travailleurs.

Les fumées sont des distributions dispersées de matières fines et solides dans l'air. Pendant le processus thermique du «soudage» il y a émission de fumées:

- par la condensation de parties inorganiques (métaux) en phase vapeur, partiellement liée à des réactions chimiques, par ex. oxydation, ou
- par la combustion incomplète de matières organiques, par ex. de matériaux de soudage auxiliaires ou d'un revêtement du matériau de base

La diamètre des particules en résultant est compris entre 0,01 et 1 µm. Par agglomération, des formations de diamètre plus important peuvent également se produire. Ces agglomérats présentent parfois des structures chaînées.

On distingue les fumées et poussières suivantes selon la taille des particules.

- Fraction inhalable de la poussière: ensemble des particules dans l'air respirable pouvant être inhalées par la bouche et le nez; englobe des particules d'une taille inférieure à 100 µm environ.
- Fraction alvéolaire de la poussière: ensemble des particules dans l'air respirable pouvant parvenir jusqu'aux alvéoles pulmonaires (vésicules pulmonaires); englobe des particules d'une taille inférieure à 5 µm environ.

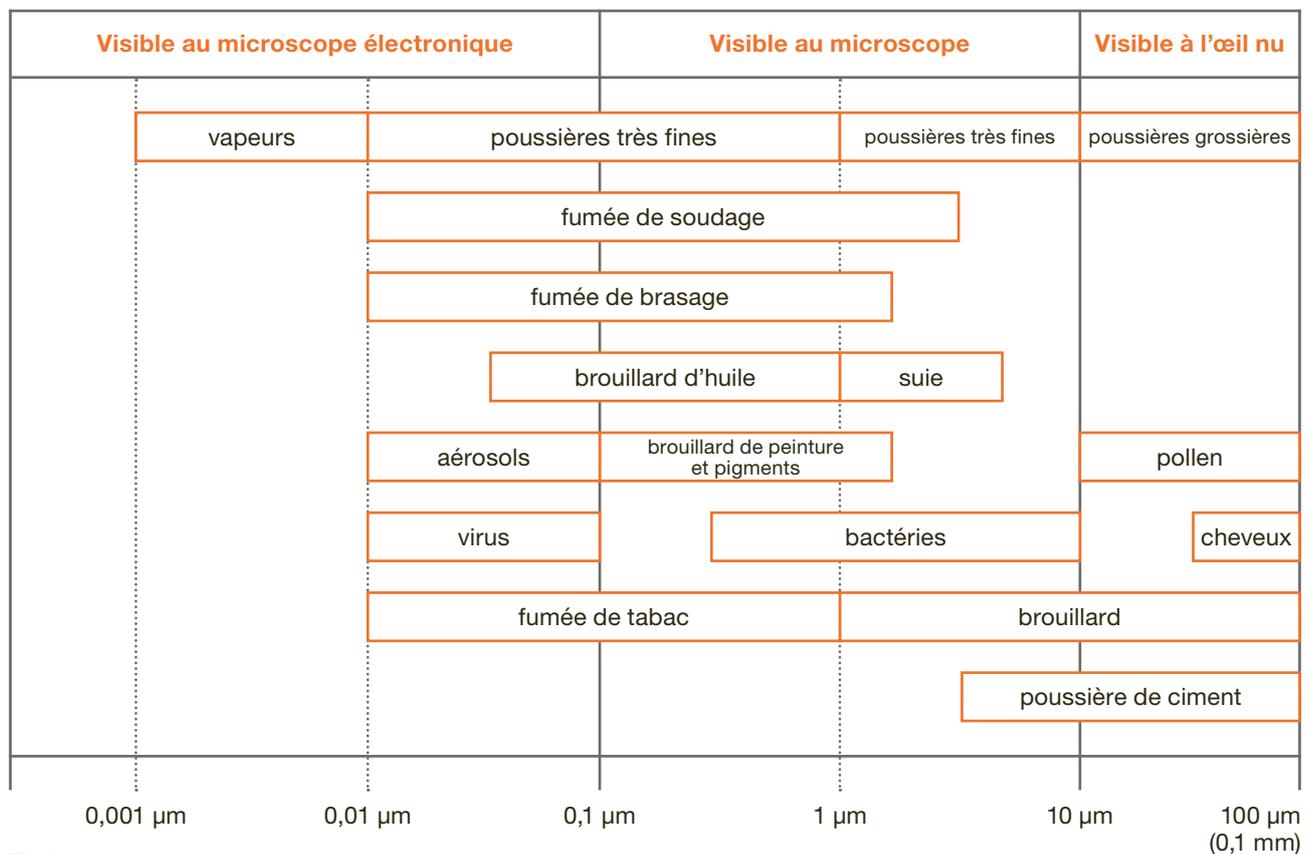


Fig. 6 Dimension des particules de certaines substances dans l'air

Les substances produites sous forme de particules lors du soudage sont très fines. Elles peuvent pénétrer dans les alvéoles pulmonaires et sont désignées sous le terme de «fumées de soudage». Les substances produites sous forme de particules lors du soudage thermique et avec certaines techniques connexes ne sont que partiellement alvéolaires.

Les **substances nocives gazeuses** proviennent de la conversion thermique de gaz combustibles, de l'air, de matériaux de revêtement ou d'impuretés, notamment:

- l'ozone, qui peut être produit par la décomposition de l'oxygène de l'air sous l'effet des rayons ultraviolets émis par l'arc
- le monoxyde de carbone qui peut être émis par la combustion incomplète de gaz combustibles (soudage autogène) et, lors du soudage sous gaz protecteur, par le dioxyde de carbone
- les oxydes d'azote (gaz nitreux) qui, lors de procédés thermiques, sont dégagés par l'azote et l'oxygène de l'air; les oxydes d'azote sont émis essentiellement pendant l'oxycoupage
- le phosgène, des aldéhydes et autres produits de décomposition, qui peuvent se dégager des peintures, des lubrifiants et des décapants

Les gaz inhalés ainsi que les substances sous forme de particules produits pendant le soudage peuvent occasionner des irritations des muqueuses dans la cavité naso-pharyngienne et dans les bronches, par effet chimique et irritatif. Des réactions allergiques peuvent également se manifester. Certains oxydes métalliques peuvent occasionner des poussées de fièvre. Des effets cancérogènes sont attribués à certaines combinaisons.

On trouvera ci-après la description des principaux procédés de soudage et de coupage, déterminants pour l'évaluation des risques pour la santé:

- soudage à l'arc manuel
- soudage sous gaz actif métallique
- soudage sous gaz inerte métallique
- soudage sous gaz inerte tungstène
- soudage sous flux
- coupage et soudage au plasma
- soudage par résistance (par points)
- soudage autogène
- coupage au laser
- brasage

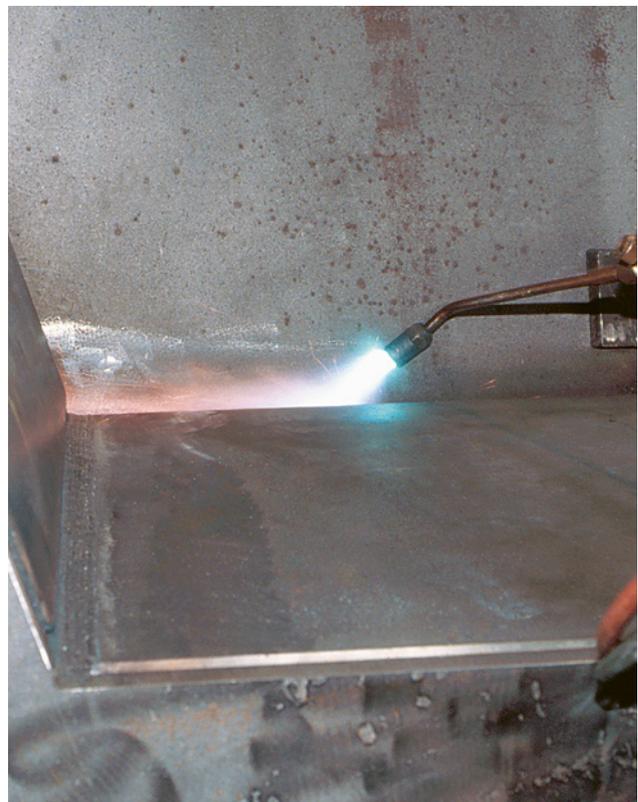


Fig. 7
Réchauffage à la flamme autogène: les flammes de gaz produisent des oxydes d'azote invisibles (gaz nitreux).

