

MULTI PRÉVENTION ASP

GUIDE

Prévention pour le soudage et le coupage

Caroline Godin







MULTI PRÉVENTION ASP

GUIDE

Prévention pour le soudage et le coupage

AUTEUR
Caroline Godin, ing.

RÉDACTION TECHNIQUE
Marc St-Marseille, ing., Serge Simoneau et Raymond Dignard

CORRECTION
Francine Noël et Claire Thivierge

INFOGRAPHIE
Hélène Camirand

REMERCIEMENTS
M. Normand April, Air Liquide ; M. Robert Bergeron, Robert Mitchell ; M. James Brown, Métal Tech Amérique du Nord ; M. Jean-François Desmarais, CNESST ; M. Michel Desrocher, Robert Mitchell ; M. Mario Duhaime, Centre de formation professionnelle de la Pointe-du-Lac ; M. Marc Fontaine, Linde ; M. Claude Granger, Air Liquide ; M. Claude Jacques, Numesh ; M. Normand Lafortune, Henlex ; M. Claude Michel, Institut de soudage du Québec ; M. Réjean Perreault, Robert Mitchell ; M. Michel Roy, Numesh ; Mme France Beauregard, Teledyne Dalsa semiconducteur inc. ; M. Guillaume Larose, Teledyne Dalsa semiconducteur inc. ; Mme Marie-Noëlle Bonin, MultiPrévention ; Mme Marie-Josée Ross, MultiPrévention ; Mme Candide Fournier, CNESST

ILLUSTRATIONS
Caroline Merola et Francine Mondor

REPRODUCTION D'ILLUSTRATIONS
Nous tenons à remercier les organismes et les auteurs suivants qui nous ont permis de reproduire certaines illustrations provenant de leurs documents ou de nous en inspirer :
- le Centre d'élaboration des moyens d'enseignement du Québec (CEMEQ)
- Comité conjoint UQAM-CSN-FTQ; L'aspiration à la source
- Fricker, Sear et Tuttle : Le soudage : Méthodes et pratiques courantes
- Henlex Inc.

On peut se procurer des exemplaires du présent document en communiquant avec :

MultiPrévention

2405, boul. Fernand-Lafontaine, bureau 150

Longueuil (Québec) J4N 1N7

Tél. : 450 442-7763

Il est possible de télécharger ce document gratuitement à partir de notre site :
www.multiprevention.org

Dans ce document, le générique masculin est utilisé sans discrimination et dans le seul but d'alléger le texte.

Toute reproduction d'un extrait de ce document doit être autorisée par écrit par MultiPrévention et porter la mention de sa source.

Bien que ce guide ait été réalisé à partir de sources reconnues comme fiables et crédibles, MultiPrévention, ses administrateurs et son personnel n'assument aucune responsabilité des conséquences de toute décision prise conformément à l'information contenue dans le présent document, ou de toute erreur ou omission.

© 2018 MultiPrévention – Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail – secteur de la fabrication de produits en métal, de la fabrication de produits électriques, des industries de l'habillement, du secteur de l'imprimerie et de ses activités connexes.

ISBN 978-2-924694-09-1 (Version imprimée)

ISBN 978-2-924694-12-1 (PDF)

Dépôt légal 2018

Bibliothèque nationale du Québec

Bibliothèque nationale du Canada

MULTI PRÉVENTION ASP

2405, boul. Fernand-Lafontaine, bureau 150
Longueuil (Québec) J4N 1N7
Tél. : 450 • 442 • 7763 Téléc. : 450 • 442 • 2332

979, av. de Bourgogne, bureau 570
Québec (Québec) G1W 2L4
Tél. : 418 • 652 • 7682 Téléc. : 418 • 652 • 9348

www.multiprevention.org
Visitez-nous sur Facebook

Table des matières

Introduction **3**

Comment utiliser ce guide **4**

Chapitre 1 Les procédés les plus courants **5**

Lexique - Les procédés 7

Soudage et coupage à l'arc électrique 8

- Soudage à l'arc sous gaz protecteur avec fil plein 11
- Soudage à l'arc avec fil fourré 13
- Soudage à l'arc avec électrode enrobée ou à la baguette 14
- Soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène 15
- Soudage et coupage à l'arc au plasma 16
- Soudage à l'arc submergé 17
- Coupage et gougeage à l'arc avec électrode de carbone et jet d'air 18

Soudage par résistance 19

Procédé oxygaz 20

Tableau-synthèse - Les procédés 21

Chapitre 2 - Les risques reliés aux fumées et aux gaz **22**

Identification des risques 22

Poumon et effets 25

- Mécanismes de défense du poumon 26
- Effets des fumées et des gaz sur la santé 27
- Principales maladies professionnelles 39

Normes d'exposition 41

Mesures de prévention 43

- Réduction à la source de la production de fumée et de gaz 43
- Captage des contaminants à la source 45
- Dilution des contaminants 47
- Protection respiratoire 49

Chapitre 3 - Incendie et explosion **51**

Identification des risques 51

- Sources de chaleur 52
- Matières combustibles 54
- Bouteilles de gaz 55
- Retour de gaz et de flamme 56

Mesures de prévention 58

- Contrôle des sources de chaleur 58
- Contrôle des matières combustibles 59
- Prévention des retours de gaz et de flamme (procédé oxygaz) 61
- Entreposage et gestion des bouteilles de gaz 63
- Procédure et précautions spécifiques pour le procédé oxygaz 71

Chapitre 4 - Les risques d'électrisation **73**

Notions de base 73

- Paramètres 74
- Situations à risque 75
- Causes de l'électrisation 76

Table des matières

Effets sur la santé 77
Facteurs qui déterminent les effets 78
Mesures de prévention 79
Protection individuelle 80
Équipements 81
Autres précautions 84

Chapitre 5 - Les risques pour la peau et les yeux 85
Rayonnement 85
Rayonnements émis selon le procédé 86
Effets d'une exposition au rayonnement 87
Distances de sécurité selon les procédés 89
Risques particuliers 90
Mesures de prévention 91

Chapitre 6 - Les risques reliés au bruit 97
Identification des risques 97
Mesures de prévention 99

Chapitre 7 - Les risques reliés aux contraintes thermiques 100
Identification des risques 100
Effets sur la santé 101
Réglementation 102
Mesures de prévention 103

Chapitre 8 - La ventilation appliquée aux opérations de soudage 105
Ventilation générale 105
Débit d'air requis 106
Aspiration locale 109
Système à haut volume, basse pression 110
Système à moyen volume, moyenne pression 113
Système à bas volume, haute pression 114
Exemple de calcul des coûts de chauffage 116
Autres méthodes d'aspiration locale 119
Filtration des fumées et des gaz 120

Chapitre 9 - Procédures de travail particulières 122
Travail dans un espace clos 122
Fiche d'entrée en espace clos 126
Travail sur un petit réservoir ayant contenu un produit dangereux 128
Purge des vapeurs inflammables 129
Enlèvement de résidus liquides ou solides 130
Travail à chaud 131
Mesures de prévention 132
Fiche de travail à chaud 134

Bibliographie 135

Introduction

Les risques pour la santé et la sécurité du travail sont présents dans un grand nombre de tâches reliées au soudage et au coupage. Dans cet ouvrage, on entend par coupage les procédés de coupe par fusion du métal qui s'apparentent aux procédés de soudage.

Cette dernière édition du guide a été réalisée pour le bénéfice des entreprises du secteur de la fabrication de produits en métal et de produits électriques ainsi que des industries de l'habillement. Ce guide a été conçu à l'intention des travailleurs qui exercent des activités de soudage et de coupage, de leurs superviseurs et des membres des comités de santé et de sécurité.

Les procédés de soudage et de coupage font appel à des technologies en constante évolution; seuls les plus courants sont abordés ici.

De même, ce guide ne traite pas d'un certain nombre de risques auxquels un soudeur pourrait être exposé, tels que les lésions musculo-squelettiques (maux de dos, tendinites, etc.). Ces questions, associées aux caractéristiques hautement variables de l'activité de travail, dont la posture et l'effort, sont trop complexes pour y être présentées. Seuls les risques physiques et chimiques présents dans l'environnement d'un soudeur et d'un coupeur ont été abordés.

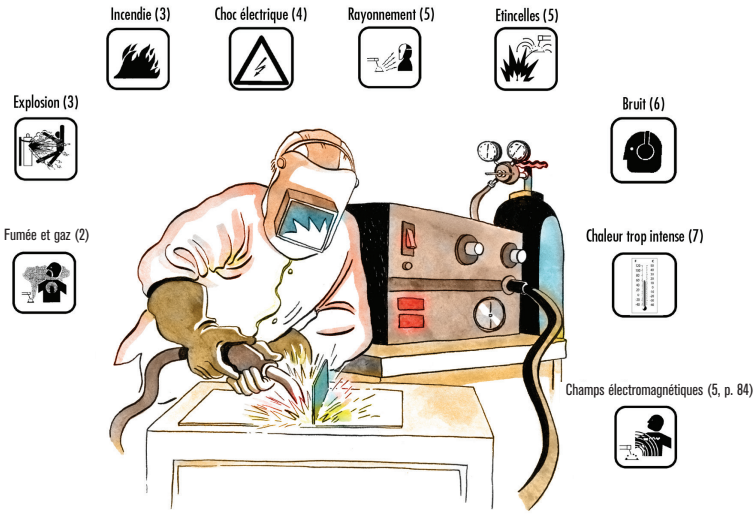
La section sur le laser a été retirée de cette deuxième édition étant donné que ce sujet est traité en détail dans un guide entièrement consacré à cette question : *La sécurité reliée au laser*, Marie-Josée Ross, MultiPrévention, 2018.

Avant tout, ce guide sur le soudage et le coupage a comme objectif de sensibiliser le lecteur aux risques et aux mesures de prévention à mettre en place pour les éliminer, les diminuer ou les contrôler.

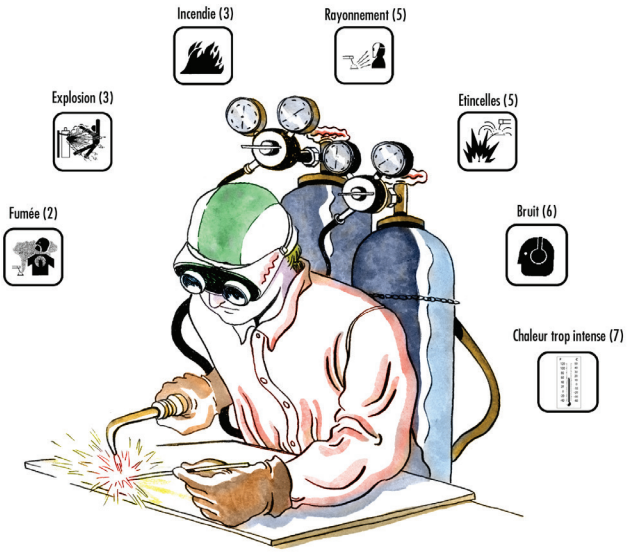
Comment utiliser ce guide

Afin de faciliter la consultation de ce guide, voici les risques spécifiques à chacune des trois classes de procédés définis dans le chapitre 1. Pour chacun d'eux, vous trouverez l'information pertinente au chapitre correspondant, indiqué par le chiffre entre parenthèses.

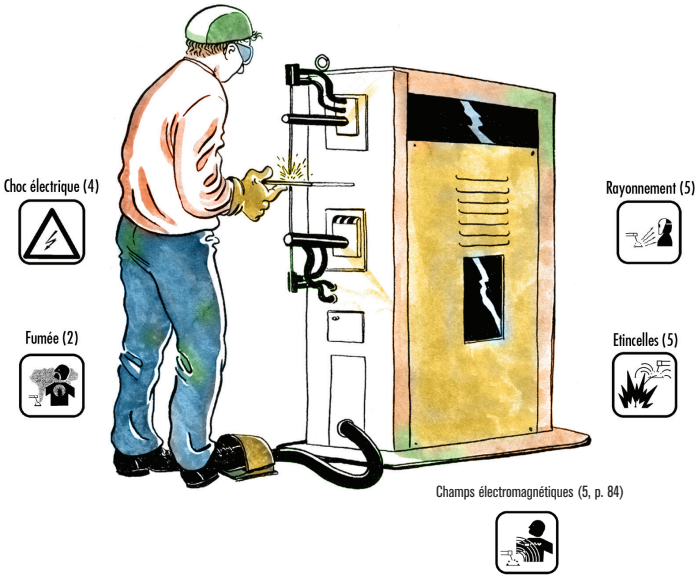
Procédés à l'arc électrique



Procédés oxygaz



Soudage par résistance





Chapitre 1

Les procédés les plus courants

Lexique des procédés

1 Le soudage et le coupage à l'arc électrique
2 Le soudage par résistance
3 Le procédé oxygaz

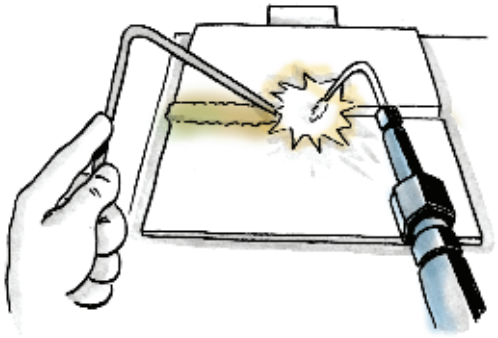
Tableau-synthèse des procédés

Il existe près de 140 procédés de soudage et de coupage différents. Nous traiterons dans ce guide de ceux qui sont les plus couramment utilisés dans le secteur de la fabrication de produits en métal et de produits électriques ainsi que dans les industries de l'habillement.

On peut classer les activités de soudage et de coupage parmi les cinq types d'opérations suivantes :

Le soudage

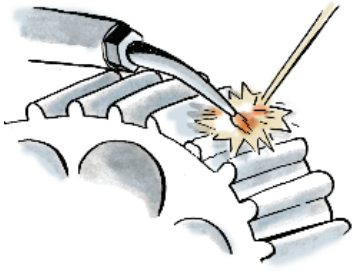
Le soudage consiste à joindre des pièces de même nature en fusionnant leurs bords, avec ou sans métal d'apport. Le métal de base et le métal d'apport se mélangent par dilution pour former un cordon de soudure.



Assemblage de deux plaques d'acier bout à bout.

Le brasage

Le brasage consiste à joindre des pièces de même nature ou non, sans fusion intime des bords (sans dilution), avec l'addition d'un métal d'apport complémentaire, généralement de nature différente des pièces à assembler. On peut également braser par couches successives afin de rebâtir une pièce de métal. Il existe plusieurs procédés de brasage, qu'on divise en deux catégories : le brasage tendre et le brasage fort. Le brasage tendre est particulièrement utilisé dans l'industrie de l'électronique, avec les procédés de brasage à la vague et de brasage au fer. Dans ce dernier cas, le brasage au plomb ou au plomb-étain est courant.



Brasage fort - application de métal en couche pour refaire une dent d'embrayage.

Le coupage thermique

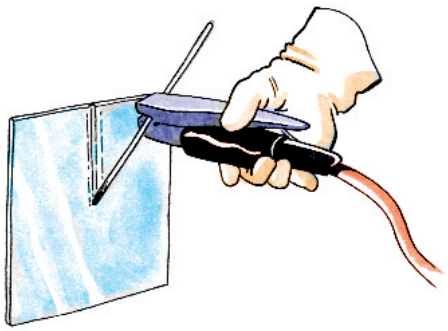
Le coupage consiste à faire fondre du métal pour provoquer sa scission (coupure).



Coupe d'une plaque d'acier

Le travail manuel à la gouge

Le travail manuel à la gouge consiste à éliminer un cordon de soudure mal fait ou à faire une réparation en enlevant le surplus de métal sans traverser la pièce, ou encore à préparer un joint à souder.



Gougeage pour faire un sillon préparatoire à la soudure.

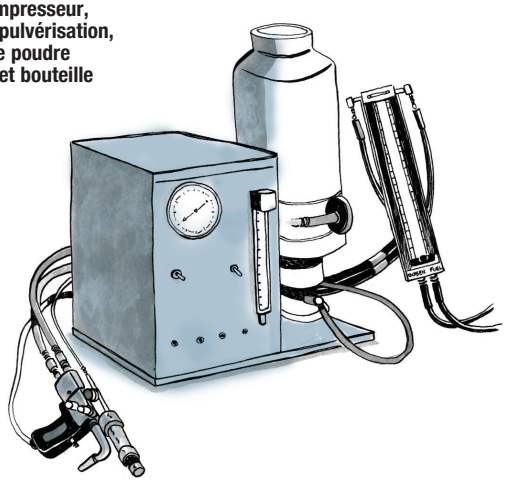
La projection thermique ou métallisation

La projection thermique ou métallisation de surface consiste à introduire de fines gouttelettes, métalliques ou non, dans un procédé de soudage déterminé afin de déposer sur la pièce un revêtement, à l'état fondu ou semi-fondu. Le matériel à déposer peut être une poudre, une tige en céramique, du fil ou des matières en fusion.

Dans le cas du procédé oxygaz, on utilise le terme métallisation, car les températures atteintes sont plus faibles qu'avec la projection thermique; le principe demeure toutefois le même.

La projection thermique sert entre autres à effectuer du renforcement de surface. On l'utilise dans divers secteurs industriels : les pâtes et papiers, les mines, l'industrie chimique et l'aéronautique.

Exemple d'équipement requis : compresseur, pistolet de pulvérisation, réservoir de poudre métallique et bouteille de gaz.



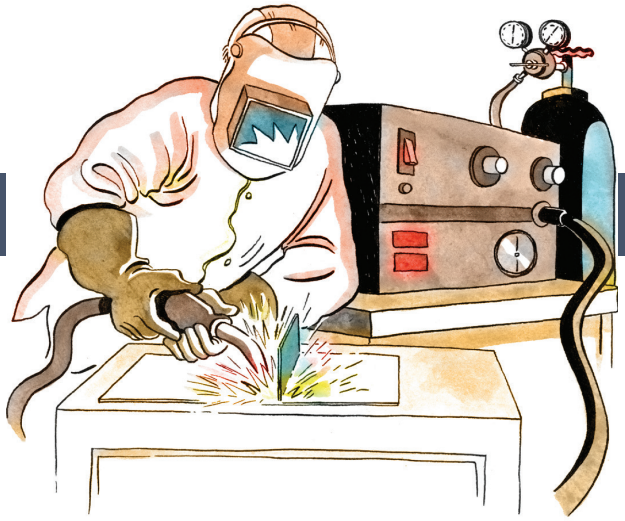
Les procédés

Sigles des procédés de soudage et de coupage mentionnés dans ce guide.