4.2 Soudage à l'arc avec électrode en barre

Le procédé de soudage à l'arc produit les taux de substances nocives les plus élevés. Les quantités de fumées de soudage émises par unité de temps lors du soudage avec électrode en barre non-alliée ou faiblement alliée augmentent en fonction de l'intensité du courant et de la tension, alors que l'effet de la vitesse de soudage est négligeable. Le paramètre le plus influent sur les émissions est le type d'électrode (voir fig. 9).

La composition du matériau de base correspondant (non revêtu) est sans effet déterminant sur la quantité de fumées de soudage produite. Des études ont démontré qu'environ 95 % de la fumée de soudage provient des métaux d'apport et que moins de 5 % sont attribuables aux matériaux de base.

Les principaux composants sont l'oxyde de fer, l'oxyde de potassium, le dioxyde de silicium, l'oxyde de calcium, l'oxyde de chrome, l'oxyde de magnésium, l'oxyde de baryum, le fluorure et le dioxyde de titane.

La fumée globale de soudage mérite également une grande attention. Si aucune mesure spéciale n'est prise, la valeur limite d'exposition (VME) aux poussières de 3 mg/m³ généralement admise au poste de travail est très souvent dépassée lors du soudage à l'arc.

Le soudage d'aciers fortement alliés avec des métaux d'apport eux aussi fortement alliés (acier chrome-nickel) est dangereux pour la santé en raison de l'exposition aux chromates. Si les matériaux sont en nickel pur et à base de nickel, il y a mise en danger par l'exposition au nickel.

Des mesures de protection telles qu'une aspiration efficace des fumées de soudage au point d'émission (aspiration à la source) doivent être prises.



Fig. 8 Soudage à l'arc avec électrodes enrobées

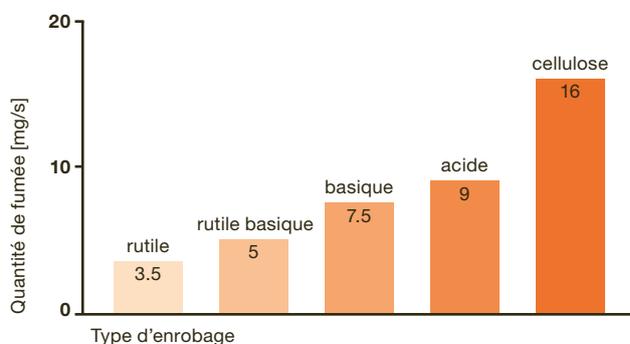


Fig. 9 Émission de fumées de soudage lors du soudage à l'arc avec des électrodes en barre non alliées ou faiblement alliées; selon [12]

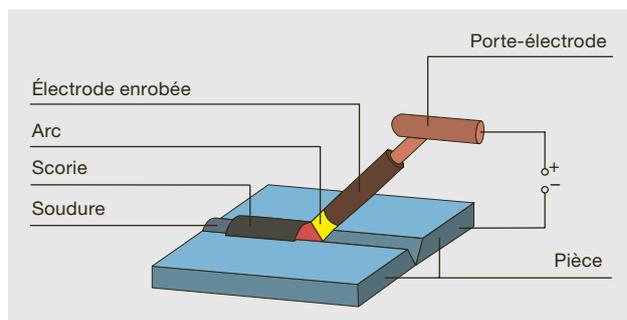


Fig. 10 Soudage à l'arc

4.3 Soudage sous gaz actif avec électrode métallique

Les principales substances nocives présentes dans les fumées produites par le soudage sous gaz actif (soudage MAG) sont l'oxyde de fer, ainsi que des oxydes de silicium et de cuivre en faibles proportions.

Lors du travail avec des électrodes en fil non alliées ou faiblement alliées, les émissions de fumées augmentent proportionnellement à l'intensité du courant puis retombent après avoir dépassé un maximum. L'augmentation de la part de gaz rares dans le gaz protecteur produit une diminution des émissions de fumées de soudage.

En ce qui concerne les aciers fortement alliés, les substances nocives suivantes jouent également un grand rôle (énumération par ordre d'importance): oxyde de nickel, composés de chrome et oxyde de manganèse. Lors du soudage MAG avec des électrodes en fil contenant du chrome-nickel, les fumées dégagées peuvent contenir jusqu'à 5 % de nickel et jusqu'à 17 % de chrome. Puisque, avec ces procédés, les composés de chrome sont presque toujours trivalents (non considérés comme cancérigènes), on peut se fonder sur la valeur limite d'exposition aux poussières généralement admise pour prendre les mesures de protection.

Sans la prise de mesures de protection, la valeur limite d'exposition (VME) aux poussières de 3 mg/m^3 généralement admise au poste de travail est en principe dépassée.

Le soudage avec matériaux d'apport fortement allié est dangereux pour la santé en raison des combinaisons chrome-nickel.

Il s'agit alors de prendre des mesures de protection telles que l'aspiration efficace au point d'émission (aspiration à la source).

Lors du soudage MAG avec gaz protecteur contenant du dioxyde de carbone, on obtient, outre les fumées de soudage, du monoxyde de carbone en concentrations qui peuvent être dangereuses et, dans une moindre mesure, de l'ozone. Avec des gaz mélangés, la part en monoxyde de carbone diminue en fonction de la teneur en dioxyde de carbone, alors que, comparativement au soudage au dioxyde de carbone pur, on note une augmentation de l'ozone [13].

L'emploi d'autres gaz (par ex. argon avec 1 % d'oxygène) peut entraîner une plus faible formation de substances nocives.

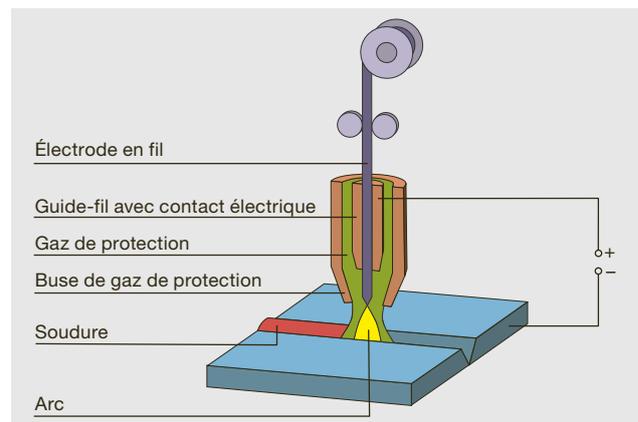


Fig. 11 Soudage sous gaz actif avec électrode métallique



Fig. 12 Soudage MAG

4.4 Soudage sous gaz inerte avec électrode métallique

Le procédé de soudage sous gaz inerte avec électrode métallique (soudage MIG) convient pour le soudage de matériaux ferreux et de métaux non-ferreux. Comparativement au soudage MAG, les quantités de fumées émises lors du soudage MIG sont moindres, tandis que les quantités d’ozone augmentent. Toutefois, les fumées de soudage produites par les électrodes en fil fortement alliées contiennent du chrome-nickel. La teneur en nickel des fumées produites par les électrodes fortement alliées ou en nickel pur est comprise entre 1 et 60 %. Avec des électrodes en fil d’une teneur en chrome de 18 et 20 %, la teneur totale en chrome des fumées de soudage est comprise entre 8 et 16 %, dont moins de 10 % se présente sous forme de chrome hexavalent (jusqu’à 90 % pour le soudage à l’arc manuel) [14].

Le soudage MIG d’alliages d’aluminium contenant du magnésium produit un dégagement important de fumée, tandis que les quantités d’ozone sont plutôt faibles. En revanche, le soudage MIG d’alliages d’aluminium à teneur en silice ou d’aluminium pur produit relativement peu de fumée, alors que les concentrations d’ozone sont élevées.

La valeur limite d’exposition aux poussières de 3 mg/m^3 généralement admise au poste de travail est en principe dépassée avec les matériaux ferreux, mais pas avec l’aluminium. Par contre, pour les matériaux à base d’aluminium, la concentration d’ozone peut être supérieure à la valeur VME.

Le soudage avec matériau d’apport fortement allié est dangereux pour la santé en raison des combinaisons chrome-nickel.

Il convient de prendre des mesures de protection telles que la mise en place d’un système d’aspiration au point d’émission (aspiration à la source) ou d’une ventilation artificielle.

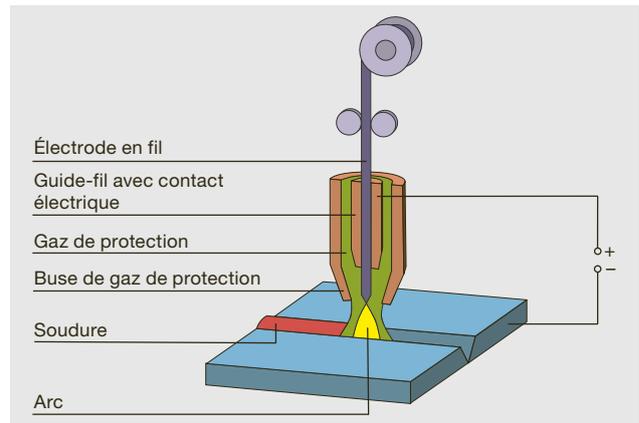


Fig. 13 Soudage sous gaz inerte avec électrode métallique



Fig. 14 Soudage MIG

4.5 Soudage sous gaz inerte avec électrode de tungstène

Le soudage sous gaz inerte avec électrode de tungstène (soudage TIG) permet de traiter tous les métaux soudables. Ce procédé se caractérise par les émissions de fumées les plus faibles. Lors du soudage TIG d'aciers au chrome-nickel, les émissions de fumées sont nettement plus faibles que pour les autres procédés de soudage sous gaz protecteur. Les concentrations de nickel et de chrome (VI) n'atteignent pratiquement jamais les valeurs critiques.

Toutefois, la formation d'ozone est à surveiller. La quantité d'ozone diminue par réaction avec le monoxyde d'azote produit simultanément et par la décomposition qui s'ensuit. L'augmentation du débit de gaz protecteur entraîne une formation d'ozone accrue.

Lors du soudage d'aluminium et de ses alliages, la formation d'ozone est plus faible avec le procédé TIG qu'avec le procédé MIG. En soudant de l'aluminium par le procédé TIG, les émissions de fumées peuvent pratiquement être négligées, tandis qu'elles atteignent des valeurs élevées par le soudage MIG. Ces fumées de soudage contiennent une proportion élevée d'oxyde d'aluminium.

Le soudage TIG d'alliages légers contenant du magnésium produit des concentrations d'ozone plus faibles que l'aluminium pur. Des concentrations d'ozone très élevées sont mesurées pendant le soudage d'alliages aluminium-silicium [14].

La valeur limite d'exposition aux poussières de 3 mg/m^3 généralement admise au poste de travail (VME) est en principe largement respectée.

Des mesures de protection telles que la ventilation artificielle pourraient s'avérer nécessaires en cas de concentration élevée d'ozone.



Fig. 15
Soudage TIG

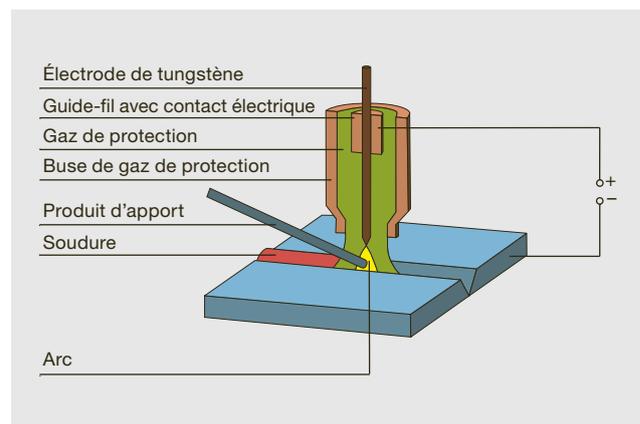


Fig. 16
Soudage sous gaz inerte (tungstène) (TIG)

4.6 Soudage sous flux

Lors du soudage sous flux en poudre, l'arc électrique est protégé de l'atmosphère par les scories provenant du flux ajouté. Les poudres de soudage (flux ajoutés) contiennent de l'oxyde de manganèse, de l'oxyde de silicium, de l'oxyde de calcium, de l'oxyde d'aluminium, de l'oxyde de titane, de l'oxyde de magnésium et (ou) du fluorure de calcium en proportions variables.

Comparativement aux autres procédés de soudage, de faibles quantités de substances nocives (fumées, gaz) sont émises par ce procédé-ci. L'augmentation de la tension et du courant de soudage, les décharges d'arc dues à une hauteur de poudre insuffisante ainsi qu'une teneur en humidité accrue de la poudre entraînent une augmentation des substances nocives pour la santé. Même dans des conditions défavorables, les valeurs d'émission lors du soudage sous flux sont toujours largement inférieures à celles du soudage à l'arc nu avec électrode consommable [13].

La valeur limite d'exposition aux poussières de 3 mg/m^3 généralement admise au poste de travail (VME) n'est en principe pas atteinte.

Des mesures de protection telles que la ventilation artificielle peuvent s'avérer nécessaires dans certains cas particuliers.

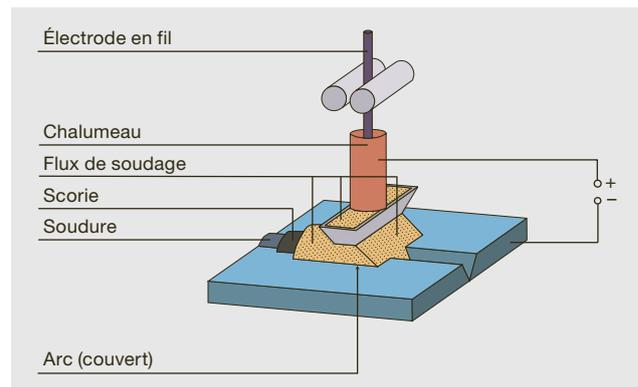


Fig. 17
Soudage sous flux en poudre



Fig. 18
Soudage sous flux en poudre

4.7 Coupage et soudage au plasma

Lors du coupage et du soudage au plasma, on travaille avec un jet de plasma permettant de couper et de souder dans de bonnes conditions des matières telles que l'acier au chrome-nickel ou l'aluminium.

La température élevée du jet de plasma (jusqu'à plus de 20 000 °C) porte le matériau en fusion et, par conséquent, une partie de celui-ci est vaporisée. Les substances éjectées se composent de poussières métalliques de la matière coupée ou soudée, d'oxydes d'azote et – selon l'intensité du rayonnement ultraviolet – d'ozone. Étant donné que l'ozone réagit avec le monoxyde d'azote et qu'il se décompose au contact des particules de poussière, la concentration d'ozone reste faible.

La valeur limite d'exposition aux poussières de 3 mg/m³ généralement admise au poste de travail (VME) est dépassée pendant le soudage au plasma. En utilisant de l'air comprimé ou de l'azote en tant que gaz plasma ou de refroidissement, il faut s'attendre à une formation de chromates et d'oxydes d'azote.

Il y a lieu de prendre des mesures de protection, telles que l'aspiration des fumées de soudage au point d'émission (aspiration à la source), même en cas d'utilisation manuelle de la torche au plasma. Les tables de coupage avec aspiration par le bas sont des systèmes éprouvés. La solution la plus efficace pour éviter les émissions importantes de substances nocives est le coupage par jet de plasma sous eau, quoique l'installation soit plus complexe.

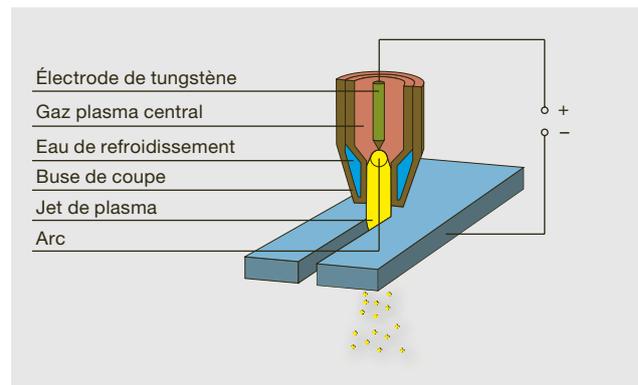


Fig. 19
Coupage au plasma

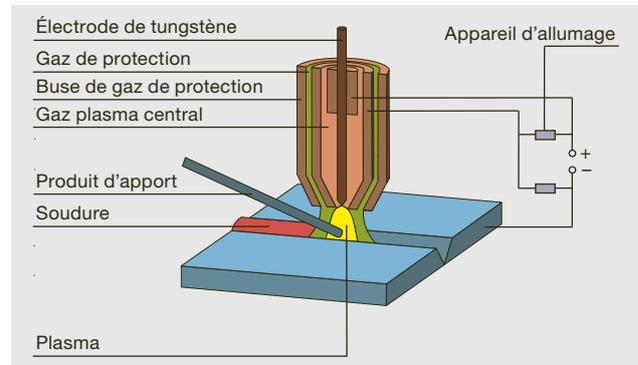


Fig. 20
Soudage au plasma (tungstène)

4.8 Procédés autogènes

Lors du chauffage et du soudage d'acier à l'aide de gaz (par ex. acétylène, propane, oxygène), les gaz nitreux (oxydes d'azote) jouent un rôle important. Lors de travaux d'oxycoupage, les fumées et vapeurs sont prépondérantes.