Sigle	Désignation anglaise	Désignation française
GMAW	Gaz Metal Arc Welding	Soudage à l'arc sous gaz protecteur avec fil plein
MAG	Metal Active Gaz	Soudage à l'arc en atmosphère active avec électrode fusible
MIG	Metal Inert Gaz	Soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode fusible
FCAW	Flux Core Arc Welding	Soudage à l'arc avec fil fourré
SMAW	Shielded Metal Arc Welding	Soudage à l'arc avec électrode enrobée
MMA	Metal Manual Arc	Soudage manuel à la baguette
GTAW	Gaz Tungsten Arc Welding	Soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène
SAW	Submerged Arc Welding	Soudage à l'arc submergé
PAW	Plasma Arc Welding	Soudage à l'arc au plasma
PAC	Plasma Arc Cutting	Coupage à l'arc au plasma
OFC	Oxy-fuel Cutting	Coupage au chalumeau
OFW	Oxy-fuel Welding	Soudage au chalumeau
AAC	Air Carbon Arc Cutting	Coupage à l'arc avec électrode de carbone et jet d'air
AAG	Air Carbon Arc Gouging	Gougeage à l'arc avec électrode de carbone et jet d'air
CAW	Carbon Arc Welding	Soudage à l'arc avec électrode de carbone
LBC	Laser Beam Cutting	Coupage par faisceau laser
LBW	Laser Beam Welding	Soudage par faisceau laser
RSW	Resistance Spot Welding	Soudage par résistance par point
RSEW	Resistance Seam Welding	Soudage par résistance à la molette
TS	Torch Soldering	Brasage tendre aux gaz
TB	Torch Brazing	Brasage fort aux gaz
INS	Iron Soldering	Brasage tendre au fer
WS	Wave Soldering	Brasage tendre à la vague
FLSP	Flame spraying	Projection thermique (à la flamme) ou métallisation

1

Soudage et coupage à l'arc électrique



La production à grande échelle d'avions, de navires de guerre, de véhicules blindés et d'armes de toutes sortes pour les combattants des deux guerres mondiales a favorisé le développement du soudage électrique et la réalisation de grands progrès dans ce domaine. De nos jours, le soudage électrique est souvent utilisé pour la réparation d'équipements, l'assemblage de structures métalliques et la fabrication de multiples produits en métal.

Avant de traiter des particularités propres à chacun des procédés, il est utile de présenter les caractéristiques générales. Voici donc certains éléments de base qui caractérisent la plupart des procédés à l'arc électrique.

Principe

Dans les procédés électriques, le courant circule dans une électrode (en forme de fil ou de baguette) et, dans certains cas, en fait fondre la pointe ainsi qu'une partie du métal de base. Toutefois, certains procédés, comme le soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène (GTAW) et le plasma (PAW), utilisent une électrode qui ne fond pas (électrode non fusible). La baguette d'apport est injectée dans le métal en fusion dans le cas du GTAW; les deux se fusionnent et finissent par refroidir pour produire un cordon de soudure.

Amorce de l'arc

On peut amorcer l'arc électrique en court-circuitant l'électrode et la pièce ou en utilisant un courant à haute fréquence.

La technique par court-circuit fonctionne comme suit : avant de commencer la soudure, le soudeur approche la pointe de l'électrode de la pièce de métal. Lorsque le courant réussit à ioniser l'environnement gazeux et protecteur, c'est-à-dire lorsqu'il augmente sa conductivité électrique, le gaz ionisé permet le passage de l'arc électrique à la pièce, et c'est alors que la soudure débute. La pointe de l'électrode atteint une température très élevée qui la fait fondre si elle est fusible, ainsi qu'une partie du métal de base et le métal d'apport, s'il y a lieu.

La technique à haute fréquence fonctionne comme suit : un module capable de générer un courant à haute fréquence est intégré dans l'équipement de soudage. Lors de l'amorce, le soudeur approche le pistolet de soudage de la pièce à souder tout en actionnant un interrupteur. Le module génère un courant à haute fréquence à une tension élevée (3 000 à 5 000 volts) qui est coupé lorsque l'arc s'établit, après environ trois secondes.

Dans le cas du procédé GTAW, la méthode à haute fréquence est préférable pour éviter toute contamination de l'électrode ou de la soudure.

Protection du bain de fusion

Dès que la soudure débute, il faut protéger le bain de fusion, composé du métal de base fondu et du métal d'apport. Il faut absolument éviter qu'il entre en contact avec l'azote, l'oxygène ou l'humidité contenu dans l'air, ce qui pourrait nuire à la qualité mécanique du cordon de soudure : manque de ductilité, porosité excessive, inclusions trop nombreuses, etc.

Dans presque tous les procédés de soudage à l'arc électrique, le bain de fusion est protégé par un gaz. Ce gaz protecteur est acheminé dans le pistolet de soudage ou produit par la combustion du fondant. Le fondant peut provenir de la baguette ou du fil-électrode, ou être déposé à la surface du métal à souder.

Le fondant (flux) est une portion de l'électrode, soit le cœur dans le cas du fil ou l'enrobage, s'il s'agit d'une baguette. Sous l'effet de la combustion, il produit des gaz qui protégeront le bain de fusion de la contamination par l'air.

Le fondant (flux) peut aussi être déposé sur la surface à souder sous forme de poudre. La matière utilisée comme fondant prévient ou dissout les oxydes et les autres substances indésirables de la surface, ou facilite leur enlèvement.

Caractéristiques électriques

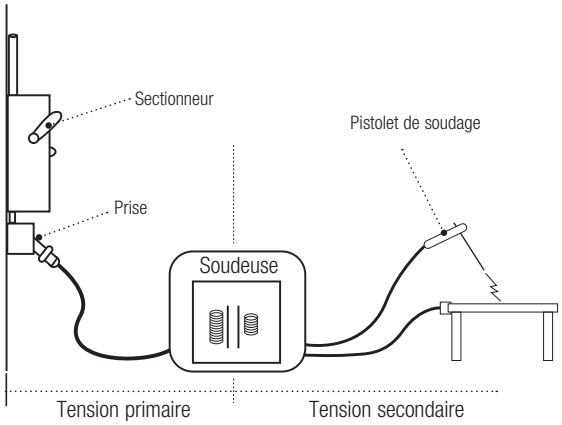
Pour souder, il est nécessaire d'abaisser la tension que le réseau d'alimentation électrique fournit. C'est pourquoi deux types de tensions sont présents dans un poste de soudage et de coupage : la tension primaire et la tension secondaire.

La tension primaire, ou tension du secteur, est celle disponible dans l'atelier; elle permet l'alimentation électrique de l'équipement de soudage. Au Québec, les tensions primaires sont habituellement de 347 ou de 600 volts. Les équipements plus légers utilisent une tension primaire de 120 ou de 240 volts.

Cette tension primaire est réduite par un transformateur situé dans le poste de soudage, qu'on nomme également soudeuse. C'est la tension réduite qui alimente le pistolet et qu'on appelle tension secondaire.

Pour produire le courant direct, on utilise des redresseurs dans le circuit électrique de la soudeuse. Le soudeur ajuste la tension et l'ampérage du circuit secondaire de son poste de soudage en fonction des caractéristiques désirées.

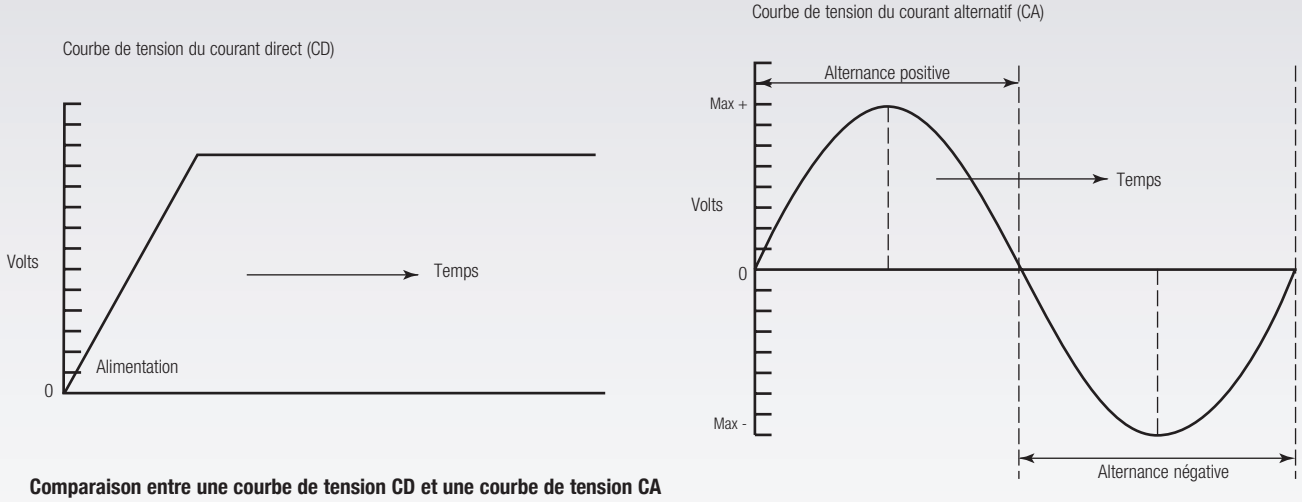
La plupart des procédés électriques fonctionnent sur du courant direct (CD), sauf certains, tels que le soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène (GTAW), le soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW) et le soudage à l'arc submergé (SAW), qui peuvent fonctionner tant sur le courant direct que sur le courant alternatif (CA).



Tension secondaire produite par la soudeuse à partir de la tension primaire d'alimentation

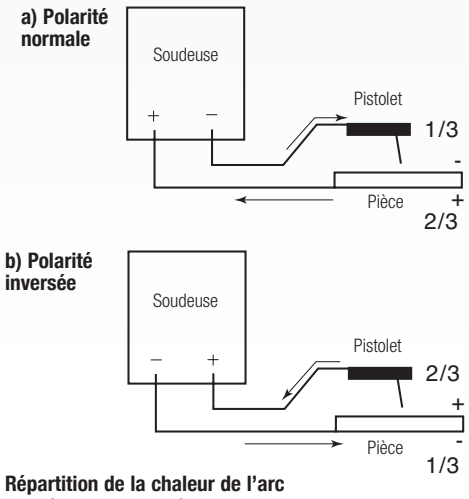
En détail

Le courant direct (CD) est produit par des électrons qui circulent constamment dans une même direction, soit du pôle négatif au pôle positif, tandis que la direction du courant alternatif (CA) varie constamment. Le CA est habituellement de 60 cycles par seconde, soit 60 hz (hertz). Le cycle est la durée comprenant le passage d'une alternance positive et d'une alternance négative.

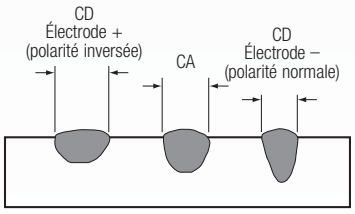


Comparaison entre une courbe de tension CD et une courbe de tension CA

Quand le procédé fonctionne en courant direct (CD), deux modes de polarité sont possibles : polarité normale ou polarité inversée. En polarité normale, l'électrode représente le pôle négatif et la pièce de métal le pôle positif. En polarité inversée, l'électrode représente le pôle positif et la pièce de métal le pôle négatif. Le mode de polarité est très important puisque la chaleur générée se répartit aux 2/3 vers le pôle positif et au 1/3 vers le pôle négatif.



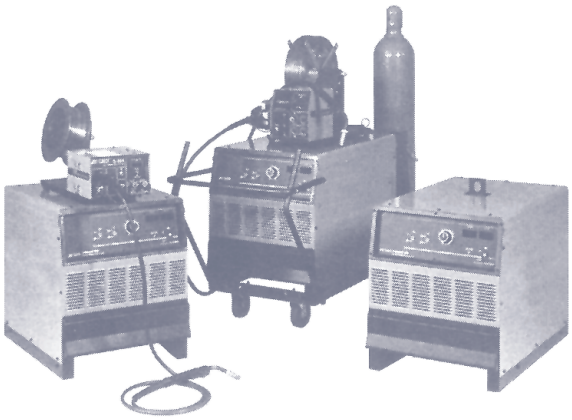
Répartition de la chaleur de l'arc avec le courant continu.



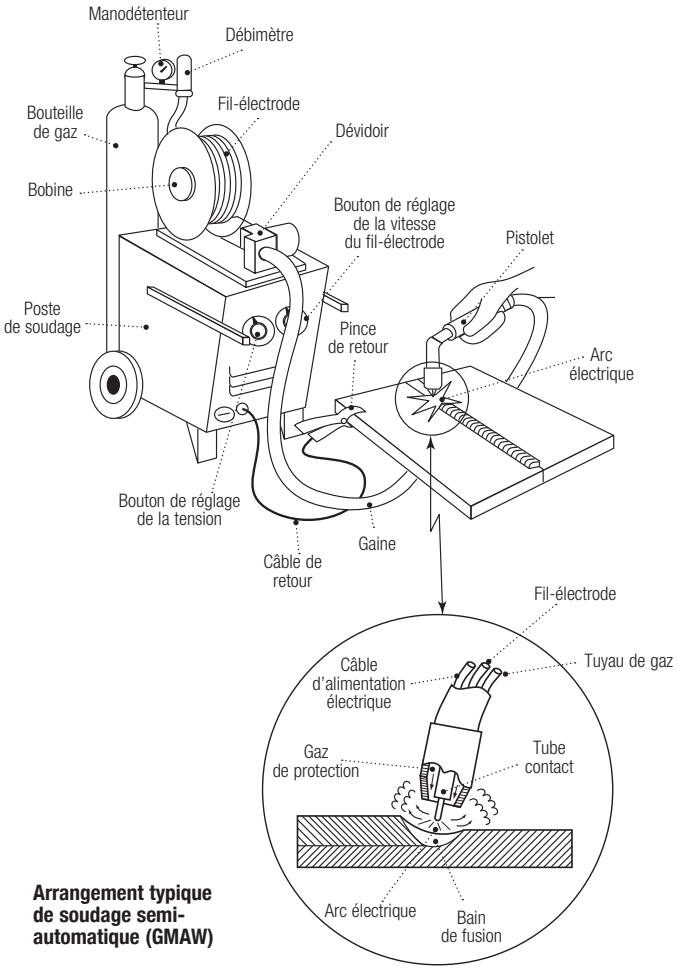
Influence du courant et de la polarité utilisée sur la forme du cordon de soudure.

Application

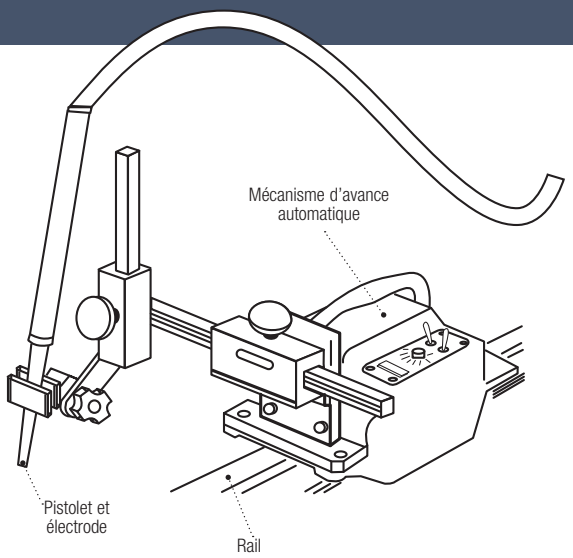
Le soudage à l'arc sous gaz protecteur avec fil plein (GMAW) est actuellement le procédé le plus utilisé dans l'industrie. On l'appelle également MAG ou MIG, selon le type de gaz de protection employé. Rapide et efficace, cette technique permet de souder des pièces de différentes épaisseurs. On l'utilise, par exemple, dans la fabrication de charpentes métalliques et dans plusieurs autres applications convenant à des pièces plus légères. On peut l'employer pour tous les alliages commerciaux.



Exemples de postes de soudage (GMAW)



Arrangement typique de soudage semi-automatique (GMAW)



Tortue pour soudure longitudinale

Principe

Le procédé GMAW fonctionne habituellement en mode semi-automatique : le fil-électrode plein fusible (sans fondant) se déroule à une vitesse variable à partir d'un dévidoir. Son avancement est contrôlé par une gâchette fixée au pistolet de soudage. Une fois l'arc amorcé, la fusion peut atteindre des températures de l'ordre de 6 650 °C (12 000 °F).

Gaz de protection

Un gaz de protection, de type chimiquement actif (MAG) ou inerte (MIG), protège le bain de fusion. Les principaux gaz actifs utilisés sont le bioxyde de carbone ou un mélange d'argon et de bioxyde de carbone. Ils produisent une réaction chimique dans le bain de fusion qui aide à contrôler les effets nuisibles pour la soudure. Pour ce qui est des gaz inertes, on utilise souvent l'argon, l'hélium ou un mélange des deux. Ils agissent en enveloppant la soudure pour ainsi créer une barrière physique qui empêche la contamination par l'air. Ils ne réagissent pas chimiquement.

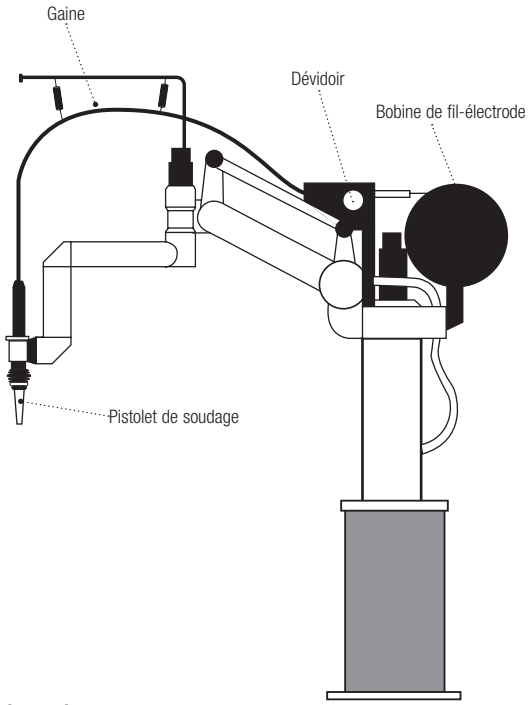
Circuit secondaire

La tension du circuit secondaire varie de 12 à 40 volts et l'ampérage de 50 à 1 000 ampères, selon les besoins. On n'utilise jamais le courant alternatif dans le procédé GMAW.