Chauffage et soudage au gaz

La formation de gaz nitreux lors du soudage et du réchauffage au gaz dépend de la taille du chalumeau, de la longueur de la flamme et du gaz combustible. Plus la flamme est longue, plus la zone de réaction, et par conséquent la formation d'oxydes d'azote, augmentent. Celle-ci peut être multipliée par dix pour une flamme brûlant librement, comparativement à une flamme de 15 mm de longueur [13].

En raison de la présence d'oxydes d'azote (gaz nitreux), les procédés de soudage au gaz et de chauffage à la flamme sont très dangereux pour la santé. La valeur VME est partiellement dépassée.

La valeur limite d'exposition aux poussières de 3 mg/m^3 généralement admise au poste de travail (VME) n'est en principe pas dépassée. Il faut cependant se méfier des fumées dangereuses émises pendant le soudage au gaz de

- matériaux cuivreux
- pièces, tôles et tuyaux zingués ou cadmiés
- pièces revêtues de peinture ou de matières plastiques

Des mesures de protection telles que l'aspiration des fumées de soudage au point d'émission (aspiration à la source) ou la ventilation artificielle peuvent s'avérer nécessaires dans certains cas. Il faut toujours assurer une bonne ventilation naturelle.

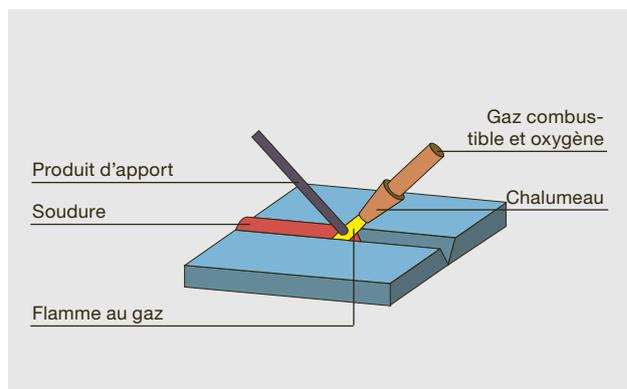


Fig. 21
Soudage au gaz



Fig. 22
Soudage au gaz

Oxycoupage

L'oxycoupage ne produit que de faibles quantités d'oxyde d'azote, mais les dégagements de fumée et de poussière sont importants. La fig. 25 présente un processus de coupage faisant appel à un tube métallique rempli de fils métalliques et balayé d'oxygène. Les fils métalliques servent ici de combustible qui est brûlé par l'oxygène. La flamme très chaude en résultant est utilisée non seulement pour l'oxycoupage d'aciers, mais aussi d'autres matériaux (par ex. béton). L'oxycoupage avec apport de fer (fil, poudre) produit un dégagement important de fumée.

En raison de la formation importante de fumée et de poussière pendant l'oxycoupage, la valeur limite d'exposition (VME) aux poussières de 3 mg/m^3 généralement admise au poste de travail est en principe dépassée.

Il convient de prendre des mesures de protection telles que l'aspiration des fumées au point d'émission (aspiration à la source). Les tables d'oxycoupage à aspiration latérale sont particulièrement efficaces.



Fig. 23
Oxycoupage

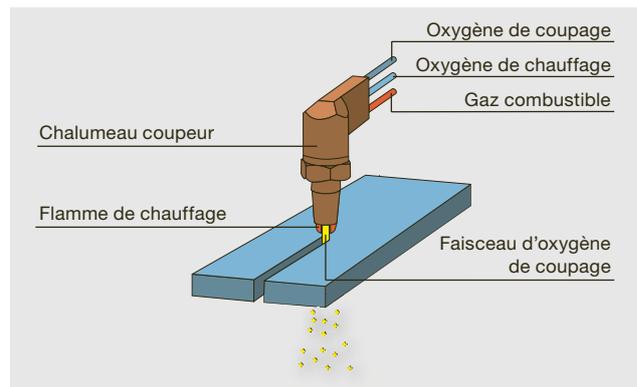


Fig. 24
Oxycoupage



Fig. 25
Oxycoupage au moyen d'une lance à oxygène

4.9 Soudage par résistance (par points)

Ce procédé n'émet que de faibles quantités de substances nuisibles pour la santé. Celles-ci proviennent essentiellement de la vaporisation ou de la projection du matériau de base. Le soudage par résistance (par points) de tôles en acier non-alliées produit des fumées formées à 95 % d'oxyde de fer. Pour des tôles fortement alliées, la fumée de soudage renferme, dans des conditions défavorables, au maximum 10 % de chromates. Le traitement de tôles zinguées ou cadmiées n'entraîne qu'un faible dégagement d'oxyde de zinc ou de cadmium [14]. Comme les tôles à souder sont souvent enduites d'huile, il peut se former des brouillards et des vapeurs d'huile en plus des combinaisons de métaux.

On ne constate normalement pas de dépassement des valeurs limites d'exposition au poste de travail (VME) lors des travaux de soudage par résistance (par points).

Des mesures de protection telles que la mise en place d'une ventilation artificielle pourraient s'avérer nécessaires dans certains cas (par ex. tôles revêtues ou enduites d'huile). Il faut toujours assurer une bonne ventilation naturelle.

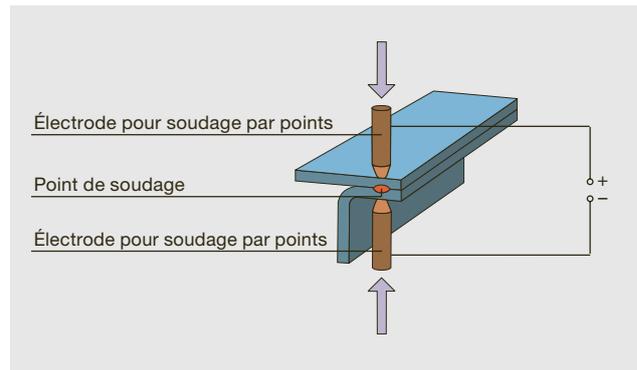


Fig. 26
Soudage par résistance (par points)



Fig. 27
Soudage par résistance (par points)

4.10 Coupage et soudage au laser

Outre le découpage et le soudage, les rayons laser peuvent également être utilisés pour le perçage, la trempe superficielle et le traitement thermique. Lors du découpage par rayons laser, le métal chauffé à sa température d'allumage est consumé par l'oxygène injecté à cet endroit. Les substances nocives produites lors du traitement du matériau varient en fonction de la matière traitée. Ainsi, en découpant au laser les aciers au chrome-nickel et les tôles zinguées de même épaisseur, l'émission de substances nocives est supérieure à celle des tôles en acier de construction. La quantité de poussière dégagée dépend de la vitesse de coupe et de la pression du gaz de coupe. Plus la vitesse de coupe est élevée, moins il y aura de poussière, et en augmentant la pression du gaz de coupe, la quantité de poussière s'accroît de même.

Les travaux de soudage aux rayons laser exposent aussi le travailleur au **risque d'irradiation**. Les exigences de sécurité et de santé relatives aux installations laser ainsi que les obligations des personnes les mettant en circulation et des exploitants sont définies dans différentes ordonnances, normes et directives [15].

Lorsque les travaux de découpage au laser sont effectués sur une table de travail intégrant un système d'aspiration locale, permettant de recueillir les substances nocives et si les paramètres de découpage sont optimaux, la valeur limite d'exposition (VME) aux poussières de 3 mg/m^3 n'est en principe pas dépassée au poste de travail. Il peut toutefois arriver, dans certaines situations, que les valeurs VME soient dépassées (par ex. pour le chrome et le nickel).

L'émission de gaz est insignifiante pour le procédé de découpage au rayon laser.

Il y a lieu de prendre des mesures de protection telles que l'aspiration des fumées au point d'émission (écran, aspiration à la source).



Fig. 28
Coupage au laser

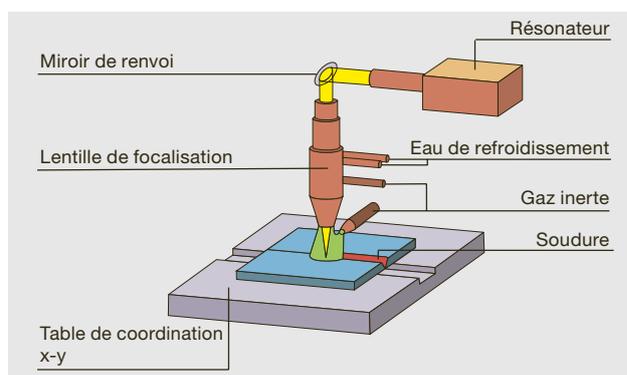


Fig. 29
Soudage au laser

4.11 Brasage

Contrairement au soudage, c'est le métal d'apport, fusible à basse température, qu'on met en fusion lors du brasage, tandis que le matériau de base reste à l'état solide.