Mode de fonctionnement automatique

Le procédé de soudage GMAW est également utilisé en mode robotisé ou automatique. Le mode robotisé n'implique pas d'opérateur ou de soudeur; la machine est entièrement contrôlée par une série de commandes programmées. Le pistolet de soudage est fixé à l'extrémité du bras articulé du robot et tous les paramètres de la soudure sont configurés dans la programmation de ce dernier.

Le mode automatique implique que le soudage se réalise en continu à l'aide d'un positionneur. Il s'agit en fait d'un engin qui exécute la soudure de façon circulaire ou longitudinale; il est souvent appelé tortue ou *travel carriage*. L'opérateur surveille continuellement les actions du positionneur, qui se déplace sur la pièce à souder et guide la soudure.



Robot de soudage

Application

On utilise souvent ce procédé dans les usines de charpentes, pour l'assemblage mécanique de divers produits, tels que des convoyeurs et des réservoirs sous pression, ou encore pour la maintenance générale. Il sert fréquemment pour travailler les aciers au carbone et l'acier inoxydable.

Principe

Le procédé de soudage à l'arc avec fil fourré (FCAW) est souvent confondu avec le procédé GMAW, l'équipement nécessaire pour l'utiliser étant le même.

Fondant et gaz de protection

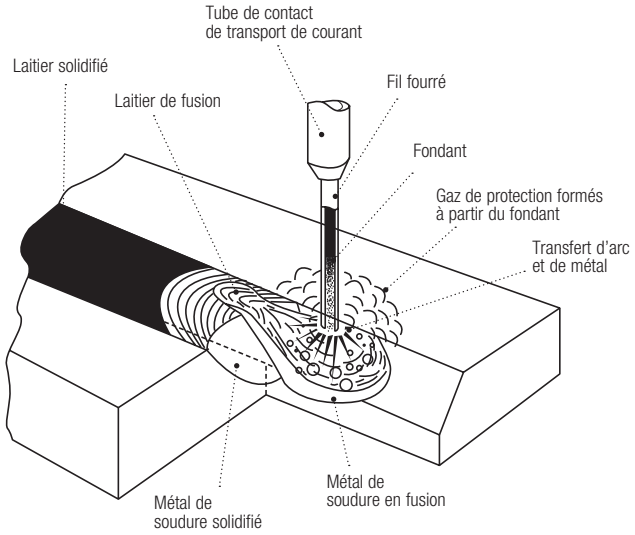
La principale différence entre les procédés FCAW et GMAW réside dans le fait que le centre de l'électrode utilisée dans le premier contient du fondant (ou flux), tandis que l'électrode qu'on utilise dans le second n'en contient pas. Le FCAW produit une couverture solide, appelée laitier, qu'il faut par la suite enlever à coups de marteau ou avec un outil pneumatique.

En revanche, ce laitier n'est pas plus difficile à enlever que celui d'un autre procédé utilisant du fondant tel que le SMAW ou le SAW, par exemple. En se consumant, le fondant libère des gaz qui protègent le bain de fusion.

On choisit le gaz de protection en fonction du fil utilisé (bioxyde de carbone, mélange de bioxyde de carbone et d'argon, ou aucun gaz).

Circuit secondaire

L'ampérage du circuit secondaire varie généralement de 100 à 500 ampères et le voltage, de 18 à 40 volts. Seul le courant direct est utilisé pour ce procédé.



Procédé de soudage à l'arc avec fil fourré (FCAW)

Soudage à l'arc avec électrode enrobée ou à la baguette

Application

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée a été le premier procédé à fonctionner à l'électricité; toutefois, il est de moins en moins employé pour le soudage de production. On l'utilise sur de l'acier au carbone, de l'acier inoxydable ou, plus rarement, sur de l'aluminium ou du cuivre. Ce procédé sert surtout aux services d'entretien, aux réparations générales et aux travaux divers.

Principe

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée exige l'utilisation manuelle d'une baguette. Une fois l'arc amorcé, la température très élevée, soit de 5 500 °C à 6 650 °C (9 990 °F à 12 000 °F), fait fondre l'électrode et une partie du métal de base. Le remplacement de l'électrode se fait manuellement.

Fondant et gaz de protection

L'électrode servant au procédé SMAW diffère de celle qu'on utilise dans le FCAW. Dans le SMAW, le métal d'apport qui forme l'intérieur de l'électrode est une âme métallique enrobée de fondant. Sous l'effet de la chaleur, le fondant libère des gaz de protection qui isolent le bain de fusion.

Ce procédé présente le même inconvénient que le FCAW : il produit une couverture solide, appelée laitier, qui doit être enlevée, soit à coups de marteau ou à l'aide d'un outil pneumatique.

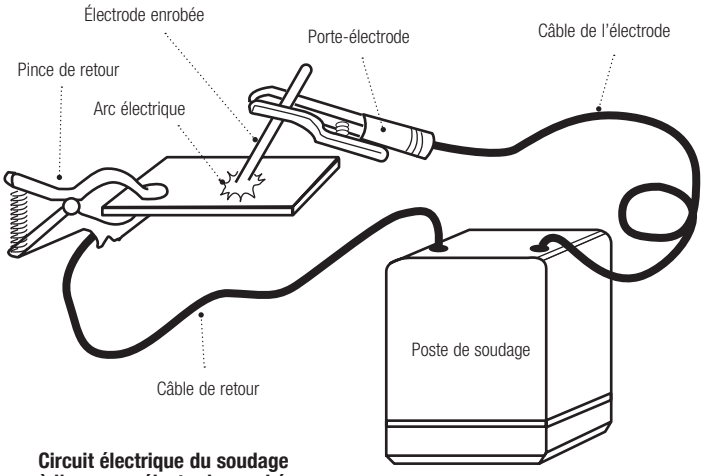
Les gaz de protection ne sont jamais utilisés, car la combustion du fondant produit les gaz nécessaires pour protéger le bain de fusion.

Circuit secondaire

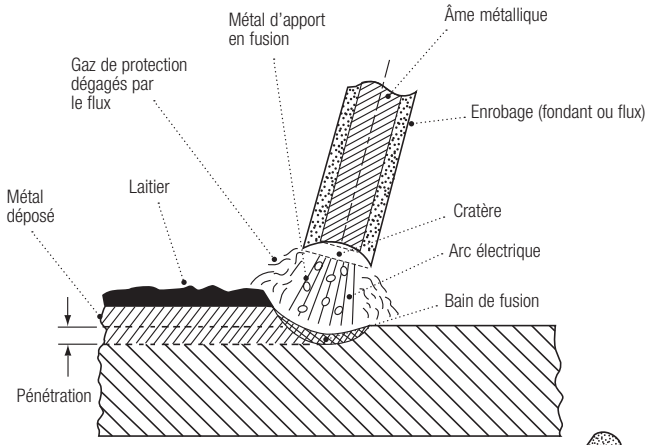
Dans le procédé SMAW, la tension de l'arc électrique du circuit secondaire peut varier de 17 à 45 volts et le courant, de 10 à 550 ampères. Ce procédé fonctionne tant sur le courant direct que sur le courant alternatif.

Mode de fonctionnement

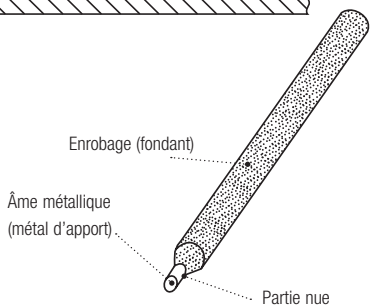
Le procédé SMAW ne se prête pas à l'automatisation.



Circuit électrique du soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW)



Principe du procédé (SMAW)



Électrode enrobée

GTAW

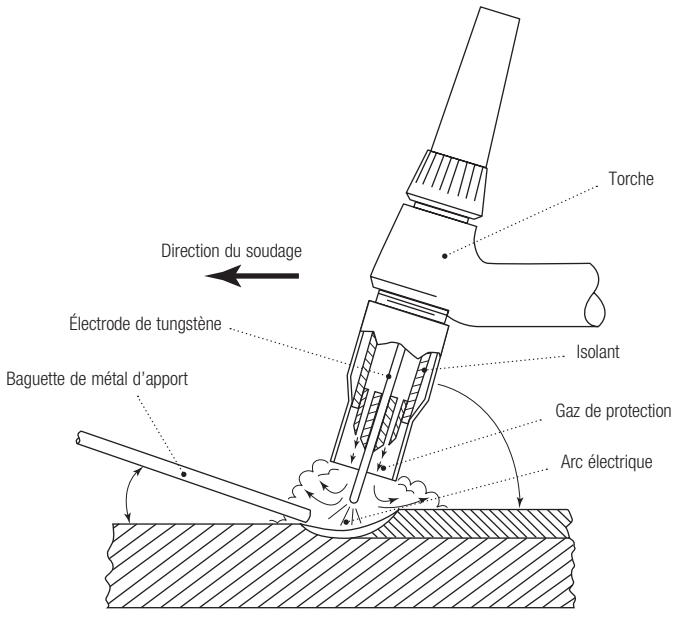
Soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène

Application

Le procédé GTAW permet de souder la plupart des métaux et des alliages commerciaux, en particulier l'acier inoxydable et l'aluminium. Il est également utilisé lorsque les soudures sont soumises à des contrôles de qualité stricts. Par exemple, on l'utilisera pour faire la première passe de soudure des tuyauteries à haute pression, puis on appliquera le FCAW ou le GMAW pour la deuxième passe. Le GTAW est un procédé lent, bien adapté à des tôles de moins d'un quart de pouce d'épaisseur.

Principe

Le soudage à l'arc en atmosphère inerte GTAW (communément appelé TIG) utilise une électrode de tungstène. Le soudeur utilise une torche munie d'une telle électrode réfractaire non fusible, car le tungstène résiste à de très hautes températures et ne fond pas sous l'effet de la chaleur.



Torche (GTAW)

L'ionisation du gaz de protection qui devient conducteur se produit lorsqu'on court-circuite l'électrode et la pièce à souder ou encore, lorsqu'on utilise la méthode à haute fréquence. Le gaz ainsi ionisé en raison de la haute température est nommé plasma. Il permet le passage de l'arc électrique (le gaz ionisé est conducteur d'électricité) jusqu'à la pièce à souder, car il est riche en ions et en électrons libres.

Gaz de protection

Des gaz inertes comme l'hélium, l'argon ou un mélange des deux sont souvent utilisés pour protéger le bain de fusion.

Métal d'apport

Pour ajouter le métal d'apport, le soudeur tient la baguette de métal d'apport d'une main et la torche de l'autre. L'électrode de tungstène sert à orienter le courant électrique. Toutefois, à force de toucher le métal de base pour amorcer l'arc électrique, la pointe de l'électrode s'arrondit et le soudeur doit l'aiguiser; c'est pourquoi certains optent pour une amorce à haute fréquence de façon à réduire la fréquence de l'aiguisage.

La pointe des électrodes est généralement aiguisée à l'aide d'une meule d'établi ou, dans certains cas, par aiguisage chimique. Une pointe bien aiguisée permet une plus grande précision et une soudure de meilleure qualité.

Circuit secondaire

L'ampérage du circuit secondaire varie de 1 à 500 ampères en courant direct et de 5 à 500 ampères en courant alternatif, tandis que le voltage s'ajuste automatiquement au poste de soudage.

16 Soudage et coupage à l'arc au plasma

Application

Le coupage au plasma est beaucoup plus fréquent que le soudage au plasma. Il sert pour la coupe de métaux tels que l'acier inoxydable, l'aluminium et l'acier doux, mais aussi des alliages commerciaux.

Principe du soudage

Le soudage à l'arc au plasma requiert le même genre de torche que la coupe au plasma. Dans les deux cas, on utilise une électrode réfractaire de tungstène, comme pour le soudage au GTAW (TIG). En plus du tungstène, on peut aussi employer certains alliages. La zone de chaleur, très étroite et bien définie, peut atteindre des températures excédant 24 000 °C (43 200 °F) dans la colonne de plasma.

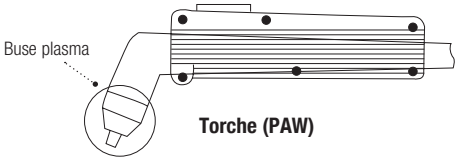
Dans le soudage au plasma, l'électrode se trouve en retrait, à l'intérieur de l'orifice. L'électrode de tungstène dirige l'arc électrique qui augmente la température du gaz, lequel est ionisé et constitue le plasma. Le plasma qui sort en jet de l'orifice est habituellement composé d'argon; c'est ce qu'on appelle le gaz d'orifice. Le gaz de protection formé d'un mélange d'argon et d'hydrogène peut également être utilisé comme gaz d'orifice. L'arc électrique et le gaz sont étranglés par la buse convergente à orifice étroit (appelée tuyère), qui augmente la densité et l'énergie de l'arc.

Mode de fonctionnement

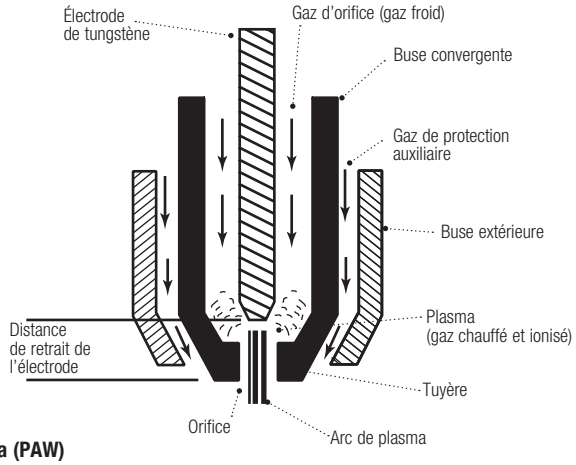
Ce procédé peut être appliqué en mode manuel, semi-automatique ou automatique. Au besoin, l'ajout de matériel d'apport se fera à la baguette, comme dans le procédé TIG.

Amorce de l'arc

Comme l'électrode réfractaire se trouve à l'intérieur de la buse, l'amorce directe n'est pas possible. Pour amorcer l'arc, on a donc recours à un arc pilote. Ce dernier est d'abord provoqué entre l'électrode et la buse avec la méthode à haute fréquence. Ce premier arc produit l'étincelle qui ionise partiellement l'espace sous la buse, puis l'arc plasma s'établit et est transféré rapidement à la pièce à souder.



Torche (PAW)



Buse plasma (PAW)

Principe du coupage

La torche servant au coupage au plasma est presque identique à celle qu'on utilise en soudage, sauf que son embouchure est plus petite et permet de produire une vitesse plus élevée du jet de plasma. La zone de chaleur, très étroite et bien définie, peut atteindre des températures supérieures à 28 000 °C (50 400 °F).

La coupe au plasma doit permettre de fondre le métal en une ligne uniforme; on réalise cette opération en augmentant la vélocité du plasma. Habituellement, le soufflage s'effectue avec de l'air ou des gaz de protection, tels que l'azote ou un mélange d'argon et d'hydrogène.

Circuit secondaire

La tension de l'arc peut atteindre 280 volts durant le coupage, alors que celle du soudage est d'environ 70 volts. L'intensité du courant secondaire de la coupe au plasma est plus élevée que celle du soudage; elle peut varier de 30 à 1 000 ampères et le voltage s'ajuste automatiquement. Seul le courant direct (CD) est utilisé pour ce procédé.

Application

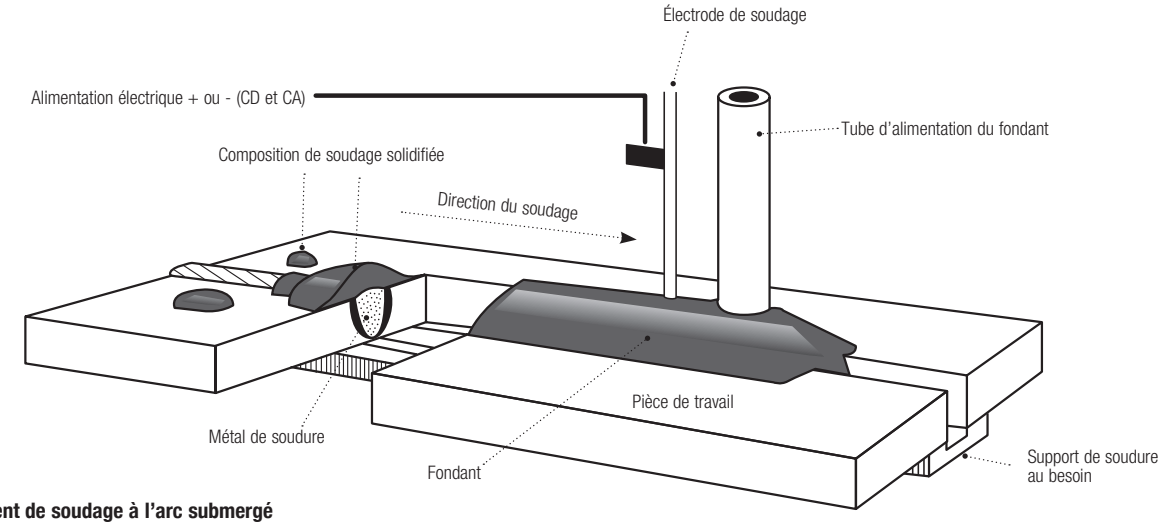
Le procédé de soudage à l'arc submergé est souvent utilisé pour le rechargement de surface, notamment pour recouvrir des tuyaux qui doivent être très solides et très résistants à l'abrasion. Il sert également à l'application de couches épaisses de métal à l'intérieur des tuyaux destinés au secteur minier, dans lesquels des milliers de tonnes de minerais devront circuler. Il est cependant limité à l'application horizontale à plat. Le soudage par le procédé SAW est très utilisé dans le domaine des charpentes d'acier, où de longs cordons de soudure sont faits à l'aide d'un système automatisé.

Principe

Le procédé de soudage SAW fonctionne à l'aide d'un courant électrique qui passe par un fil d'apport produisant un arc électrique entre le bout du fil-électrode et la pièce. Le fondant (flux) est la substance granuleuse, composée en grande partie de silico-oxide de titane, qui se dépose sur la surface à souder avant l'arrivée du fil d'apport; l'arc étant ainsi submergé par le fondant, on ne le voit donc pas. En passant par le fil-électrode, le courant électrique fait augmenter la température du fondant, ce qui en fait fondre une certaine partie. La chaleur produit une soudure par fusion. Comme seule une petite quantité de fondant entre en fusion, il est possible de récupérer et de réutiliser la majeure partie en utilisant un système d'aspiration à la source. Le fondant en fusion crée une atmosphère protectrice qui purifie le métal de la soudure en absorbant les impuretés contenues dans le métal de base fondu.

Mode de fonctionnement

Ce procédé peut être entièrement automatisé : le soudeur règle le courant, la vitesse de course et l'alimentation du fil. Lorsque le procédé est semi-automatisé, le soudeur tient le pistolet, qui est muni d'un réservoir rempli de fondant. Celui-ci est déposé selon le réglage que le soudeur a effectué. L'intensité du courant électrique du circuit secondaire peut atteindre 1 500 ampères. Ce procédé peut fonctionner autant en courant direct (CD) qu'en courant alternatif (CA).



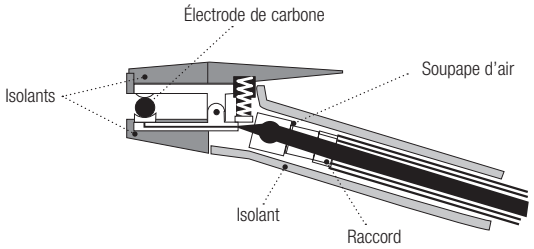
Arrangement de soudage à l'arc submergé (SAW)

AAC/AAG

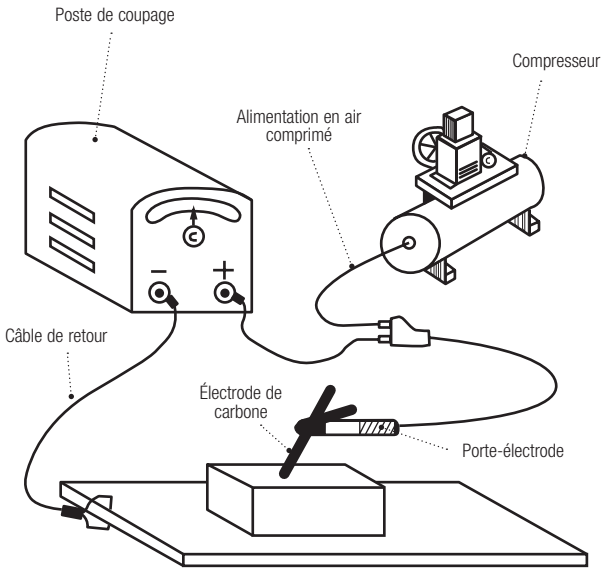
Coupage et gougeage à l'arc avec électrode de carbone et jet d'air

Application

Le procédé de coupage à l'arc avec électrode de carbone et jet d'air, communément appelé arcair, est très répandu dans l'industrie. Il est utilisé pour couper différentes épaisseurs de métal selon les caractéristiques du procédé et de la machine. Il sert surtout pour préparer les pièces avant le soudage. On ne l'utilise pas sur l'aluminium ou l'acier inoxydable à cause du risque de contamination de la soudure; on a plutôt recours au procédé au plasma (PAC) dans ce cas.



Porte-électrode (AAC)



Arrangement typique pour la coupe à l'arc avec électrode de carbone et jet d'air (AAC)

Principe

Le travail avec une électrode de carbone et jet d'air nécessite un courant électrique capable de fondre le métal. L'air comprimé dirigé à la pointe de l'électrode permet d'évacuer le métal en fusion.

Le cuivre qui recouvre généralement l'électrode de carbone augmente sa conductivité et stabilise l'arc électrique. Quand l'électrode est trop usée, le soudeur peut y en insérer une nouvelle, ou simplement la remplacer si elle est trop courte. Le remplacement de l'électrode se fait manuellement, tout comme dans le cas d'une électrode enrobée.

Circuit secondaire

Le courant secondaire transmis à l'électrode est généralement un courant direct (CD) de l'ordre de 90 à 800 ampères, selon le diamètre de l'électrode utilisée.

Travail manuel à la gouge

Le travail manuel à la gouge avec une électrode de carbone et jet d'air (AAG) requiert le même type d'équipement que le coupage et produit un niveau de bruit élevé en raison de la forte pression d'air qu'il utilise.

2

Soudage par résistance



On considère généralement deux types de procédés de soudage par résistance : le soudage par point (RSW) et le soudage à la molette (RSEW).

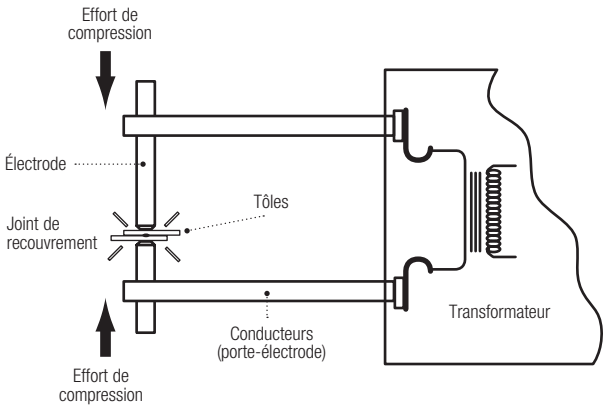
Application

Le soudage par point est de loin le plus répandu des deux. Il sert pour l'assemblage de tôles minces destinées à la fabrication de meubles en métal, de boîtiers métalliques, de casiers et d'étagères ainsi que de treillis faits de tiges métalliques (paniers d'épicerie, grilles, présentoirs, etc.).

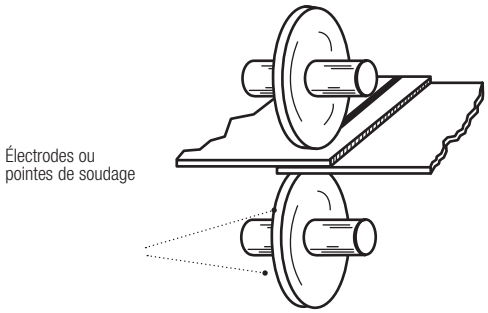
L'industrie de l'automobile fait souvent appel à des robots pour effectuer le soudage par résistance par point. L'assemblage d'un véhicule automobile peut nécessiter de 10 000 à 15 000 points de soudure par résistance.

Principe

Le procédé de soudage par résistance consiste à faire passer un courant électrique entre deux électrodes sans produire d'arc électrique. Placées de chaque côté des deux pièces minces à fusionner, les électrodes laissent passer le courant, ce qui élève la température et amorce la fusion du métal. Le soudage se produit sous l'effet de la chaleur, du temps et de la pression qu'exercent les électrodes. Le poste de soudage par résistance consiste en un transformateur électrique qui fonctionne sur le courant alternatif (CA); il produit un courant de forte intensité, de plusieurs milliers d'ampères à une faible tension d'environ 10 volts.



Soudage par résistance par point (RSW)



Soudage par résistance à la molette (RSEW)

3

Procédé oxygaz



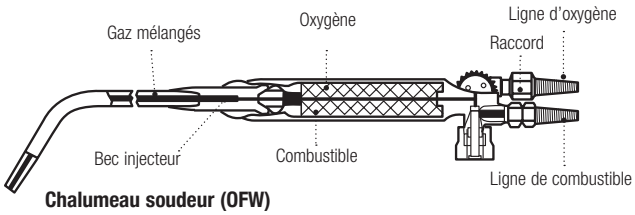
Quatre types d'opérations font appel à ce procédé : le soudage, le brasage, le coupage et la métallisation de surface.

Principe

Ce procédé utilise : l'oxygène et un gaz combustible, le plus souvent l'acétylène ou le propane. La combustion des gaz qui sortent du mélangeur du chalumeau produit une flamme qui peut atteindre des températures de 3 100 °C à 3 500 °C (5 600 °F à 6 330 °F).

Soudage (OFW)

Le soudage s'effectue par la fusion des parois des pièces à souder. On pourra ajouter manuellement du métal d'apport à l'aide d'une baguette de soudure. Le soudage à l'oxygaz est peu utilisé dans les applications industrielles, où des procédés beaucoup plus performants le remplacent. Le chalumeau ou la torche est l'appareil qui produit et dirige le jet de gaz enflammé. Il reçoit les gaz et les mélanges selon la proportion voulue. La buse est l'extrémité du chalumeau qui dirige les gaz.



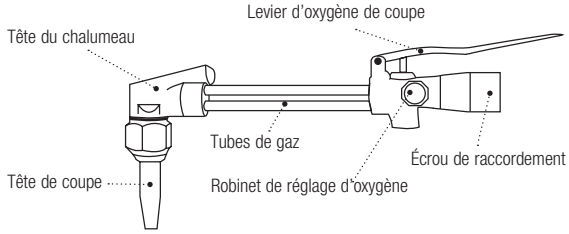
Chalumeau soudeur (OFW)

Brasage (TS et TB)

Pour le brasage, il n'est pas nécessaire de fondre le métal de base, car la fonte du métal d'apport d'un point de fusion inférieur au métal de base, suffit. On chauffe le métal d'apport et on le laisse couler sur un décapant (flux) appliqué à la surface à souder. On utilise généralement un décapant en pâte qui permet de nettoyer le métal à braser mais qui améliore aussi l'adhérence du bain de fusion. Le brasage au gaz est couramment utilisé en plomberie pour réaliser des joints entre deux canalisations. On s'en sert également pour la réparation d'outils et d'équipements.

Coupage (OFC)

Le type d'opérations le plus répandu, est le coupage au chalumeau, qui s'effectue essentiellement sur l'acier doux. Cette méthode consiste à diriger une flamme sur la pièce à couper en y couplant un jet d'oxygène pur, ce qui a pour effet de dégager le métal fondu et de séparer la pièce. Le chalumeau coupeur diffère du chalumeau soudeur en ce qu'une ouverture placée au centre de la buse laisse passer le jet d'oxygène.



Chalumeau coupeur (OFC)

Métallisation (FLSP)

La métallisation des surfaces consiste à introduire dans le gaz de combustion une poudre métallique qui sera fondue et entraînée sur la pièce de métal. Il est ainsi possible de fusionner de minces couches d'un alliage de métal pour regarnir une surface ou pour y appliquer un revêtement. La température atteinte pendant la métallisation permet de fondre les poussières métalliques contenues dans le gaz sans toutefois liquéfier le métal de base. On pratique la métallisation surtout dans les ateliers d'entretien où de petites surfaces ont besoin d'être retravaillées mais aussi pour rebâtir un tuyau usé.

La qualité de la flamme dépend en grande partie de la pression du gaz et du diamètre de la buse, deux facteurs qui agissent sur la vitesse d'écoulement du gaz. Si la pression du gaz est trop forte, la flamme devient trop dure et turbulente. Au contraire, si elle est trop faible, la flamme sera molle et difficile à diriger.

Tableau-synthèse

Les procédés

Procédés	Applications	Source d'énergie	Gaz (G) de protection, fondant (F) ou décapant (D)	Type d'électrode ou baguette	Courant alternatif (CA) ou direct (CD)	Circuit secondaire en cours de soudage (A: ampères, V: volts)	Mode de fonctionnement
GMAW	Fabrication, charpentes métalliques	Électrique	G	Fil-électrode nu	CD	12-40 V 50-1 000 A	Automatique, semi-auto. ou robotisé
FCAW	Convoyeurs, réservoirs sous pression	Électrique	G (possible) et F	Fil-électrode avec fondant au milieu	CD	18-40 V 100-500 A	Automatique, semi-auto. ou robotisé
SMAW	Tuyauterie, maintenance	Électrique	F	Baguette (électrode enrobée)	CD ou CA	17-45 V 10-550 A	Manuel
GTAW	Tuyauterie haute pression, tôlerie	Électrique	G	Électrode de tungstène non fusible	CD ou CA	1-500 A	Manuel ou automatique
PAW/PAC	Fabrication métallique	Électrique	G	Électrode de tungstène non fusible	CD	30-1 000 A	Automatique, semi-auto., manuel ou robotisé
SAW	Industrie minière, charpentes, réservoirs	Électrique	F (granuleux)	Fil-électrode nu ou avec fondant	CD ou CA	Max. 1500 A	Automatique ou semi-auto.
AAC/AAG	Fabrication métallique, réparation	Électrique	S.O.	Électrode de carbone	CD CA rarement	90-800 A	Manuel ou automatique
RSW	Automobiles, meubles, électroménagers	Électrique	S.O.	Électrode	CA	<10 V et milliers A	Auto., semi-auto., manuel ou robotisé
OFW/OFC	Aciers doux : toutes épaisseurs	Thermochimique	D	Baguette (métal d'apport)	S.O.	S.O.	Automatique ou manuel
LBW/LBC	Tout matériau : métal en feuille, bois, textile, etc.	Électrique	G	S.O.	S.O.	S.O.	Automatique ou robotisé

S.O. : Sans objet



Chapitre 2

Les risques reliés aux fumées et aux gaz

1 Identification des risques

2 Le poumon et les effets

3 Normes d'exposition

4 Mesures de prévention

1 Identification des risques

Nature

Les produits générés par le soudage et le coupage sont de deux natures : les fumées et les gaz.

Un métal en fusion libère dans l'atmosphère des molécules qui, très rapidement, se combinent à l'oxygène de l'air pour constituer des oxydes métalliques sous forme de fines particules solides. L'agglutination de millions de ces particules en suspension produit un nuage facilement visible près du soudeur. À ces oxydes métalliques s'ajoutent des substances complexes provenant de la combustion de solvants, d'huiles ou d'autres matières recouvrant les pièces à souder. Les particules du nuage de fumée sont très fines et, à moins d'être captées à la source par un système de ventilation, peuvent demeurer en suspension dans l'air jusqu'à huit heures avant de se déposer.

Contrairement aux fumées, les gaz ne sont pas des particules solides; c'est pourquoi, tout comme l'air, ils ne sont pas visibles. Ils sont habituellement beaucoup plus faciles à disperser et forment un mélange gazeux avec l'air.

Provenance

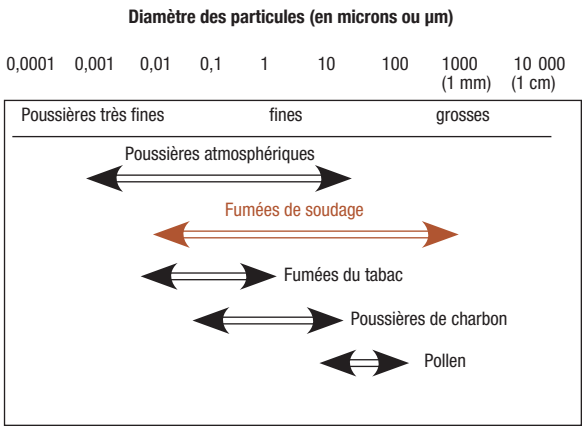
Les fumées et les gaz produits pendant le soudage et le coupage ont plusieurs origines.

Métal de base

Le métal de base est le métal ou l'alliage qui constitue la pièce sur laquelle un travail de soudage ou de coupage est effectué. Sa fusion produit des fumées (oxydes métalliques).

Métal d'apport

Le métal d'apport est celui que l'on ajoute pour effectuer la soudure. Sa fusion produit également des fumées (oxydes métalliques).



Grosseur type des particules en suspension dans l'air



Fondant (flux)

Le fondant produit des fumées et des gaz de protection. Il génère une bonne partie de la fumée présente dans l'environnement du soudeur.

Décapant

Dans des procédés tels que le brasage ou le soudobrasage, l'utilisation d'un flux-décapant produit également des fumées et des gaz.

Gaz de protection

Les gaz de protection proviennent de la fusion du fondant ou sont acheminés dans la zone de soudage par des orifices situés dans le pistolet. Ils servent à protéger le bain de fusion, mais se répandent dans l'environnement du soudeur.

Solvants

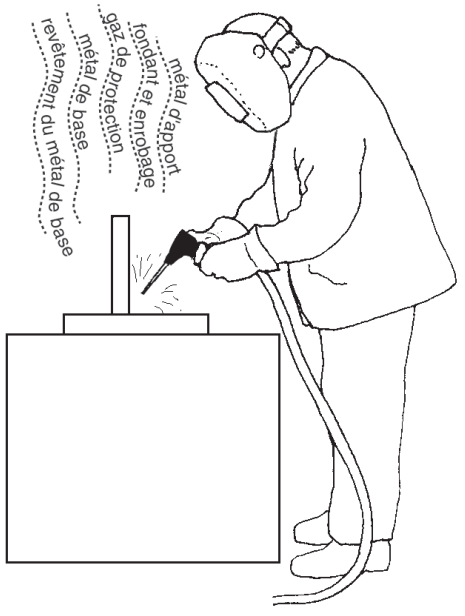
Les soudeurs ont souvent besoin d'enlever l'huile et la graisse qui recouvrent une pièce avant de la souder. Lorsque les résidus de solvants sont soumis aux rayons ultraviolets et à la chaleur de l'arc de soudage, ils peuvent se décomposer et produire des contaminants dans le milieu de travail. Ainsi, les vapeurs provenant de certains solvants contenant du chlore, tels que le trichloroéthylène et le perchloroéthylène produisent des gaz particulièrement irritants, comme le phosgène ($COCl_2$), le chlore (Cl_2) et le chlorure d'hydrogène (HCl) sous l'effet des rayons ultraviolets et de la chaleur. Ces substances nocives pourraient être présentes dans le milieu de travail si le système de ventilation n'est pas suffisamment performant ou si l'air vicié y recircule.