Les métaux d'apport pour **brasage tendre** (température de fusion < 450 °C) pour les métaux lourds et les alliages légers peuvent contenir du plomb, de l'étain, du zinc, du cadmium, de l'antimoine, de l'argent et du cuivre. Selon leur but d'application, les fondants pour brasage tendre se composent d'éléments organiques et inorganiques.

Les métaux d'apport pour **brasage fort** (température ≥ 450 °C) sont subdivisés en types à base de cuivre, contenant de l'argent, à base d'aluminium et à base de nickel. Les fondants correspondants sont constitués de composés de bore, de fluorures, de phosphates, de chlorures et de silicates.

Les émissions sont fonction des métaux d'apport, des fondants, des liants, de la nature de l'apport de chaleur (fer à souder électrique, chalumeau à gaz) utilisés et des paramètres liés au processus, notamment température du métal d'apport, temps de soudage et de maintien. Les fondants peuvent émettre du formaldéhyde, de l'hydrazine, de l'acide abiétique, de l'ammoniac, des chlorures, des bromures, des fluorures, etc. En cas d'utilisation de fondants à base de colophane, les soudeurs peuvent être sujets à des réactions allergiques. Par rapport au réchauffage indirect, le réchauffage direct à la flamme engendre des teneurs plus élevées en cadmium et en zinc dans la fumée de brasage. Les valeurs d'émission pour les autres éléments d'alliage tels que l'argent et le cuivre sont très faibles [14].

Lorsque la température et le temps de brasage sont corrects, les valeurs limites d'exposition au poste de travail (valeurs VME) ne sont généralement pas dépassées. Toutefois, les fondants brûlés ou vaporisés peuvent présenter certains risques.

Des mesures de protection telles que l'aspiration des fumées au point d'émission (aspiration à la source) ou la ventilation artificielle sont en principe nécessaires.

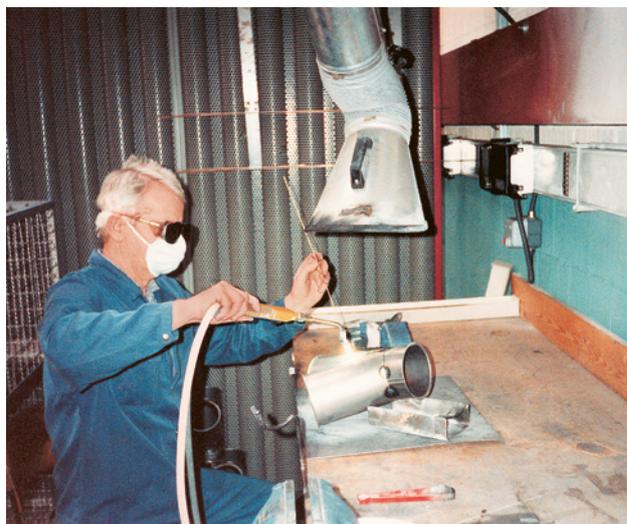


Fig. 30
Brasage

5 Valeurs limites d'exposition aux postes de travail (valeurs VME)

Les concentrations de substances nocives dans l'air inhalé par les travailleurs ne doivent pas excéder les valeurs limites d'exposition aux postes de travail (valeurs VME). La valeur (limite) moyenne d'exposition (VME) est définie comme la concentration moyenne dans l'air des postes de travail en un polluant donné 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, et cela pour une durée de 42 heures hebdomadaires, à raison de 8 heures par jour, pendant de longues périodes.

Les valeurs VME ne constituent pas une limite sûre entre les domaines dangereux et les domaines non dangereux. Des concentrations inférieures à la valeur VME ne garantissent pas que la santé de toutes les personnes exposées est préservée. Les personnes particulièrement sensibles ou atteintes d'une maladie peuvent subir des troubles, même si les concentrations sont faibles.

Le tableau 1 présente quelques valeurs VME importantes pour les procédés de soudage et de coupage. Vous trouverez des informations complémentaires sur les valeurs calculées sur une courte durée ainsi que les effets spécifiques des différentes substances (résorption cutanée, sensibilisation, propriétés cancérigènes, mutagènes, reprotoxiques et fœtoxiques) à l'adresse suivante: www.suva.ch/valeurs-limites [4].

Substances	Formule	VME		Valeur calculée sur une courte durée	
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
Oxyde d'aluminium – fumée (a)	Al ₂ O ₃		3		24
Composés de baryum, solubles (e)	Ba		0,5		4
Plomb et ses composés (e)	Pb		0,1		0,8
Cadmium et ses composés (a)	Cd		0,004		
Cadmium et ses composés (e)	Cd		0,015		
Chlorure de carbonyle (phosgène)	COCl ₂	0,1		0,2	
Chrome, métal (e)	Cr		0,5		
Composés de chrome III (e)	Cr (III)		0,5		
Composés de chrome IV (e)	Cr (VI)		0,005		
Oxyde de fer (a)	Fe ₂ O ₃		3		
Formaldéhyde	CH ₂ O	0,3		0,6	
Anhydride carbonique	CO ₂	5000			
Monoxyde de carbone	CO	30		60	
Cuivre et composés inorganiques (e)	Cu		0,1		0,2
Manganèse et composés inorganiques (e)	Mn		0,5		
Composés du nickel, insolubles (oxydes, sulfides) (e)	NiO et autres		0,05		
Ozone	O ₃	0,1		0,1	
Poussières inhalables (e)			10		
Poussières alvéolaires (a)			3		
Dioxyde d'azote	NO ₂	1,5		3	
Monoxyde d'azote	NO	5			
Oxyde de zinc – fumée (a)	ZnO		3		3
Composés d'étain, inorganiques (e)	Sn		2		4

a: poussières alvéolaires

e: poussières inhalables (voir définition p. 12)

Tableau 1
Valeurs limites d'exposition aux postes de travail (extrait, édition 2021) [4]

6 Mesures de protection

Afin d'exclure toute exposition des soudeurs et d'autres personnes actives dans des domaines similaires, il convient de remplacer les substances et procédés dangereux par des méthodes plus sûres, ou de prendre des mesures de protection techniques, organisationnelles et personnelles (voir art. 44 OPA [3] et [8]).

6.1 Substitution des substances et procédés dangereux

Le remplacement de procédés de soudage produisant de grandes quantités de fumées par d'autres moins nuisibles pour la santé permet de réduire considérablement l'exposition des soudeurs.

Par conséquent, l'employeur devra sélectionner les procédés de soudage, de coupage et les procédés connexes produisant de faibles émissions de substances nocives.

Exemples

- Soudage sous gaz protecteur des aciers au lieu de soudage à l'arc avec électrodes en barre
- Utilisation d'électrodes en barre enrobées de rutile au lieu d'électrodes à enrobage basique, acide ou même cellulosique
- Pour le soudage MAG, choisir un gaz protecteur à teneur en dioxyde de carbone aussi faible que possible ou, mieux encore, un gaz à base d'argon exempt de dioxyde de carbone (avec 1 % d'oxygène par ex.)
- Pour les procédés de soudage sous gaz protecteur, remplacer le soudage MAG par un procédé MIG ou, mieux encore, par un procédé TIG
- Pour le brasage, utiliser des brasures sans cadmium au lieu de brasures contenant des alliages de cadmium
- Adopter le brasage avec fer à souder chauffé électriquement, à réglage thermostatique, au lieu de la flamme à gaz
- Utiliser le procédé de coupage par jet de plasma sous l'eau au lieu du coupage au plasma à sec (fig. 31)

6.2 Protection collective

Lors de travaux dans des locaux exigus, dans des zones présentant des risques d'explosion ou d'incendie, ainsi que dans des réservoirs contenant des produits dangereux, des mesures plus sévères doivent être prises. Elles peuvent s'avérer nécessaires lors de travaux de montage ou de révision par soudage dans des réservoirs, silos, récipients sous pression, wagons-citernes, cuves, canalisations, appareils, tuyauteries, réacteurs, etc. [16–19].

Par des mesures techniques, il s'agit de s'assurer que les concentrations de substances nocives dans l'air à proximité des postes de travail n'excèdent pas les valeurs limites d'exposition admissibles (valeurs VME).