Matières recouvrant le métal à souder

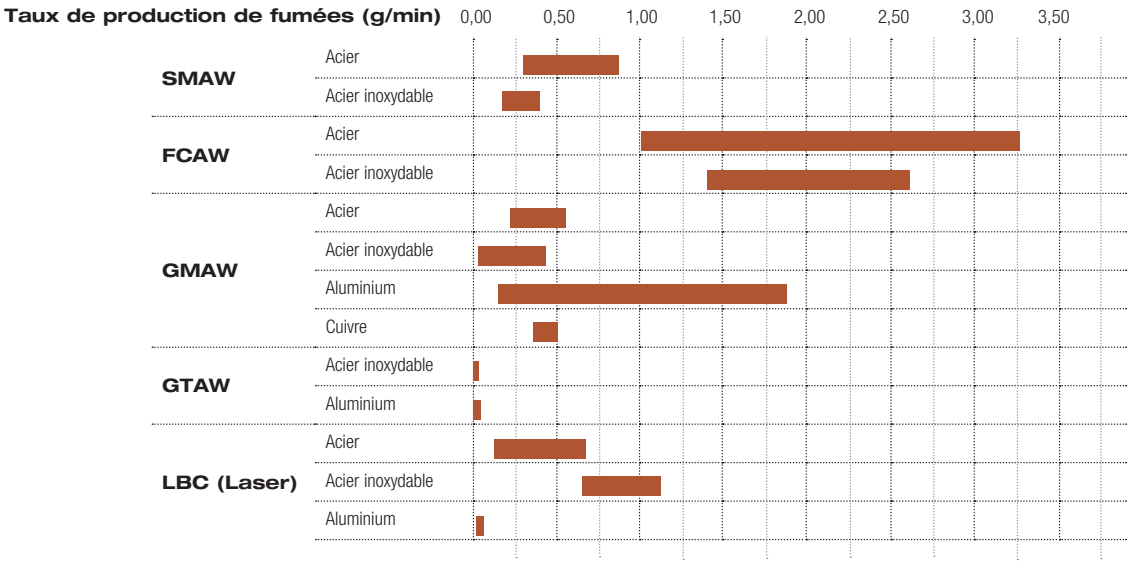
Le métal à souder peut être recouvert de peinture, d'un enduit antirouille, de produits de finition ou d'autres substances susceptibles de générer des gaz et des fumées sous l'effet de la chaleur.

Voici quelques exemples de matières pouvant recouvrir le métal à souder :

- Peinture au plomb
  Les produits de combustion peuvent être particulièrement toxiques et dégager des composés à base de plomb.
- Peinture antirouille
  Cette peinture peut dégager de la phosphine.
- Revêtement de polyuréthane
  Différentes peintures et vernis à base de polyuréthane peuvent libérer, entre autres, des molécules (vapeurs) possédant une terminaison isocyanate, qui sont irritantes et sensibilisantes. Ils peuvent aussi générer d'autres contaminants, tels que de l'acide cyanhydrique, du formaldéhyde, du dioxyde de carbone et des oxydes d'azote.
- Résines époxydes
  Ces résines contenues dans certaines peintures liquides ou en poudre ou encore dans certains vernis peuvent produire des amines, notamment du triéthylènetétramine. Ces vapeurs irritantes peuvent aussi parfois être sensibilisantes.
- Les polymères vinyliques
  Les polymères vinyliques, selon leur composition chimique, peuvent entre autres dégager des phtalates, du formol, de l'acroléine et d'autres produits chimiques.



Sources des fumées et des gaz pendant le soudage



Taux de production de fumées selon divers procédés appliqués à divers métaux

Taux de production des fumées selon le procédé

Le graphique ci-dessus indique les taux de production de fumées, en gramme par minute de soudage, que génèrent différentes combinaisons de procédés et de métaux soudés.

Plusieurs facteurs influencent le taux de production des fumées de soudage d'un même procédé. C'est pourquoi le graphique illustre des plages de taux. Voici les principaux facteurs en jeu :

- l'intensité du courant;
- la composition du métal de base;
- la composition du métal d'apport;
- les gaz de protection;
- la position de soudage (horizontale, verticale ou plafond); et
- la présence de matières recouvrant le métal à souder.

Le procédé qui génère le plus de fumée est le FCAW. Par contre, le SMAW est celui qui en produit le plus par rapport à la quantité de métal d'apport déposé. Si son taux de production de fumées est plus bas, c'est dû au fait que ce procédé est beaucoup plus lent.

Il ne faut pas oublier qu'un procédé produisant moins de fumée n'est pas nécessairement moins toxique. Tout dépend des produits présents, puisque certains ont une toxicité supérieure à d'autres. Par exemple, le soudage au GMAW sur de l'acier ordinaire peut produire un important panache de fumée faiblement toxique, comparativement au procédé GTAW sur un alliage comportant du béryllium. Ce dernier génère un très faible panache, qui est néanmoins hautement toxique et même sensibilisant. Il faut donc considérer les produits qui composent le panache de fumée afin d'évaluer les risques pour la santé.

Caractérisation des particules

Les procédés de soudage et de coupage génèrent de très fines particules, dont une bonne proportion sont d'ordre nanométrique (1 nanomètre = 0,001 micron). Il est reconnu que plus les particules d'un contaminant sont petites, plus elles pénètrent loin dans l'organisme. Pour bien évaluer la toxicité d'un contaminant, il faudrait pouvoir tenir compte de la dimension des particules qui le composent. Malheureusement, à ce jour, malgré les recherches dans le domaine de la nanotechnologie, l'exposition des soudeurs est évaluée uniquement selon la nature et la masse (quantité) des particules en suspension dans l'air. Les travaux scientifiques se poursuivent afin d'approfondir les méthodes de caractérisation des nanoparticules et, éventuellement, d'établir des techniques d'analyse plus poussées.

2

Poumon et effets

Les poumons sont les premiers organes affectés par l'inhalation des fumées et des gaz. Leur rôle est de distribuer l'oxygène dans le sang et d'évacuer le bioxyde de carbone (CO_2) qui s'y est accumulé.

L'air pénètre par la trachée et se dirige dans une série de canalisations, les bronches, qui se ramifient en bronchioles (petites bronches). À l'extrémité des bronchioles, se trouvent de petits sacs à paroi très mince, appelés alvéoles. C'est à travers cette membrane fine que l'échange gazeux se produit (échange de l'oxygène et du bioxyde de carbone).

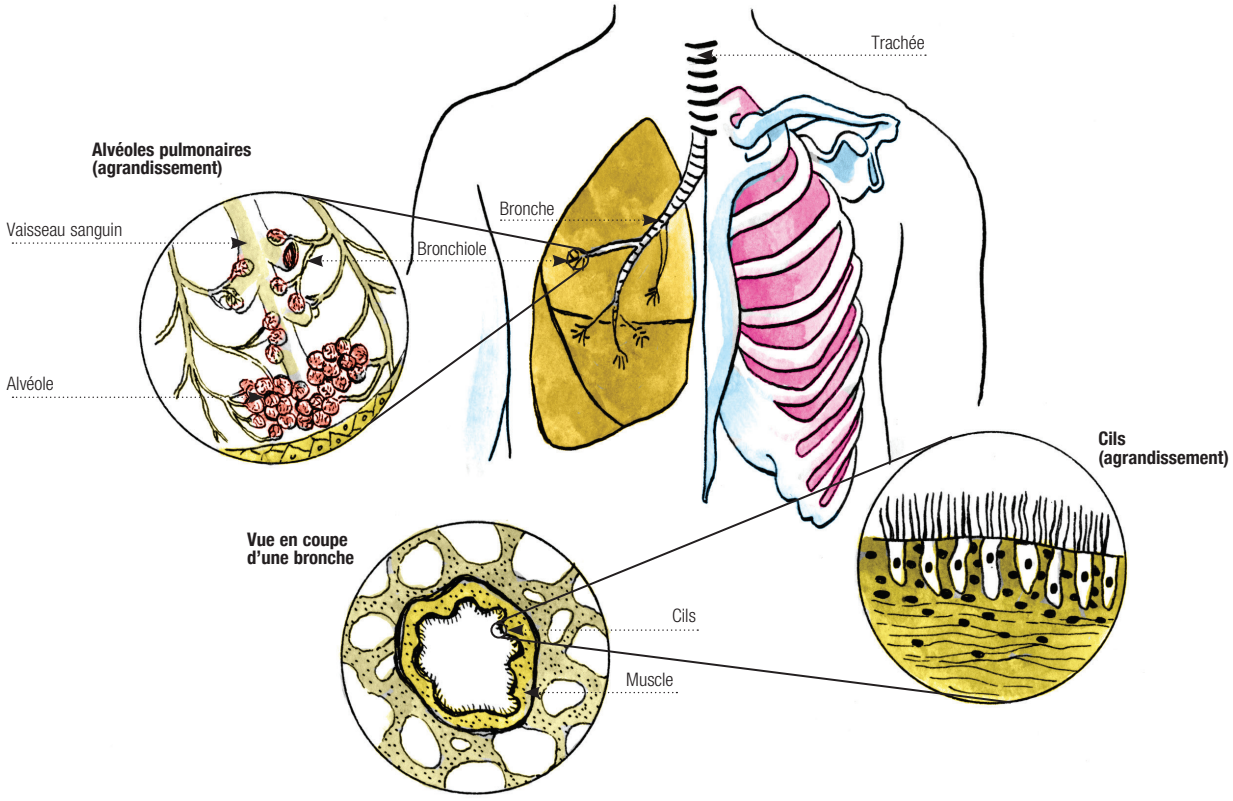


Illustration du poumon

Mécanismes de défense du poumon

Mucus

Le système respiratoire possède des mécanismes de défense qui contribuent à éliminer certaines substances indésirables. Si la concentration et la toxicité des produits sont élevées, ces mécanismes peuvent perdre beaucoup de leur efficacité.

Du nez jusqu'aux bronches, les voies respiratoires sont tapissées de cellules ayant pour fonction de sécréter une substance collante (mucus) qui sert à retenir les poussières.

Action des cils

Des cils microscopiques situés dans le pharynx, dans les bronches et dans les bronchioles battent vers le haut de façon à faire remonter les poussières agglutinées dans le mucus. Ce mécanisme permet de débarrasser les voies respiratoires des plus grosses particules par la toux et les crachats.

Lorsque les particules sont relativement petites, comme c'est le cas des gaz et des fumées, elles peuvent se rendre jusqu'au niveau des alvéoles sans être arrêtées par le mécanisme de défense des cils et du mucus. Elles peuvent s'y déposer et provoquer des effets nuisibles.

Toux

Les muscles sollicités par la toux provoquent le rétrécissement du diamètre des bronches et des bronchioles, ce qui a pour effet de chasser l'air violemment lors de l'expiration et d'entraîner l'agent agresseur.

Phagocytose

Dans l'alvéole, des phagocytes (cellules spécialisées) peuvent avaler les particules et en débarrasser l'alvéole; c'est ce qu'on appelle la phagocytose. Si les particules sont insolubles ou toxiques pour les phagocytes, l'organisme tente d'isoler l'agresseur en produisant du tissu cicatriciel qui entoure ces particules. C'est ce qui cause la fibrose pulmonaire, laquelle peut nuire aux échanges gazeux et réduire la capacité du poumon à oxygéner l'organisme.

Effets des fumées et des gaz sur la santé

L'exposition aux fumées et aux gaz peut provoquer des effets nocifs sur différents organes. La gravité de ceux-ci dépend principalement de la nature, de la concentration, de la grosseur et de la toxicité des particules. Le tableau suivant présente six catégories de contaminants auxquels une description des effets et des exemples d'agresseurs sont associés.

Effets des fumées et des gaz sur la santé		
Catégories de contaminants	**Description des effets**	**Exemples d'agresseurs (fumée ou gaz)**
Asphyxiants	Asphyxiants simples : se substituent à l'oxygène de l'air et nuisent à la respiration. Asphyxiants chimiques : par réaction chimique, réduisent la capacité de l'organisme à utiliser l'oxygène disponible. Par exemple : l'affinité de l'hémoglobine pour le monoxyde de carbone est de 240 à 250 fois supérieure à celle pour l'oxygène.	Acétylène, argon, azote Monoxyde de carbone (CO)
Sensibilisants	L'exposition répétée à un sensibilisant peut provoquer une réaction de l'organisme sous forme d'une réponse allergique (immunologique) de l'arbre respiratoire, des muqueuses, des conjonctives ou de la peau (sensibilisation).	Isocyanates, chrome VI, béryllium, colophane, cobalt
Fibrosants	Se rendent jusqu'aux alvéoles et provoquent une réaction de défense qui produira un épaississement de leur paroi et, conséquemment, une réduction des échanges gazeux.	Amiante, béryllium, fer, silice
Irritants	Créent une inflammation des yeux, des muqueuses nasales et des voies respiratoires. Après des expositions répétées, certains irritants pourront avoir des effets fibrosants.	Ozone, oxyde d'azote, phosgène, phosphine, cadmium, chrome, cuivre, manganèse, magnésium, molybdène, zinc, tungstène, etc. Les fumées de soudage en général.
Cancérogènes	Sont susceptibles de causer des cancers.	Chrome VI*, béryllium*, cadmium**, plomb***, nickel** Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé dès 1990 les fumées de soudage dans le groupe 2B : l'agent est peut-être cancérogène pour l'homme.
Toxiques	Utilisent le poumon comme porte d'entrée dans l'organisme, passent dans le sang et nuisent au fonctionnement d'autres organes.	Plomb et manganèse

* *Cancérogène démontré chez l'humain (C1 selon le RSST)*
** *Cancérogène soupçonné chez l'humain (C2 selon le RSST)*
*** *Cancérogène démontré chez l'animal (C3 selon le RSST)*

Source : Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST), tel que diffusé au 11 mai 2012

Agresseurs et toxicité

Le fait que les plus petites particules peuvent se rendre plus loin dans l'appareil respiratoire, et ainsi provoquer davantage d'effets nocifs a déjà été abordé (voir pages 23 et 24). L'effet des toutes petites particules, que l'on appelle nanométriques parce qu'elles ont quelques nanomètres de diamètre, est encore mal connu et fait l'objet de nombreuses recherches à l'heure actuelle. Étant donné le manque d'informations à ce propos, nous nous limiterons ici à parler des effets connus, sans égard aux risques qui sont peut-être accrus dans le cas des nanoparticules.

Sans considérer la grosseur ni d'autres paramètres physicochimiques des particules, la littérature scientifique nous informe depuis un certain temps déjà des maladies qui peuvent être contractées en réaction à une exposition à divers contaminants lorsqu'elle est supérieure aux valeurs admissibles. Les tableaux qui suivent présentent les principaux agresseurs associés aux activités de soudage et de coupage. Pour chacun d'eux, les risques y sont décrits en fonction d'une toxicité aiguë et d'une toxicité chronique. On fait alors référence aux maladies professionnelles les plus documentées dans la littérature et même celles qui le sont un peu moins. Les maladies aiguës se produisent à la suite d'une exposition de quelques mois, de quelques jours, ou même de quelques heures comme c'est le cas de la fièvre du fondeur. Les maladies chroniques, comme les pneumoconioses, apparaissent habituellement après plusieurs années d'exposition, soit de 10 à 20 ans et même plus, dans certains cas.

Pour identifier les agresseurs potentiels dans un milieu de travail, il faut d'abord se référer aux fiches signalétiques ou aux fiches techniques du fabricant des matériaux utilisés : le métal d'apport, le fil-électrode, le métal de base, etc. De plus, si les pièces sont recouvertes de peinture ou d'un revêtement quelconque, il faudrait aussi en connaître la composition. La fiche signalétique doit dater de trois ans ou moins. Comme les matériaux utilisés sont des combinaisons de plusieurs produits, il faut connaître leur composition et les concentrations présentes dans l'air afin de déterminer les risques possibles pour la santé.

Les tableaux suivants permettent également d'identifier certains agresseurs en fonction de leurs sources d'émission les plus courantes. Ces sources peuvent être le type de procédé, le métal de base, le métal d'apport, le gaz de protection ou le revêtement de surface. Les maladies marquées d'un astérisque sont définies à la suite des tableaux.

Il est nécessaire de rappeler que les effets possibles sur la santé présentés dans ces tableaux dépendent de la concentration et de la durée de l'exposition.

Effets possibles sur la santé causés par le soudage ou le coupage de différents métaux			
Métaux	**Sources**	**Toxicité aiguë**	**Toxicité chronique**
Aluminium	Alliages composés d'aluminium Électrodes	Fièvre du fondeur*	Pneumopathie de surcharge pulmonaire (aluminose) plus marquante lorsque l'aluminium est présent en bonne concentration sous forme de poussière
Antimoine	Métal d'apport contenant du plomb, de l'étain ou du cuivre Acier galvanisé Brasage tendre avec alliages d'étain	Fièvre du fondeur* Irritation de la peau, des muqueuses et des voies respiratoires	Pneumopathie de surcharge (stibiose), bronchite chronique, emphysème, adhésions pleurales et effets pulmonaires obstructifs (trioxyde d'antimoine et/ou poussières de pentoxyde d'antimoine), remarqués pour une concentration d'antimoine de 8,87 mg/m^3 ou plus
Argent	Métal d'apport contenant de l'étain	Fièvre du fondeur* Irritation de la peau, des muqueuses et des voies respiratoires	Bronchite chronique
Baryum	Flux de brasage contenant du baryum, mais aussi certaines électrodes de fil fourré	Irritation de la peau, des muqueuses et des voies respiratoires	Peu documenté
Béryllium	Alliages contenant du béryllium Possible lorsqu'associé au cuivre ou à l'aluminium Exemples : ressorts, composantes électroniques et microélectroniques, outils anti-étincelles, électrodes de soudage par résistance, matrices pour le moulage du plastique par injection… Alliage aluminium-béryllium Exemples : matériaux de structures d'avions et de pièces avioniques, pièces d'équipements de précision…	Pneumonite chimique* après exposition massive (plus de 25 µg/m^3) La guérison d'une pneumonite chimique peut se produire, mais la maladie peut aussi progresser et devenir chronique Sur la peau, peut former des ulcères indolores ou des granulomes sous-cutanés après quelques mois Sensibilisant cutané pouvant provoquer une dermite de type allergique (eczéma)	Mécanisme immuno-allergique impliqué dans le développement de la bérylliose chronique Bérylliose chronique peut apparaître quelques mois après le début de l'exposition ou plusieurs années après son arrêt, même si l'exposition n'a duré que quelques mois En général, la maladie apparaît dans un délai de 6 à 10 ans, et plus rarement après 20 ou 30 ans

* *Les maladies marquées d'un astérisque seront définies à la suite des tableaux dans « Principales maladies professionnelles ».*