Les mesures techniques concernent essentiellement des dispositifs de ventilation appropriés (voir également paragraphe 2.4).



Fig. 31
Coupage par jet de plasma sous l'eau d'aciers au chrome-nickel

6.2.1 Exemples de mesures techniques

Aspiration des substances nocives au moyen de systèmes d'aspiration stationnaires, installés à demeure ou mobiles (fig. 32 à 36).



Fig. 32
Capotage et aspiration d'une installation de découpe au laser

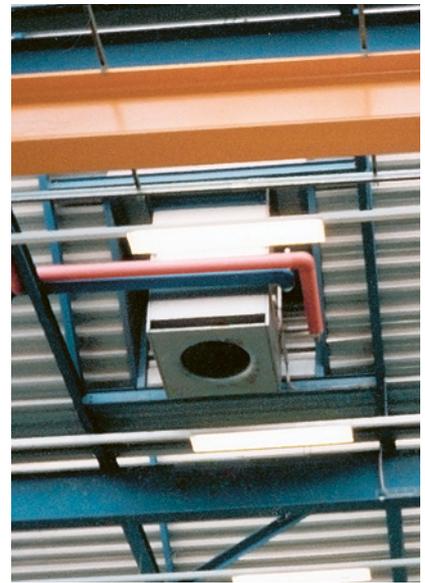


Fig. 33
Ventilation artificielle d'un local
(installation au plafond)



Fig. 34
Aspiration au moyen d'un tuyau mobile



Fig. 35
Aspiration sur l'écran protecteur

Autres exemples

- Regroupement de postes de travail de même type dans un secteur donné doté d'une ventilation adéquate
- Injection d'eau lors de l'oxycoupage au propane pour rabattre les fumées formées
- Remplacement des bains dégraissants contenant des hydrocarbures chlorés ou séparation physique des postes de soudage à l'arc électrique
- Utilisation de chalumeaux à aspiration directe (voir photo de couverture)

6.2.2 Épuration de l'air vicié

Les installations d'épuration d'air doivent faire l'objet d'une grande attention, surtout lorsqu'une partie de l'air dit «épuré» est réinjectée dans les locaux de travail ou – comme pour les installations d'aspiration mobiles – lorsque cet air reste dans les locaux.

Dans l'air réinjecté, la concentration de substances nocives ne doit pas excéder le tiers des valeurs limites d'exposition au poste de travail (valeurs VME).

Dans ce cas, il faut tenir compte du fait que, contrairement aux particules, les substances gazeuses ne peuvent généralement pas être séparées de l'air par filtrage.

La commutation momentanée des installations de ventilation sur le mode air frais/évacuation d'air doit être possible.

Le mode air frais/évacuation d'air est à privilégier par rapport au recyclage de l'air pour des raisons d'hygiène au travail. À des fins d'économie de chauffage (surtout en hiver), on préférera l'aspiration à la source à la ventilation du volume total, mettant en jeu d'énormes quantités d'air. Une exception pourrait être le système de ventilation à front d'air frais. Celui-ci s'assortit d'un faible taux de renouvellement de l'air, de sorte qu'une quantité relativement faible d'air est mise en circulation et réchauffée (fig. 37).

Séparation des fumées de soudage

Les systèmes appropriés de séparation des fumées de soudage de l'air peuvent être classifiés selon leur mode d'action en deux principales catégories:

- séparateur à filtre (filtration en surface, filtration en profondeur), et
- séparateur électrostatique (électrofiltre, électro-séparateur)



Fig. 36
Bras d'aspiration flexible de grande portée



Fig. 37
Ventilation à front d'air frais

Classe de fumées de soudage	Efficacité de séparation (%)	Applications recommandées
W 1	≥ 95 %	Aciers non alliés et faiblement alliés, par ex. à faible teneur en nickel-chrome
W 2	≥ 98 %	Comme ci-dessus et aciers alliés, par ex. à teneur en nickel-chrome ≤ 30 %
W 3	≥ 99 %	Comme ci-dessus et aciers fortement alliés

Tableau 2

Classes de fumées de soudage selon la norme SN EN ISO 15012-1 pour les appareils et installations de séparation des fumées de soudage

Les **filtres à poussière fine** et les **filtres à matière en suspension** conviennent particulièrement bien à la séparation des fumées de soudage. Sont adaptés pour la séparation de particules très fines les membranes de Teflon microporeuses sur feutre de polyester ou sur granulés de polymères frittés et d'autres filtres à pores fins tels que les filtres en papier ou en non-tissés.

Sur les filtres superficiels, les particules se déposent dès le début sur toute la surface supérieure, de sorte qu'un gâteau se formera très rapidement. Ce gâteau est constitué de tout le spectre des tailles de particules. Son avantage est qu'il se nettoie assez facilement. Dans certaines conditions, de tels filtres sont utilisables pour le recyclage de l'air lors du soudage d'aciers fortement alliés (chrome-nickel).

Les installations de séparation des fumées de soudage doivent satisfaire aux exigences de la norme SN EN ISO 15012-1 [20] et appartenir à l'une des classes de séparation des fumées de soudage mentionnées dans le tableau 2. La classe des appareils et installations de séparation des fumées de soudage doit être justifiée par un rapport d'essai d'un organisme de contrôle reconnu.

En cas d'utilisation d'électrofiltres, il faut veiller à nettoyer périodiquement les plaques de séparation des particules. Selon les circonstances, le nombre de soudeurs, les procédés mis en œuvre, etc., ce nettoyage peut être exécuté mensuellement, hebdomadairement ou même quotidiennement. Lors d'une surcharge du filtre, les particules de

poussières chargées électriquement en ressortent et retournent dans le local où elles se déposent sur les plafonds, les parois et les fenêtres.

La situation est un peu plus favorable lorsque l'électrofiltre est équipé d'un dispositif de nettoyage automatique, par exemple à rinçage automatique à l'eau.

Dans tous les cas, il s'agit, lors de la mise en œuvre d'un électrofiltre, de prévoir l'intégration d'un système à air frais/évacuation d'air.

Séparation des gaz de soudage

On utilise essentiellement des filtres à charbon actif pour la séparation des substances nocives sous forme gazeuse ou de vapeur. Selon l'état des substances nocives et du carbone, l'action du charbon actif repose sur l'adsorption physique et (ou) chimique.

La durée d'utilisation d'un filtre à gaz dépend largement des conditions externes. Outre la grandeur et le type du filtre, la durée d'utilisation est influencée principalement par les facteurs suivants:

- nature et concentration des substances nocives
- humidité et température de l'air
- vitesse d'écoulement dans l'installation de ventilation



Fig. 38
Installation centrale de dépolluage pour fumée de soudage et poussières de meulage

C'est pourquoi il n'est pas possible de citer des valeurs indicatives pour la durée d'utilisation des séparateurs de gaz.

Ces filtres doivent être remplacés au plus tard lors de l'apparition d'odeurs ou d'irritations.

6.2.3 Surveillance des filtres

Les dispositifs d'aspiration de fumées de soudage dotés de séparateurs filtrants doivent être équipés d'un système de contrôle donnant clairement l'alerte en cas de saturation des filtres. Les filtres électrostatiques qui ne sont pas suivis de séparateurs filtrants doivent être équipés d'un système de contrôle spécial. Celui-ci doit donner une alerte acoustique ou optique en cas de chute inadmissible de la tension continue dans la zone de charge et de séparation des fumées de soudage.

La durée de service – période durant laquelle le débit minimum ne doit pas chuter au-dessous d'un seuil minimum – est donc un critère qualitatif pour l'évaluation d'un filtre de fumées de soudage.

En pratique, facilité de remplacement et rapidité de nettoyage du filtre constituent d'importants critères de qualité. Des opérations aisées motivent les utilisateurs à entretenir correctement les filtres, condition importante pour une qualité d'air satisfaisante et constante.

6.3 Protection individuelle

Pour se protéger le visage, un soudeur doit en général, et en fonction du procédé, porter un masque, un tablier, un casque avec écran de protection.

Si, pour des raisons particulières, les dispositifs de ventilation artificielle sont insuffisants ou si leur installation entraîne des frais disproportionnés, il faut utiliser des appareils de protection des voies respiratoires. Les dispositifs de ventilation artificielle sont suffisants lorsqu'ils respectent les valeurs limites d'exposition aux postes de travail (valeurs VME).

Le choix de l'appareil de protection des voies respiratoires nécessaire est déterminé par les conditions d'utilisation telles que l'atmosphère environnante, la localisation, le but et l'opération à effectuer [21,22]. Il s'agit de vérifier:

- si l'air respiré contient suffisamment d'oxygène
- quelles substances nocives sont présentes dans l'air respiré ou sont susceptibles de se former
- si ces substances sont dangereuses
- quelle est la durée de travail du soudeur dans l'atmosphère donnée

Sur la base de ces données, on pourra déterminer si:

- des filtres, ou
- des appareils isolants doivent être utilisés (classification selon SN EN 133)

Si les conditions d'application ne sont pas connues avec suffisamment de précision, comme cela peut se présenter lors de travaux dans des réservoirs ou dans des locaux exigus, il convient d'utiliser des appareils d'isolation.



Fig. 39
Surveillance automatique du filtre



Fig. 40
Entretien aisé du filtre

Lors de l'achat des équipements de protection individuelle, il faut choisir des articles de bonne qualité et conformes aux normes en vigueur. La déclaration de conformité atteste qu'un produit satisfait aux exigences essentielles de sécurité et de santé selon l'annexe II de la Directive 89/686/CEE (directive CEE sur les EPI). Ce document confirme également, par analogie, le respect des dispositions de la **loi fédérale sur la sécurité des produits (LSPro)** [23].

6.3.1 Appareils de filtration

Les filtres dépendant de l'atmosphère ambiante ne peuvent être utilisés que lorsque les travaux de soudage sont de courte durée et lorsque l'air ambiant contient suffisamment d'oxygène (minimum 18 % vol.). La nature du filtre (catégorie et type de filtre) doit être choisie en fonction des substances nocives produites.

Les masques-filtres à particules sont utilisés pour protéger les soudeurs contre les fumées et les poussières. Les modèles conseillés sont les suivants:

- appareils filtrants à ventilation assistée avec casque de soudage et filtre à particules de catégorie TH2P ou TH3P selon SN EN 12941 (voir tableau 3 et fig. 42)
- appareils filtrants à ventilation assistée avec masque ou demi-masque et filtre à particules de catégorie TM1P, TM2P ou TM3P selon SN EN 12942
- masques ou demi-masques avec filtres P2 ou P3 selon SN EN 143
- demi-masques à filtrage de particules (masques à usage unique) de catégorie FFP2 ou FFP3 selon SN EN 149 (fig. 41)

Les appareils à filtrage de particules peuvent être également combinés avec des filtres à gaz de catégorie A, B, E et AX selon SN EN 141 (fig. 41).

Le port de demi-masques à filtrage de particules selon SN EN 149 est notamment prescrit pour les travaux à l'air libre avec dégagement de fumée intense ou lors du vidage et du nettoyage d'installations de dépoussiérage de l'air.

En présence de gaz seuls, on utilisera des filtres à gaz; s'il y a présence simultanée de fumées, vapeurs et gaz, on aura recours à des filtres combinés (SN EN 14387/SN EN 405) [21].

Appareils filtrants à ventilation assistée avec casque de soudage et filtre à particules	Concentration maximale de substances nocives
Catégorie d'appareil	
TH2P	jusqu'à 20 fois la valeur VME
TH3P	jusqu'à 100 fois la valeur VME

Tableau 3

Utilisation de casques de soudage avec ventilation assistée et filtre à particules

La durée d'utilisation d'un filtre respiratoire dépend de la grandeur du bâtiment et des conditions d'application. Plus on les utilise, plus les filtres à particules deviennent étanches, de sorte que la résistance à la respiration croît notablement. Selon le mélange de substances nocives, le début de saturation des filtres combinés se remarque par une odeur ou par une résistance accrue à la respiration.

Sur les appareils à filtre, le filtre doit être remplacé avant saturation.

6.3.2 Appareils isolants

Pour effectuer des travaux de soudage avec ventilation insuffisante (par ex. lorsque la teneur en oxygène tombe au-dessous de 18 % vol.), il faut utiliser des appareils respiratoires indépendants de l'atmosphère ambiante tels que:

- appareils à tuyau (fig. 42)
- appareils autonomes à réservoir, ou
- appareils à régénération

Lorsqu'il s'agit de démonter de vieux appareils de préparation d'eau (chauffe-eau) par découpage au chalumeau dans des locaux exigus, par ex. dans des caves (risques présentés par la formation d'oxyde d'azote et de fumées ou d'oxydes de zinc et de fer), il peut être nécessaire de porter des masques respiratoires à apport d'air frais. L'air fourni doit être propre et, le cas échéant, un séparateur d'huile et d'eau ainsi qu'un filtre à charbon actif doivent être intégrés dans la conduite d'alimentation. Par temps froid, il doit être possible de réchauffer cet air [16].

En cas de travaux en zone peu ventilée ou de travaux de soudage dans des locaux fermés ou exigus, nous recommandons d'utiliser un écran de soudeur avec appareil de protection respiratoire isolant à adduction d'air comprimé à débit continu selon SN EN 14594.

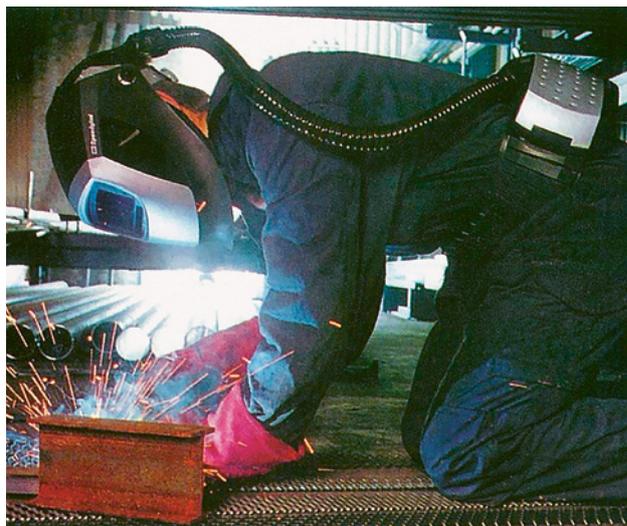


Fig. 41
Appareil filtrant à ventilation assistée avec casque de soudage et filtre antigaz et à particules combiné selon SN EN 12941 (niveau de protection TH2 A1E1B1P)

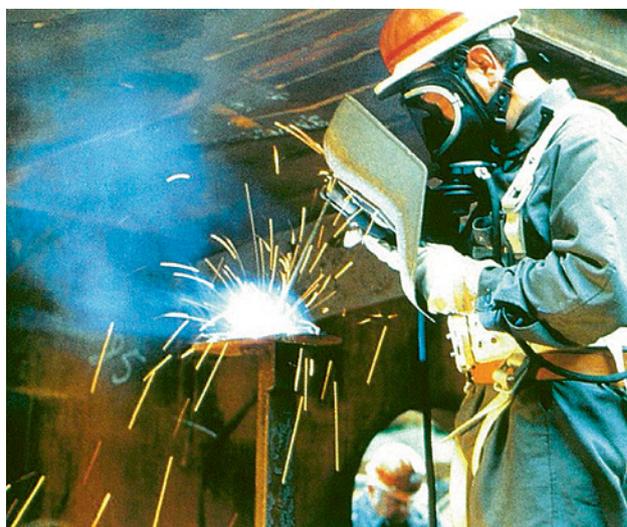


Fig. 42
Soudeur portant un appareil respiratoire alimenté par tuyau, indépendant de l'air ambiant, pour application dans les locaux exigus, par ex. dans une cave sans fenêtre