Suite

Effets possibles sur la santé causés par le soudage ou le coupage de différents métaux			
Métaux	**Sources**	**Toxicité aiguë**	**Toxicité chronique**
Bismuth	Métal d'apport contenant de l'étain	Peu documenté	Peu documenté
Cadmium	Métal d'apport contenant du cadmium Métal d'apport contenant de l'étain et de l'argent Brasage de pièces d'argent avec métal d'apport argent-cadmium	Pneumonite chimique* Fièvre du fondeur*	Cancer du poumon et de la prostate Atteintes rénales Troubles liés aux effets irritants pouvant provoquer : diminution de la capacité respiratoire, rhinite, bronchite et emphysème Possibilité de diminution de l'odorat (hyposmie)
Chrome (VI)	Acier inoxydable Électrodes Revêtement métallique et enduit contenant des chromates Certaines peintures Certains procédés de placage incluant du chrome	Irritation de la peau (dermatite, ulcère), conjonctivite, irritation des voies respiratoires Certains chromates (chrome VI) peuvent provoquer une sensibilisation respiratoire Certains chromates (chrome VI) peuvent provoquer une réaction allergique de la peau	Cancer du poumon, de la trachée, des bronches, du nez et des sinus Exposition importante pourrait causer des dommages aux reins et au foie ainsi que provoquer un œdème pulmonaire, des douleurs épigastriques, de l'érosion, une décoloration des dents Selon le Répertoire toxicologique de la CNESST, les femmes de soudeurs sur acier inoxydable ont un risque accru d'avortement spontané
Cobalt	Électrodes de soudage Brasage avec carbure de tungstène Acier inoxydable, alliage de nickel	Irritation des voies respiratoires et des yeux (conjonctivite) Allergène reconnu : asthme et dermite de contact Possibilité de cosensibilisation avec le chrome et le nickel	Maladie des « métaux durs » : fibrose pulmonaire

** Les maladies marquées d'un astérisque seront définies à la suite des tableaux dans « Principales maladies professionnelles ».*

Suite

Effets possibles sur la santé causés par le soudage ou le coupage de différents métaux			
Métaux	**Sources**	**Toxicité aiguë**	**Toxicité chronique**
Cuivre	Alliages de cuivre tels que le bronze (avec étain), le laiton (avec zinc), le monel (avec nickel) Enrobage de certains fils-électrodes Enrobage d'électrodes utilisées dans le gougeage à l'arc avec électrodes de carbone et jets d'air, alliages non ferreux Brasage tendre avec alliage d'étain	Fièvre du fondeur* Irritation des voies supérieures Inflammation des yeux (poussières) Peut causer des nausées et une sensation de goût métallique ou sucré	Peut produire une décoloration verdâtre de la peau, des poils et des cheveux Rhinite
Étain	Acier étamé, bronze ou certains aciers galvanisés	Fièvre du fondeur*	Pneumoconiose bénigne (stannose)
Fer	Acier doux Électrodes en acier	Fièvre du fondeur* Sensation d'irritation aux yeux, hyperémie de la conjonctive (vasodilation des petits vaisseaux sanguins)	Pneumoconiose bénigne (sidérose - dépôt de fer dans les poumons)
Indium	Brasage tendre avec métal d'apport constitué d'un alliage d'étain	Peu documenté	Peu documenté
Magnésium	Certains aciers galvanisés Baguettes de soudage	Irritant pour les yeux et les voies respiratoires Fièvre du fondeur*	Peu documenté

** Les maladies marquées d'un astérisque seront définies à la suite des tableaux dans « Principales maladies professionnelles ».*

Suite

Effets possibles sur la santé causés par le soudage ou le coupage de différents métaux			
Métaux	**Sources**	**Toxicité aiguë**	**Toxicité chronique**
Manganèse	Fonte Éléments d'alliages contenus dans l'acier Alliages de cuivre, d'aluminium et de magnésium Baguette de soudage Alliage de rechargement	Pneumonite chimique* Fièvre du fondeur*	Atteinte du système nerveux central (manganisme)
Mercure	Certaines peintures	Goût métallique, fièvre, nausée, vomissements et diarrhée Troubles neuropsychologiques et insuffisance rénale Pneumonite et bronchite	Atteinte du système nerveux central (tremblement des doigts, de la langue et des lèvres qui peut s'étendre aux autres membres) Troubles du caractère et de la personnalité
Molybdène	Certains alliages d'acier et de rechargement Baguette de soudage	Irritation des yeux et des voies respiratoires supérieures	Pneumoconioses*
Nickel	Acier galvanisé Aciers inoxydables Monel Chromel Alumel	Fièvre du fondeur * Irritation des voies respiratoires Faible toxicité aiguë	Cancer (nez et poumons) soupçonné, mais non démontré Asthme (rare) Dermatite de contact résultant de la manipulation d'objets contenant du nickel

** Les maladies marquées d'un astérisque seront définies à la suite des tableaux dans « Principales maladies professionnelles ».*

Suite

Effets possibles sur la santé causés par le soudage ou le coupage de différents métaux			
Métaux	**Sources**	**Toxicité aiguë**	**Toxicité chronique**
Plomb	Métaux recouverts de plomb Acier au plomb Peintures contenant des pigments de plomb (de plus en plus rare) Scories des bains de fusion de l'étamage et du soudage à la vague Métal d'apport constitué d'un alliage d'étain	Intoxication aiguë (rare en milieu de travail) Troubles digestifs (vomissements, douleurs épigastriques et abdominales, diarrhées et selles noires) Troubles rénaux Troubles neurologiques	Intoxication par le plomb (saturnisme) Premiers symptômes : apparition de troubles digestifs (douleurs abdominales intenses, nausées, vomissements, constipation, anorexie et perte de poids) Effets toxiques sur le système nerveux central
Sélénium	Associé aux alliages faciles à usiner et résistant à la corrosion Traitements de surfaces Peintures contenant des pigments de composés de sélénium	Fièvre du fondeur* Irritation de la peau, des yeux et des voies respiratoires	Troubles gastro-intestinaux avec nausées, vomissements… Irritations de la peau ou des yeux
Titane	Certains alliages d'acier Enrobage d'électrodes Certaines peintures	Peu de données	Pneumoconiose*
Tungstène	Électrodes (TIG et plasma) et rechargement	Conjonctivite Irritation des voies respiratoires, toux et dyspnée (respiration irrégulière)	Asthme*, pneumoconiose*, pneumonie diffuse et fibrose

** Les maladies marquées d'un astérisque seront définies à la suite des tableaux dans « Principales maladies professionnelles ».*

Suite

Effets possibles sur la santé causés par le soudage ou le coupage de différents métaux			
Métaux	**Sources**	**Toxicité aiguë**	**Toxicité chronique**
Thorium	Certaines électrodes non fusibles de tungstène dans le procédé TIG Le thorium 232 émet des rayonnements ionisants de type alpha Risque observé lors de l'inhalation de poussières provenant de l'affûtage d'électrodes Substitution possible par des électrodes de tungstène sans oxyde de thorium (ex. : oxydes de lanthane ou de cérium)	Peu de données	Cancer
Vanadium (V_2O_5)	Certains types de fils-électrodes de métal d'apport Certains enrobages d'électrodes Certains aciers	Conjonctivite Irritation des voies respiratoires (saignements de nez, toux) Dermatite	Peu documenté
Zinc	Acier galvanisé Laiton Fondant (flux) Peintures contenant des pigments de composés de zinc Métal d'apport constitué d'un alliage d'étain	Fièvre du fondeur* Irritations des voies respiratoires	Peu documenté
Zirconium	Électrode de soudage à base de tungstène pour le procédé TIG Revêtements de certaines pièces en aéronautique ou dans l'industrie du nucléaire	Peu documenté	Peu documenté

* *Les maladies marquées d'un astérisque seront définies à la suite des tableaux dans « Principales maladies professionnelles ».*

Suite

Effets possibles sur la santé causés par différents gaz utilisés ou générés durant le soudage ou le coupage			
Gaz	**Sources**	**Toxicité aiguë**	**Toxicité chronique**
Acétylène	Procédés utilisant l'acétylène comme gaz combustible (procédé oxygaz)	Asphyxiant simple : maux de tête, nausées, vertiges… N'est pas un irritant	Faiblesse générale (asthénie) Maux de tête Somnolence Douleurs gastriques Bronchite (possible à la suite d'une exposition à de faibles concentrations, mais peut être causée par les impuretés présentes dans l'acétylène)
Argon	Procédés utilisant l'argon comme gaz de protection	Asphyxiant simple : maux de tête, nausées, vertiges… N'est pas un irritant Possibilité d'engelure au contact du gaz liquéfié	Peu documenté
Colophane (rosin)	Flux utilisé pour le brasage tendre à l'étain dans l'industrie de l'électronique Certaines peintures Baguette de soudure à âme décapante de colophane Huile de coupe	Irritant pour les yeux et les voies respiratoires	Asthme (sensibilisant respiratoire) Sensibilisant cutané Possibilité de respiration bruyante, serrement de poitrine, expectorations, toux, douleurs thoraciques, rhinites, douleurs oculaires et maux de tête
Cyanure d'hydrogène	Soudage et coupage sur métal de base comportant des traces de solvants, de graisse...	Irritant pour les yeux et les voies respiratoires Asphyxiant chimique : maux de tête, confusion, faiblesse, vertiges, nausées, vomissements, tremblements, anxiété, troubles visuels...	Possibilité de maux de tête, faiblesse, modification du goût et de l'odorat, irritation de la gorge, vomissements, dyspnée à l'effort, larmoiement, coliques, salivation excessive, instabilité nerveuse et augmentation du volume de la thyroïde

** Les maladies marquées d'un astérisque seront définies à la suite des tableaux dans « Principales maladies professionnelles ».*

Suite

Effets possibles sur la santé causés par différents gaz utilisés ou générés durant le soudage ou le coupage			
Gaz	**Sources**	**Toxicité aiguë**	**Toxicité chronique**
Isocyanates	Abrasion ou chauffage de peintures à base d'isocyanates Dégradation thermique de revêtements de polyuréthane	Irritant pour les yeux et les voies respiratoires	Asthme (sensibilisant respiratoire) Sensibilisant cutané Pneumopathie d'hypersensibilité (alvéolite) caractérisée par une réduction restrictive des fonctions pulmonaires et une fibrose interstitielle
Monoxyde de carbone (CO)	Combustion incomplète des gaz (procédé oxygaz) Combustion des polymères des peintures Gougeage à l'arc avec électrode de carbone Décomposition du bioxyde de carbone (gaz de protection)	Irritant pour les yeux et les voies respiratoires Asphyxiant chimique Affinité de l'hémoglobine pour le monoxyde de carbone est de 240 à 250 fois supérieure à celle de l'oxygène Symptômes : maux de tête, nausées, accélération du rythme respiratoire, évanouissement, mort	Maux de tête, anorexie, insomnie, perte de poids, faiblesse généralisée, troubles de la mémoire et du langage ainsi que déficits moteurs
Oxyde d'azote (NO, NO_2, NO_X)	Les rayons UV agissent sur l'azote de l'air pour l'oxyder	NO_2 : irritant et corrosif pour les yeux et les voies respiratoires NO : nausées, toux, difficultés respiratoires, broncho-pneumonie… Intoxication causée par forte concentration de NO_2 (>25 ppm) en 3 temps : 1. Irritation plus ou moins marquée des voies aériennes supérieures provoquant de la toux, des nausées accompagnées d'une irritation oculaire avec larmoiement (l'irritation peut même passer inaperçue) 2. Phase de récupération durant de 6 à 24 heures 3. Œdème pulmonaire associé à une détresse respiratoire	Bronchite chronique* Emphysème* Fibrose pulmonaire*

** Les maladies marquées d'un astérisque seront définies à la suite des tableaux dans « Principales maladies professionnelles ».*

Suite

Effets possibles sur la santé causés par différents gaz utilisés ou générés durant le soudage ou le coupage			
Gaz	**Sources**	**Toxicité aiguë**	**Toxicité chronique**
Ozone (O_3)	Les rayons UV, que dégagent le soudage à l'arc (MIG, TIG, etc.) et au plasma, agissent sur l'oxygène de l'air pour former l'ozone Les matériaux réfléchissants, tels que l'aluminium ou l'acier inoxydable, amplifient le phénomène La production d'ozone s'accroît avec l'augmentation de l'ampérage	Exemples de symptômes selon les concentrations (Répertoire toxicologique de la CNESST) • 0,06-0,1 ppm : réaction inflammatoire des voies respiratoires (5 à 6 heures d'exposition) • 0,1 ppm : valeur plafond. • 0,06 à 0,2 ppm : difficulté à respirer, toux, gorge sèche, inconfort thoracique, maux de tête, nausées. • 0,3 à 0,6 ppm : réaction inflammatoire des voies respiratoires (exposition unique) • 0,2 à 1 ppm : effets sur le système nerveux central (somnolence, fatigue étourdissements, insomnie, difficulté de concentration et odeur âcre) • 1 ppm : irritation des yeux et des voies respiratoires • 4-5 ppm : œdème pulmonaire (liquide dans les poumons)	Diminution de la fonction pulmonaire ou asthme (pas une sensibilisation) Étude chez les animaux : sécrétion nasale, bronchiolite, bronchite avec fibrose, pneumonite, emphysème... Possibilité d'entraîner une certaine adaptation Dans le cas d'expositions quotidiennes à de faibles concentrations (0,2 à 0,5 ppm), les effets les plus graves se produisent au deuxième jour et deviennent de moins en moins prononcés jusqu'au cinquième jour L'adaptation disparaît environ une semaine après la fin de l'exposition (Répertoire toxicologique de la CNESST)
Phosgène (CCl_2O)	Soudage et coupage en présence de trace d'un solvant chloré (exemples : trichloroéthylène, perchloroéthylène…)	Sécheresse et sensation de brûlure dans la gorge, toux, douleurs à la poitrine, respiration rapide et peu profonde… Irritant pour les yeux et les voies respiratoires	Emphysème* Fibrose pulmonaire*
Phosphine (H_3P)	Soudage et coupage en présence de trace d'un solvant chloré (exemples : trichloroéthylène, perchloroéthylène…) Décomposition thermique des peintures antirouille à base de phosphates	Irritant pour les yeux et les voies respiratoires Maux de tête, nausées, vomissements, étourdissements, tremblements, soif, difficultés respiratoires, diarrhées, œdème pulmonaire	Atteinte des bronches, troubles digestifs, troubles visuels et difficulté d'élocution

* *Les maladies marquées d'un astérisque seront définies à la suite des tableaux dans « Principales maladies professionnelles ».*

Effets possibles sur la santé causés par le coupage de minéraux non métalliques			
Minéraux non métalliques	**Sources**	**Toxicité aiguë**	**Toxicité chronique**
Amiante	Certains enrobages d'électrodes Peintures Bitume Joints Enduits, etc.	Peu documenté	Cancer du poumon Fibrose pulmonaire interstitielle (amiantose) Mésothéliome La maladie apparaît généralement 10 ans ou plus après la première exposition Informations supplémentaires : De 1988 à 1996, la CNESST a indemnisé 340 cas d'amiantose (INSPQ 2003) Au Québec en 2012, 115 dossiers de maladies professionnelles causées par l'amiante acceptés par la CNESST En France, on compte près de 400 nouveaux cas d'amiantose chaque année chez les soudeurs et les oxycoupeurs (INRS PR 29-208)
Fluorures	Fondant des électrodes	Irritation respiratoire Symptômes gastro-intestinaux	Ostéosclérose Insuffisance respiratoire Problèmes rénaux
Silice (O_2Si)	Utilisation de silice Alliages à base de silicium	Peu documenté	Fibrose pulmonaire progressive et irréversible (silicose)

Effets sur la santé causés par des flux de brasage plus spécifiques au secteur de l'électronique	
Aminoéthanolamine	Dermites irritatives et eczémas allergiques Asthme Sensibilisant cutané et respiratoire
Chlorure	Dermites Irritation des muqueuses et du système respiratoire
Colophane	Asthme induit par mécanisme allergique Eczémas, dermites de contact allergique Plus rarement, urticaire de contact
Fluorures	Graves irritations des muqueuses, du système respiratoire et de la peau Les effets chroniques les plus graves provoqués par les fluorures sont caractérisés par l'atteinte des os (jamais observés chez les braseurs)
Hydrazine	Dermites irritatives et eczémas allergiques (sensibilisant cutané)
Isopropanol	Dermites irritatives et eczémas allergiques (sensibilisant cutané) À forte concentration : dépression du système nerveux central (maux de tête, nausées…)

Source : INRS ED 122

Voici une brève description de certaines des maladies répertoriées dans les tableaux précédents.

Fièvre du fondeur

Les particules étrangères pénètrent dans les alvéoles du poumon et y exercent une action inflammatoire (il ne s'agit pas d'une allergie). Après une irritation de la gorge au travail, le travailleur ressent les symptômes d'une grippe dans la soirée. Il souffrira surtout de fièvre, de frissons, de maux de tête et de malaises diffus (douleurs aux muscles et aux os) accompagnés d'une toux légère. Les symptômes disparaissent au bout de 24 à 48 heures et ne laissent aucune séquelle. Une certaine tolérance peut être acquise, mais certains pourront subir une nouvelle crise après une absence plus ou moins longue du travail; c'est ce qu'on appelle la « fièvre du lundi matin ». Sa cause la plus fréquente est l'oxyde de zinc provenant de l'acier galvanisé, mais d'autres métaux peuvent aussi en être la source. L'exposition est souvent mixte, rendant difficile d'incriminer un seul métal. La liste des métaux pouvant causer cette maladie figure dans les tableaux de ce chapitre.

Pneumonite chimique et œdème pulmonaire

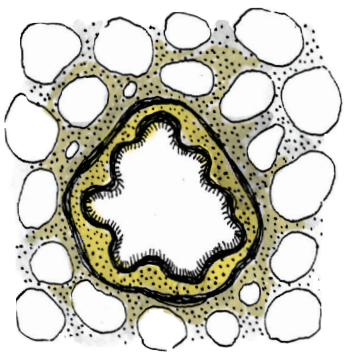
Ces phénomènes irritatifs surviennent peu de temps après l'exposition et diffèrent par l'étendue de l'atteinte pulmonaire. Après une forte exposition, le travailleur contractera, dans les quatre à six heures, une fièvre accompagnée de toux qui peut évoluer vers des douleurs thoraciques et de la difficulté à respirer (œdème pulmonaire = accumulation de liquide dans les poumons). Le travailleur récupère d'habitude complètement en suivant un traitement médical adéquat. Des pneumonites chimiques répétées peuvent occasionner une fibrose pulmonaire (pneumoconiose).