7 Récapitulation des procédés de soudage et des substances nocives émises

Procédé	Matériau de base	Matériau d'apport	Principaux composants (VME voir p. 26)
Soudage à l'arc avec électrodes en barre (LBH)	acier non allié ou faiblement allié chrome-nickel-acier	de même nature	poussières alvéolaires*
	chrome-nickel-acier	de même nature	poussières alvéolaires, composés de nickel, insolubles, composés de chrome (VI)
	fonte de fer	à base de nickel	poussières alvéolaires, composés de nickel
Soudage sous gaz actif métal (MAG)	acier non allié ou faiblement allié	de même nature ou év. cuivré	poussières alvéolaires, manganèse, év. monoxyde de carbone
	chrome-nickel acier	de même nature	poussières alvéolaires, composés de nickel, insolubles, composés de chrome (VI)
Soudage sous gaz inerte (MIG)	acier non allié ou faiblement allié	de même nature ou év. cuivré	poussières alvéolaires ou év. cuivre
	chrome-nickel acier, nickel, alliages de nickel	de même nature	poussières alvéolaires, composés de nickel, insolubles, ozone
	matériaux aluminium	de même nature	ozone, poussières alvéolaires
Soudage sous gaz inerte tungstène (WIG/TIG)	acier non allié ou faiblement allié, matériaux aluminium	de même nature ou aucun	ozone, poussières alvéolaires
	chrome-nickel-acier, nickel, alliages de nickel	de même nature ou aucun	ozone, composés de nickel, insolubles
Soudage plasma Coupage plasma	non allié ou faiblement allié	de même nature ou aucun	poussières alvéolaires ou év. dioxyde d'azote
	chrome-nickel-acier, nickel, alliages de nickel	de même nature ou aucun	poussières alvéolaires, composés de nickel, insolubles, dioxyde d'azote
	matériaux aluminium	de même nature ou aucun	ozone, poussières alvéolaires
Soudage au laser Coupage au laser	acier non allié ou faiblement allié, acier zingué	aucun	poussières alvéolaires
	chrome-nickel-acier, nickel, alliages de nickel	aucun	poussières alvéolaires, composés de nickel, insolubles
Soudage par résistance	divers	de même nature	poussières alvéolaires ou év. cuivre
Soudage au gaz Réchauffage au chalumeau	fer et acier	de même nature	dioxyde d'azote
Oxycoupage	fer et acier	-	poussières alvéolaires, dioxyde d'azote
Brasage	divers	soudure, fondant	poussières alvéolaires, dioxyde d'azote (soudage à la flamme); selon soudure: plomb, cadmium, cuivre, composés de nickel, insolubles, étain, zinc, etc.; selon fondant: aldéhydes, colophane, chlorures, fluorures, etc.

*poussières alvéolaires = poussières pouvant pénétrer dans les alvéoles pulmonaires

8 Informations et renseignements

Bibliographie

- [2] Loi fédérale sur l'assurance-accidents LAA (RS 832.20)
- [3] Ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles OPA (RS 832.30)
- [4] Valeurs limites d'exposition aux postes de travail, www.suva.ch/1903.f, www.suva.ch/valeurs-limites
- [5] Directives pour la sécurité au travail, Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail, directives.cfst.ch
- [6] Soudage, coupage et techniques connexes appliquées à l'usinage des matériaux métalliques, directive CFST 6509, www.suva.ch/6509.f
- [8] Ordonnance du Département fédéral de l'intérieur concernant les mesures techniques pour la prévention des maladies professionnelles provoquées par des substances chimiques, du 26 décembre 1960, www.suva.ch/1521.f
- [9] SN EN 14610, Soudage et techniques connexes – Définitions des procédés de soudage des métaux; ISO 857-2, Soudage et techniques connexes – Vocabulaire – Partie 2: Termes relatifs aux procédés de brasage tendre et de brasage fort; DIN 2310-6, Thermisches Schneiden – Teil 6: Einteilung, Prozedesse
- [10] Caractéristiques de liquides et de gaz, www.suva.ch/1469.f
- [11] Cahier CESICS n° 3, 1992, Inertisierung, Commission des Experts pour la Sécurité dans l'Industrie Chimique en Suisse (commandes: www.escis.ch)
- [12] Sécurité des installations de gaz liquéfié (butane et propane). Éditeur: Comité international de l'AISS pour la Prévention des Risques Professionnels dans l'industrie chimique, Heidelberg (1992) (commandes auprès de la Suva, service clientèle, case postale, 6002 Lucerne), www.suva.ch/ivss-2004.f
- [13] Grothe, I., Kraume, G.: Arbeitsschutz beim Schweißen, série d'ouvrages sur la technique du soudage, vol. 29. Éditeur: DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf (1996)
- [14] Kraume, G., Zober, A.: Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz in der Schweisstechnik, série d'ouvrages sur la technique du soudage, vol. 105. Éditeur: DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf (1989)
- [15] Attention: rayonnement laser! Feuillet d'information sur les lasers, www.suva.ch/66049.f
- [16] Règles relatives aux travaux exécutés à l'intérieur de réservoirs et dans des locaux exigus, www.suva.ch/1416.f
- [17] Travailler en sécurité dans les puits, les fosses ou les canalisations, www.suva.ch/44062.f
- [18] Soudage à l'intérieur de réservoirs et dans des espaces exigus, www.suva.ch/84011.f
- [19] Attention, la mort guette dans les récipients vides! www.suva.ch/44047.f
- [20] Norme suisse SN EN ISO 15012-1, Hygiène et sécurité en soudage et techniques connexes – Exigences, essais et marquage des équipements de filtration d'air – Partie 1: Essai de l'efficacité de la séparation des fumées de soudage
- [21] Normes suisses; appareils de protection respiratoire, SN EN 133, SN EN 143, SN EN 149, SN EN 405, SN EN 12941, SN EN 12942, SN EN 14387 + A1, SN EN 14594 et autres
- [22] Équipements de protection individuelle, www.suva.ch/epi
- [23] Loi sur la sécurité des produits (LSPro, RS 930.11)

Autres références bibliographiques

- Protection contre les incendies lors du soudage, www.suva.ch/84012.f
- Installations à gaz combustible et oxygène, www.suva.ch/sba-128.f
- Soudage, coupage, brasage et chauffage (travaux à la flamme), www.suva.ch/67103.f
- Soudage et coupage (travaux de soudage à l'arc), www.suva.ch/67104.f
- Protecteurs d'ouïe, www.suva.ch/protection-de-l-ouie
- Directives concernant la sécurité du travail de soudage et techniques connexes (commandes: Association suisse de la technique du soudage ASS, St. Alban-Rheinweg 222, 4052 Bâle)
- Divers rapports de recherche «Humanisierung des Arbeitslebens der Schweisser». Éditeur: Der Bundesminister für Forschung und Technologie, Deutscher Verlag für Schweißtechnik (DVS) GmbH, Düsseldorf
- Dubbel: Taschenbuch für Maschinenbau; 22^e édition, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo (2007)
- Bouteilles à gaz. Entrepôts, rampes, système de distribution de gaz, www.suva.ch/66122.f
- Kompendium der Schweißtechnik Band 1: Verfahren der Schweißtechnik, Fachbuchreihe Schweißtechnik Band 128/1. Éditeur: Deutscher Verlag für Schweißtechnik (DVS) GmbH, Düsseldorf (2002)
- Recknagel, Sprenger, Hörmann: «Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik»; R. Oldenbourg Verlag, Munich (2006)
- Norme suisse SN EN ISO 15012-2, Hygiène et sécurité en soudage et techniques connexes – Exigences, essais et marquage des équipements de filtration d'air – Partie 2: Détermination du débit volumique minimal d'air des bouches de captage
- Directive VDI/DVS 6005; Lüftungstechnik beim Schweißen und bei den verwandten Verfahren. Éditeur: Beuth Verlag, Berlin

Crédits photographiques

Un certain nombre de photos ont aimablement été mises à notre disposition par les sociétés suivantes:

- Alu Menziken Extrusion AG, 5737 Menziken
- ABB Schweiz Holding AG, 5400 Baden
- VA TECH HYDRO AG, 6010 Kriens
- Bühler AG, 9240 Uzwil
- Ferrum AG, 5102 Rapperswil
- RUAG Land Systems, 3600 Thun
- Lanz-Anliker AG, 4938 Rohrbach
- Von Moos Stahl AG, 6020 Emmenbrücke
- Josef Oetterli AG, 8108 Dällikon
- Ernst Schweizer AG, 8908 Hedingen
- Turbo-Seperator AG, 9620 Lichtensteig
- Ygnis AG, 6017 Ruswil
- Zehnder Group AG, 5722 Gränichen

Les publications de la Suva et de la CFST peuvent être obtenues en toute simplicité sur www.suva.ch, via les liens directs mentionnés sur cette page.

Le modèle Suva

Les quatre piliers de la Suva



La Suva est mieux qu'une assurance: elle regroupe la prévention, l'assurance et la réadaptation.



Les excédents de recettes de la Suva sont restitués aux assurés sous la forme de primes plus basses.



La Suva est gérée par les partenaires sociaux. La composition équilibrée du Conseil de la Suva, constitué de représentants des employeurs, des travailleurs et de la Confédération, permet des solutions consensuelles et pragmatiques.



La Suva est financièrement autonome et ne perçoit aucune subvention de l'État.

Suva

Sécurité au travail
Case postale, 6002 Lucerne

Renseignements

Case postale, 1001 Lausanne
Tél. 021 310 80 40
service.clientele@suva.ch

Commandes

www.suva.ch/44053.f

Titre

Coupage et soudage
Protection contre les fumées,
poussières, gaz et vapeurs

Imprimé en Suisse

Reproduction autorisée, sauf à des fins
commerciales, avec mention de la source.

1^{re} édition: août 1994

Édition revue et corrigée: décembre 2021

Référence

44053.f