Pneumonite d'hypersensibilité

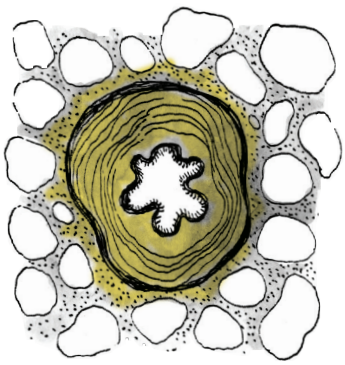
Il s'agit d'un phénomène allergique présentant les mêmes symptômes que la pneumonite chimique. Le travailleur touché connaît des épisodes répétitifs de fièvre accompagnée de toux, qui débute quelques heures après l'exposition et évolue en empirant vers une grande difficulté respiratoire. La pneumonite d'hypersensibilité est plutôt rare chez les soudeurs.

Asthme

L'asthme est caractérisé par des attaques aiguës de contraction des bronchioles, entrecoupées par des périodes plus ou moins libres de tout symptôme. Une fois l'individu sensibilisé ou devenu allergique au produit qui cause son asthme, de très petites quantités de cette substance sont par la suite suffisantes pour déclencher une crise. Ce problème est le plus souvent lié à une exposition aux isocyanates libérés pendant le travail sur des métaux recouverts de peintures à base de polyuréthane.



Bronchiole normale



Rétrécissement de la bronchiole affectée par l'asthme

Bronchite chronique

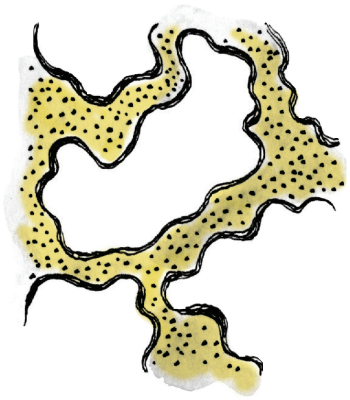
La bronchite chronique se définit par la présence d'une toux accompagnée de crachats et de sécrétions dans la gorge pendant trois mois de l'année au cours de deux années consécutives. Les soudeurs ont fréquemment des symptômes de difficulté respiratoire et certains font même de l'emphysème. Le tabac est l'agresseur qui cause le plus souvent ce problème, mais la recherche démontre une prévalence des symptômes de bronchite chronique plus élevée chez ces travailleurs que dans la population en général.

Pneumoconioses

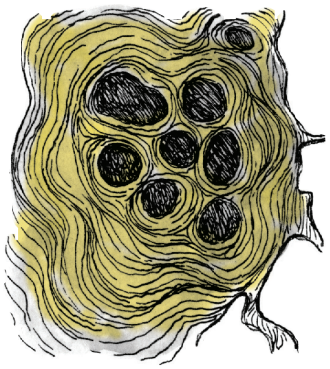
Dans les pneumoconioses, on regroupe un ensemble de problèmes pulmonaires ayant en commun l'épaississement des parois des poumons, un phénomène connu sous le nom de fibrose. Celui-ci a pour conséquence de diminuer la capacité du poumon à apporter l'oxygène nécessaire au sang. Parmi les pneumoconioses spécifiques que pourrait contracter un soudeur, on recense notamment la sidérose (exposition aux oxydes de fer), la stannose (exposition à l'étain), l'aluminose (exposition à l'oxyde d'aluminium), la silicose (exposition à la silice), l'amiantose (exposition à l'amiante), la pneumoconiose au titane, la béryllose (exposition au béryllium)… Les pneumoconioses non spécifiques sont attribuables au phénomène de fibrose qui accompagne l'addition des cicatrices laissées par des pneumonites répétées (lesquelles peuvent être chimiques, d'hypersensibilité ou les deux à la fois).

Cancers

L'Agence internationale de recherche sur le cancer (IARC) considère les fumées de soudage comme potentiellement cancérogènes chez l'humain (elles pourraient causer le cancer). De plus, l'Institut international de soudage (IIS) conclut que les soudeurs sont exposés à un risque accru de cancer du poumon que le reste de la population. Certaines études épidémiologiques réalisées chez ces travailleurs ont démontré un risque d'environ 30 % plus élevé à cet effet. Cela pourrait s'expliquer d'une part, par une exposition à des cancérogènes qui ne sont pas liés spécifiquement aux procédés de soudage (amiante et contaminants à la surface de pièces à souder) et, d'autre part, par une exposition au chrome hexavalent (chrome VI), au cadmium et au nickel dans certains procédés spécifiques (acier inoxydable).



Coupe d'une alvéole normale



Coupe d'une alvéole affectée par la fibrose

3

Normes d'exposition

La section précédente traitait en détail des effets des fumées et des gaz sur la santé dans le but d'informer les soudeurs et autres travailleurs sur les maladies qu'ils sont susceptibles de contracter si leur exposition dépasse les normes. Avant de présenter des mesures de prévention qui contribueront à éviter un dépassement des normes, il faut faire le lien avec les valeurs d'exposition que la réglementation permet.

Les contaminants présents en milieu industriel sont régis par le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST). Les valeurs limites d'exposition s'expriment en concentration moyenne pondérée sur huit heures (valeur d'exposition moyenne pondérée ou VEMP). Pour certaines substances, on prescrit aussi une valeur d'exposition de courte durée (VECD) à ne pas dépasser sur 15 minutes ou encore, une valeur limite à ne jamais dépasser en tout temps, quelle que soit la durée de l'exposition (valeur plafond).

••• Information

IMPORTANT

Dans les opérations de soudage et de coupage, la valeur limite correspondant aux fumées totales s'applique en tout temps. Cependant, si le métal de base, le métal d'apport, le flux, les gaz de protection ou l'électrode contiennent des substances dont la VEMP est inférieure à 5 mg/m^3 (soit celle des fumées totales), il pourrait être préférable de faire analyser spécifiquement ces substances, en plus des fumées totales.

C'est pourquoi il est essentiel de bien connaître la composition des matériaux travaillés ainsi que toutes les substances présentes avant de réaliser l'activité de soudage ou de coupage. Le tableau ci-dessous indique les normes en vigueur pour certaines substances. L'information intégrale se trouve dans l'Annexe I du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST).

Valeur d'exposition de différentes fumées et gaz ainsi que valeur plafond, notations et remarques

Substances	VEMP (valeur d'exposition moyenne pondérée)	Valeur plafond	Notations et remarques
Fumées			
Aluminium (fumées de soudage)	5 mg/m^3	—	—
Béryllium (exprimée en Be)	0,00015 mg/m^3	—	C1, RP, EM, S
Cadmium (élémentaire et composé, exprimée en Cd)	0,025 mg/m^3	—	C2, EM
Chrome VI (hydro-insoluble, exprimée en Cr)	0,01 mg/m^3	—	C1, RP, EM, S
Cobalt (élémentaire et composé inorganique, exprimée en Co)	0,02 mg/m^3	—	C3

Suite

Valeur d'exposition de différentes fumées et gaz ainsi que valeur plafond, notations et remarques			
Substances	**VEMP (valeur d'exposition moyenne pondérée)**	**Valeur plafond**	**Notations et remarques**
Fumées			
Cuivre (fumées de soudage, exprimée en Cu)	0,2 mg/m^3	—	—
Fumées de soudage (non autrement classifiées)	5 mg/m^3	—	Groupe 2B (C.I.R.C.)
Manganèse (fumées, exprimée en Mn)	0,2 mg/m^3 *	—	—
Plomb (et ses composés inorganiques, exprimée en Pb)	0,05 mg/m^3	—	C3
Vanadium, pentoxyde de Vanadium (fumées et poussières respirables V_2O_5)	0,05 mg/m^3	—	—
Gaz			
Azote (dioxyde d')	3 ppm ou 5,6 mg/m^3	—	—
Azote (monoxyde d')	25 ppm ou 31 mg/m^3	—	—
Ozone	—	0,1 ppm	RP
Phosgène	0,1 ppm ou 0,40 mg/m^3	—	—

** Selon le Règlement modifiant le Règlement sur la santé et la sécurité du travail paru dans la Gazette officielle du Québec, 28 novembre 2012 et qui entrera en vigueur en décembre 2013.*

Légende

C1 : Effet cancérogène démontré chez l'humain.

C2 : Effet cancérogène soupçonné chez l'humain.

C3 : Effet cancérogène démontré chez l'animal. Les résultats des études relatives à la cancérogénicité de ces substances chez l'animal ne sont pas nécessairement transposables à l'humain.

EM : Substance dont l'exposition doit être réduite au minimum, conformément à l'article 42 du RSST.

Groupe 2B : Substance qui peut être cancérogène pour l'homme, selon le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC).

mg/m^3 : Milligramme par mètre cube.

P : Valeur plafond qui ne doit jamais être dépassée pour quelque durée que ce soit.

ppm : Partie par million.

RP : Substance dont la recirculation est prohibée, conformément à l'article 108 du RSST.

S : Sensibilisant : la notation S dans la colonne « Notations et remarques » indique que l'exposition répétée à la substance peut provoquer une sensibilisation, c'est-à-dire une réaction allergique (immunologique) de l'arbre respiratoire, des muqueuses, des conjonctives ou de la peau.

VEMP : Valeur d'exposition moyenne pondérée pour huit heures.

4 Mesures de prévention

La Loi sur la santé et la sécurité du travail (LSST) a pour objet l'élimination à leur source même des dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs. Afin de diminuer l'exposition de ces derniers aux contaminants pour les protéger, quatre grands principes doivent être appliqués, dans l'ordre suivant :

- **Réduction à la source de la production de fumée et de gaz**
- **Captage des contaminants à la source**
- **Dilution des contaminants**
- **Protection respiratoire**

Réduction à la source de la production de fumée et de gaz

Voici quelques éléments à vérifier avant même de commencer des activités de soudage ou de coupage. L'objectif est de tenter de réduire l'exposition des travailleurs aux divers contaminants qu'elles dégagent.

Obligation du procédé de soudage ou de coupage

Serait-il possible d'utiliser un autre procédé pour obtenir un résultat similaire ? Par exemple, plutôt que de souder deux pièces ensemble, il pourrait s'agir seulement de les visser. Certes, dans la plupart des cas, la réponse sera probablement non, mais la question mérite toutefois d'être posée.

Préparation des pièces à souder

Plusieurs contaminants proviennent des matières qui recouvrent le métal à souder ou des solvants utilisés pour le dégraisser. La norme CSA W117.2-06, « Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes », spécifie d'ailleurs qu'il faut mettre le métal à nu avant de le souder.

Avant de souder ou de couper une pièce, il faut s'assurer de prendre les mesures suivantes :

- Enlever la peinture, l'huile ou tout autre recouvrement de surface.
- Éviter d'utiliser des solvants chlorés. S'ils sont absolument essentiels, prévoir le captage à la source des émanations au poste de dégraissage ou assurer une distance minimale de 15 mètres (50 pieds) entre les lieux de soudage et de dégraissage.
- S'assurer d'un temps de séchage suffisant pour éviter que les solvants laissent des résidus.

Modifications au procédé

Pour réduire la production de fumée et de gaz, on pourrait envisager d'apporter certaines modifications au procédé. Il s'agit d'évaluer celles qui ne diminueraient pas la qualité des soudures. Voici quelques pistes à explorer :

1 Peut-on modifier le procédé de soudage? Dans l'industrie, le procédé FCAW (fil fourré) est souvent remplacé par le GMAW (fil plein) qui produit moins de fumée. De plus, est-il possible d'utiliser un procédé qui ne requiert pas de métal d'apport ou encore, un métal d'apport produisant peu de fumée?

2 Peut-on modifier la composition et l'épaisseur de l'enrobage pour le soudage à la baguette ou le flux dans le cas des fils fourrés ? Une composition différente des éléments consommables, moins toxiques, peut réduire les émanations de fumée et diminuer leur toxicité tout en conservant la même qualité de soudure.

Pour ceux qui veulent en savoir davantage à ce sujet, la norme européenne « Méthode de laboratoire d'échantillonnage des fumées et des gaz émis par le soudage à l'arc, partie 4, Fiches d'information sur les fumées (NF EN ISO 15011-4) » a élaboré une classification des métaux d'apport en fonction de leur toxicité (de 0 indiquant le plus toxique jusqu'à 5, le moins toxique). Ce tableau permet de distinguer les produits les plus nocifs de ceux qui le sont moins. Il ne s'agit que de vérifier la composition des différents métaux avec l'information qui figure sur la fiche signalétique. Le tableau suivant indique la valeur limite des fumées de soudage en fonction de la classification de la toxicité du produit. On choisira donc les produits les moins toxiques, lorsque c'est possible.

Valeur limite des fumées de soudage (mg/m^3)	Classification du produit consommable de soudage
> 4,5	5
3,5 à 4,5	4
2,5 à 3,5	3
1,5 à 2,5	2
0,5 à 1,5	1
< 0,5	0

3 Peut-on réduire l'intensité du courant? En général, plus il est intense, plus l'émission de fumée est importante.

4 Peut-on modifier le diamètre des électrodes? Plus l'électrode est grosse, plus le courant requis est élevé. Il y a donc davantage de production de fumée.

5 Peut-on changer la polarité de l'électrode? Le soudage avec un courant direct positif produit jusqu'à 30 % plus de fumée que le soudage avec un courant direct négatif ou avec un courant alternatif. L'énergie dégagée se répartit 2/3 vers le pôle positif, soit pour ce cas à l'électrode et 1/3 vers le pôle négatif, soit la pièce. Pour ce type de polarité, le cordon de soudure est plus large et moins profond. (Pour plus d'information, voir page 10.)

6 Peut-on réduire la longueur de l'arc? Plus l'arc est long, plus la tension sera élevée et plus de fumée sera produite.

7 Peut-on changer le gaz de protection? Sa composition peut contribuer à réduire le volume des émanations. Par exemple, le volume des émanations peut être réduit de 15 % à 25 % lorsqu'on ajoute de l'argon au CO_2 au lieu d'utiliser ce dernier à l'état pur. De plus, la concentration d'ozone peut être réduite avec l'ajout d'oxyde nitrique au gaz de protection pour le soudage de l'aluminium avec le procédé MIG.

8 Peut-on remplacer les électrodes en tungstène thorié par des électrodes en tungstène au lanthane pour le procédé TIG? Les électrodes en tungstène thorié contiennent du thorium, un élément radioactif et cancérogène, susceptible de se répandre lors de l'affutage. Il convient donc d'éviter de les utiliser. (Pour plus d'information, voir page 46.)

Cette section ne présente qu'un résumé des principes d'aspiration à la source. Le chapitre 8 traite plus en détail de la ventilation appliquée aux opérations de soudage.

Ventilation locale (ou à la source)

La ventilation par aspiration locale ou à la source consiste à capter les fumées et les gaz avant qu'ils n'atteignent la zone respiratoire du travailleur.

Réglementation

Le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) exige une ventilation locale par extraction pour les sources ponctuelles d'émissions de contaminants, tels que poussières, gaz, fumées, vapeurs ou brouillards générés à un poste de travail fixe.

Le RSST définit comme poste de travail fixe tout emplacement où un travailleur exerce ses fonctions pendant au moins quatre heures par jour, habituellement sur une surface de 30 mètres carrés (323 pieds carrés) ou moins.

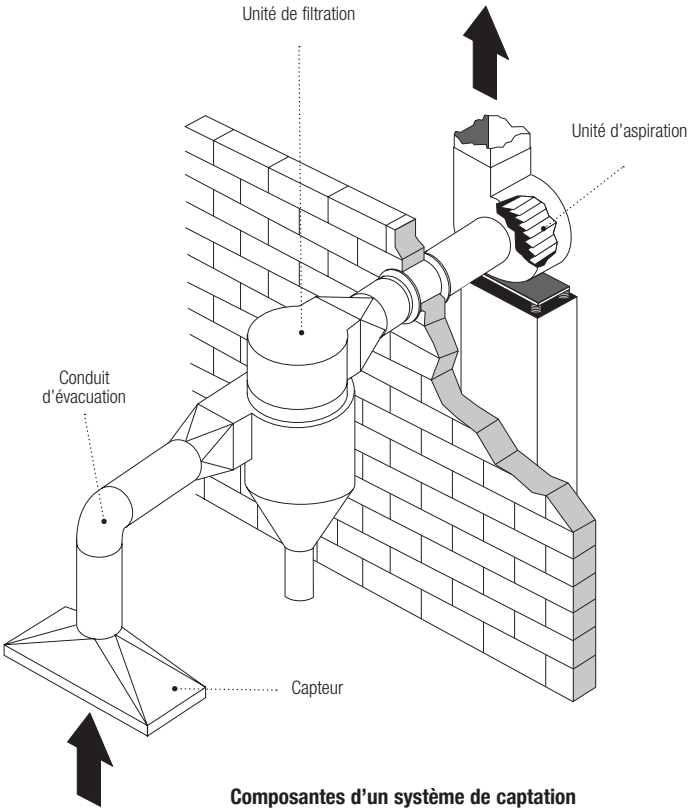
Composantes d'un système de captation

- Le capteur : dispositif permettant de capter l'air contaminé.
- Les conduits d'évacuation : tuyaux permettant d'acheminer l'air contaminé à l'extérieur du lieu de travail.
- L'unité de filtration : dispositif permettant de filtrer l'air avant de le rejeter à l'extérieur ou de le faire recirculer.
- L'unité d'aspiration : ventilateur permettant l'aspiration de l'air contaminé dans le réseau de conduits.

Principes d'aspiration locale

Il existe trois principes d'aspiration locale : le haut volume basse pression (HVBP), le moyen volume moyenne pression (MVMP) et le bas volume haute pression (BVHP). On les distingue par les pressions requises à l'unité d'aspiration ainsi que par les débits d'air que le système aspire.

Le chapitre 8 traite plus en détail de ces éléments ainsi que des avantages, des contraintes et des applications de chacun d'eux.

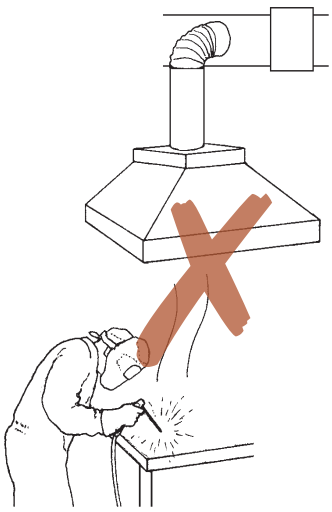


Composantes d'un système de captation
Source : L'aspiration à la source, UQAM-CSN-FTQ

Plusieurs facteurs peuvent influencer le choix et la configuration d'un système de ventilation :

- forme, dimensions et poids des pièces
- gabarit de positionnement des pièces et table de travail
- procédé
- toxicité des fumées et des gaz émis
- nature du métal soudé
- type de soudure et position de soudage
- nombre de postes de travail
- environnement de travail et espace disponible
- etc.

Systèmes d'aspiration à la source les plus courants



Hotte fixe au-dessus du poste de travail

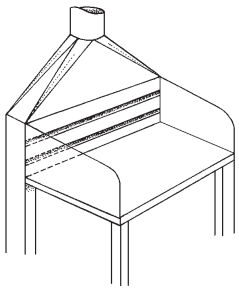


Table aspirante avec fentes d'aspiration face au travailleur

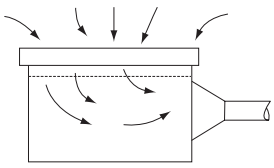
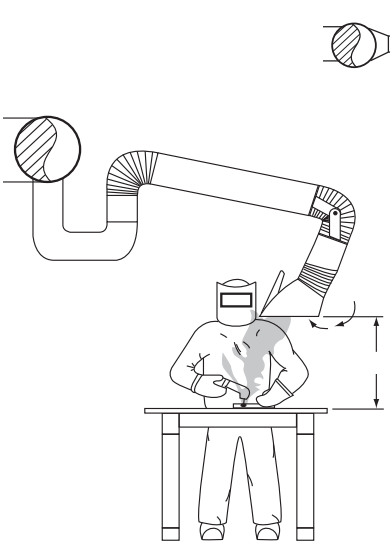
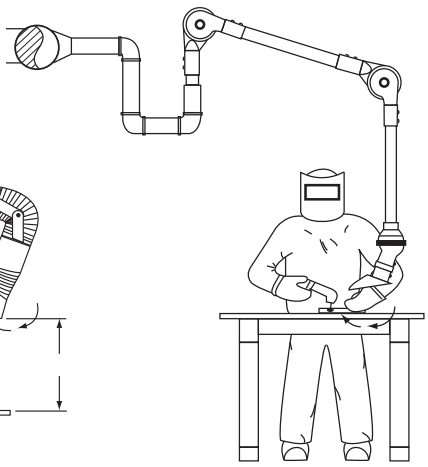


Table avec aspiration verticale descendante



Bras de captation à haut débit avec conduit flexible de 20 cm (8 po) de diamètre. Il existe d'autres diamètres tels que 15 cm (6 po), etc.



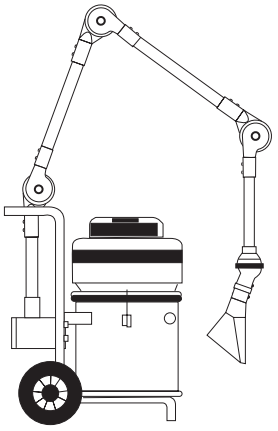
Bras de captation à faible débit avec conduit rigide articulé de 5 cm (2 po) de diamètre

••• Un cas particulier

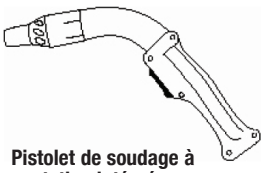
LES ÉLECTRODES EN TUNGSTÈNE CONTENANT DU THORIUM

On sait que le soudage et le coupage produisent des fumées et des gaz. Mais les opérations que l'on fait avant ou après le soudage, comme le sciage, le meulage et le polissage, produisent aussi des poussières qui se retrouvent dans l'air que l'on respire, souvent en grande quantité. De plus, certaines de ces poussières peuvent être combustibles, ce qui constitue aussi un risque d'incendie. On trouvera plus d'informations sur le contrôle des poussières à la section 3 du chapitre 8.

Parmi les activités connexes au soudage qui peuvent être source de problèmes, l'affûtage des électrodes pour le procédé TIG peut être particulièrement préoccupant. En effet, ces électrodes contiennent souvent du thorium, une substance radioactive et cancérigène. Si on le peut, on les remplacera par des électrodes en tungstène au lanthane, qui l'est beaucoup moins. Si l'on doit malgré tout affûter des électrodes en tungstène contenant du thorium, il faut porter une protection respiratoire appropriée. De plus, on doit disposer des poussières ainsi produites, si elles sont suffisamment radioactives (plus de 1 kilobecquerel, une unité de mesure de l'activité radioactive), en prenant les précautions qui s'imposent et pour lesquelles il faut faire appel à une firme spécialisée. En cas de doute à ce sujet, on peut s'adresser au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.



Unité mobile de filtration



Pistolet de soudage à captation intégrée

Cette section présente un résumé des principes de dilution des contaminants. Le chapitre 8 traite plus en détail de la ventilation générale et du débit d'air requis.

QUELQUES CONSEILS DE PRUDENCE POUR L'AFFÛTAGE D'ÉLECTRODES CONTENANT DU THORIUM

- Si possible, procéder à un affûtage avec un procédé humide.
- Réserver une zone de travail pour ce type d'activité.
- Nettoyer cette zone avec un aspirateur approuvé pour les poussières combustibles et doté de filtres à haute performance.
- Vider l'aspirateur et disposer du sac selon les précautions qui s'imposent.
- Ne jamais utiliser l'air comprimé pour se nettoyer et nettoyer les équipements contaminés.
- Fournir les équipements de protection respiratoire (P-100), des combinaisons et des gants jetables.
- Contrôler l'utilisation des électrodes contenant du thorium (ne pas les transporter dans ses poches, les utiliser comme pointes à tracer, ni les porter à la bouche, etc.).

Un système de ventilation générale sert à remplacer l'air vicié ou contaminé par de l'air frais provenant de l'extérieur. On peut également faire recirculer une partie de cet air vicié dans certaines conditions. Certaines substances, particulièrement toxiques, sont dites « à recirculation prohibée ». Lorsque le procédé de soudage ou de coupage en émet, on ne peut donc pas recirculer une partie de l'air ambiant. L'Annexe 1 du RSST dresse la liste des substances à recirculation prohibée; celles-ci portent la mention RP dans la colonne «Notations et Remarques».

La ventilation générale n'est pas un moyen de capter les contaminants. En principe, elle ne devrait servir qu'à diluer le faible pourcentage de ceux que le système de captation à la source n'a pas aspiré et à renouveler l'oxygène. Si l'exposition dépasse la norme permise, il faut porter une protection respiratoire en complément. Pour plus d'informations concernant la ventilation générale, référez-vous au chapitre 8.

Une bonne ventilation

Les principales exigences concernant la ventilation se trouvent dans le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST). Les systèmes en place doivent réussir à maintenir :

- les concentrations de contaminants dans la zone respiratoire du travailleur sous les limites permises (Annexe I, partie 1 du RSST).
- la concentration d'oxygène dans l'air de 19,5 % à 23 %.

Deux techniques de ventilation générale

Ventilation naturelle

La ventilation naturelle permet la circulation de l'air au moyen de fenêtres ouvertes ou de toute autre ouverture conçue à cet effet.

Dans les établissements industriels et commerciaux, la surface des ouvertures doit être au moins égale à 2 % de celle du plancher. Toutefois, cette technique ne permet pas de ventiler adéquatement les bâtiments en hiver; c'est pourquoi on doit la plupart du temps opter pour la ventilation mécanique.

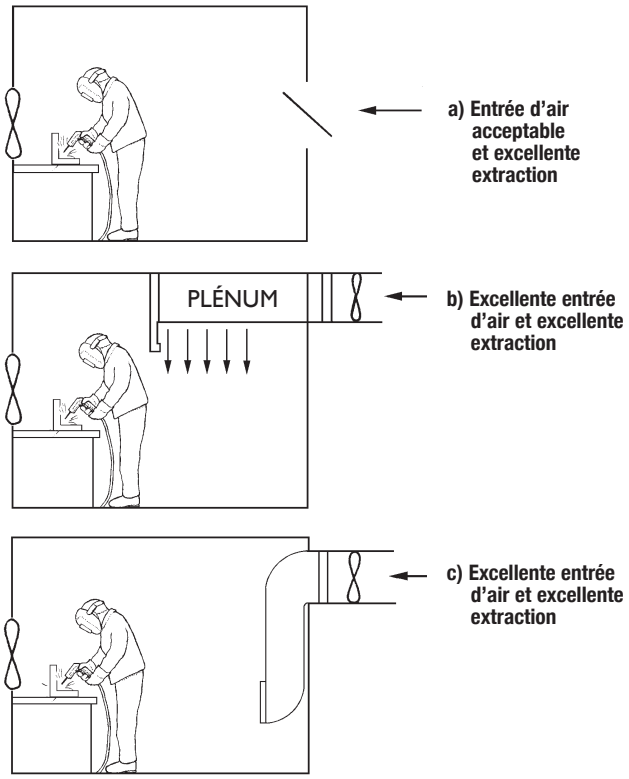
Ventilation mécanique

La ventilation mécanique implique l'utilisation de ventilateurs fixés aux murs ou au toit pour évacuer l'air vicié et contaminé. Les ventilateurs d'extraction doivent être installés dans la zone la plus contaminée, alors que l'entrée d'air doit être située dans celle qui est la moins contaminée de façon à permettre à l'air plus sain de s'écouler vers la section la plus contaminée.

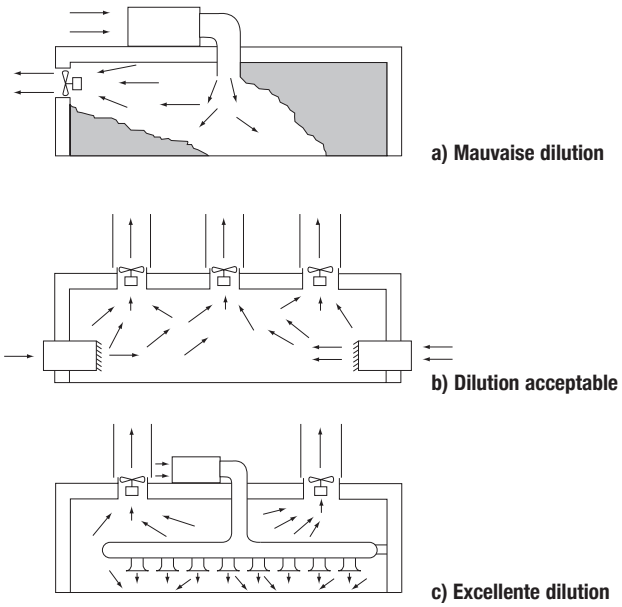
Mouvements de l'air

Les figures suivantes donnent quelques indications sur la qualité du mouvement de l'air selon différentes techniques de ventilation générale mécanisée.

Ventilation appliquée à une pièce ou un local



Ventilation appliquée à un atelier ou à un bâtiment



Application

Lorsque la quantité de fumée et de gaz de soudage dépasse la norme d'exposition admissible, il est obligatoire de mettre en place des moyens pour réduire ces émanations à la source. La réglementation permet d'avoir recours à une protection individuelle, telle qu'une protection respiratoire, dans les cas suivants :

- la technologie existante ne permet pas à l'employeur de respecter les normes d'exposition permises;
- les travaux d'entretien ou de réparation sont effectués hors de l'atelier;
- en attendant de mettre en œuvre les mesures requises pour respecter ces normes.

Normes

Selon l'article 45 du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST), l'équipement doit être choisi, ajusté, utilisé et entretenu conformément à la norme « Choix, entretien et utilisation des respirateurs » (CSA Z94.4-93). Il ne faut pas oublier qu'un programme de protection respiratoire doit être élaboré et mis en application conformément à cette norme. On peut obtenir plus d'informations en consultant le *Guide pratique de protection respiratoire, 2e édition*, de la CNESST.

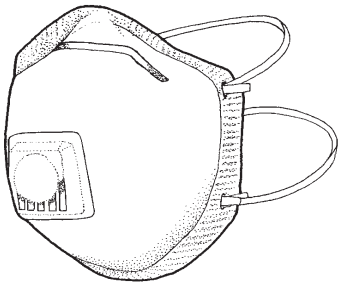
Voici un résumé des différents types de protections respiratoires les plus répandues dans les usines des secteurs de la fabrication de produits en métal et de produits électriques ainsi que dans celles des industries de l'habillement.

Appareils de protection respiratoire à épuration d'air – Appareils filtrants

Plusieurs types d'appareils de protection respiratoire entrent dans cette catégorie, dont les appareils avec filtres à particules, à cartouches chimiques et à épuration d'air motorisés. À prime à bord, les appareils filtrants ne doivent pas être utilisés dans les conditions suivantes :

- présence de danger immédiat pour la vie et la santé (DIVS); ou
- manque d'oxygène (taux inférieur à 19,5 %).

Lorsqu'une personne porte une pièce faciale bien ajustée, l'air qu'elle inspire traverse le filtre et le matériel filtrant retient le contaminant. S'il y a des infiltrations par les côtés, par le dessus ou le dessous du masque, à travers une valve brisée ou des fissures, l'utilisateur respirera de l'air contaminé. L'appareil doit donc être en bon état et former un lien étanche avec son visage pour s'assurer que l'air qu'il respire passe par le filtre. Le port d'une barbe annule l'efficacité de ce type de protection.



Appareil de protection respiratoire à filtres à particules – Masques jetables

Les masques jetables sont fréquemment utilisés. Ils protègent le travailleur contre les fumées, les poussières et les brouillards, tels que les brouillards d'huile.

Lorsqu'un masque jetable est bien ajusté, l'air contaminé passe par le filtre et retient les solides. Avec l'usage, le masque offrira plus de résistance à la respiration, ce qui signifie qu'il est temps de le jeter. Sa durée est donc déterminée par sa résistance à la respiration. Le masque jetable doit aussi être remplacé lorsqu'il est endommagé et pour toute considération d'ordre hygiénique.

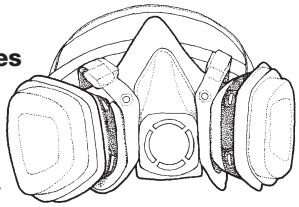
En soudage, certains modèles de masques jetables offrent une protection contre l'ozone par l'ajout d'un substrat de charbon activé. Cela peut servir à filtrer une certaine partie de l'ozone que génèrent des activités de soudage ou de coupage sur de l'acier inoxydable, de l'aluminium ou même de l'acier. Mais attention : la concentration d'ozone présente dans l'air qui entoure le soudeur doit se situer dans les limites de la norme prévue pour que ce type de protection puisse être utilisée.

Certains modèles possèdent une soupape d'expiration, ce qui améliore le confort en diminuant l'humidité dans le masque et la buée dans les lunettes de sécurité ou sous le masque de soudeur.

Classes de filtres	Informations
N	Ne résiste pas à l'huile
R	Résiste à l'huile : résistant aux huiles pendant un quart de travail de huit heures continues ou par intermittence
P	À l'épreuve de l'huile : résistant aux huiles pendant plus d'un quart de travail, soit jusqu'à ce que des considérations d'hygiène, d'endommagement du filtre ou de résistance respiratoire interviennent

Il existe trois niveaux d'efficacité de filtration des particules, soit 95 %, 99 % et 99,97 % à 0,3 micron. De plus, il existe trois classes de filtres, c'est-à-dire N, R et P (voir le tableau ci-dessus).

Appareils de protection respiratoire à cartouches chimiques



Ces appareils communément appelés masques à cartouches sont utilisés pour protéger contre certains gaz et des matières particulières, par exemple pendant le soudage d'une pièce peinte. La peinture à base organique (polymérique) peut libérer des substances qui exigent des cartouches chimiques. Celles-ci adsorbent les gaz pour lesquels elles ont été conçues, mais ne bloquent pas les particules. C'est pourquoi il faut aussi utiliser un préfiltre pour protéger adéquatement les voies respiratoires. Le port de ce type de protection est à proscrire pour une substance dont le seuil de détection par l'odorat est plus élevé que la concentration toxique. Le changement des cartouches se fait en fonction d'une estimation du temps de service ou d'un indicateur de fin de service intégré (disponible pour certains gaz seulement). Certains modèles surbaissés facilitent le port de lunettes de sécurité.

Appareils de protection respiratoire à épuration d'air motorisés

Ces appareils motorisés sont constitués d'une pièce faciale où l'air est acheminé sous pression. L'air est tiré de l'environnement du travailleur et traverse d'abord un bloc aspirant muni de filtres avant d'être poussé dans la pièce faciale. Ces appareils filtrent gaz, fumées et vapeurs selon le filtre choisi. Certains casques et cagoules peuvent être munis d'une lentille photosensible pour une protection accrue du soudeur.

Appareils de protection respiratoire à adduction d'air

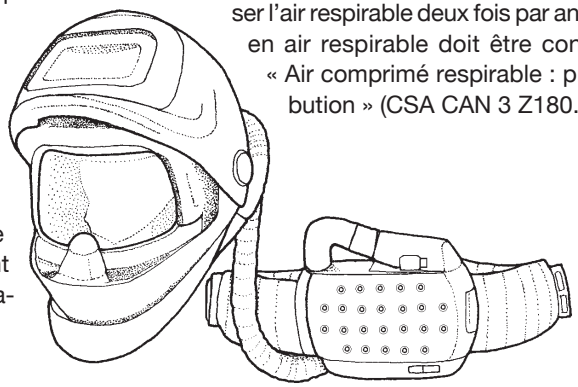
Ce type d'appareils ne doit pas être utilisé dans les conditions suivantes :

- présence de danger immédiat pour la vie et la santé (DIVS); ou
- manque d'oxygène (moins de 19,5 %).

Ces appareils sont directement alimentés en air respirable, indépendamment de l'environnement. L'air, qui provient habituellement d'un compresseur placé dans une zone propre de l'usine, est acheminé jusqu'à la pièce faciale par un tuyau (rare pour des activités de soudage). On utilise ces appareils en présence de contaminants très toxiques.

Dans certains cas, il est possible d'utiliser ces systèmes pour une situation DIVS sous restriction d'utiliser un modèle à pression positive combiné à un système autonome.

Il faut s'assurer que le compresseur utilisé possède les filtres suffisants pour assurer la qualité de l'air respirable. Selon la réglementation, il faut faire analyser l'air respirable deux fois par année. L'alimentation en air respirable doit être conforme à la norme « Air comprimé respirable : production et distribution » (CSA CAN 3 Z180.1-M85).





Chapitre 3

Incendie et explosion

1 Identification des risques

2 Mesures de prévention

1 Identification des risques

En soudage et en coupage, les risques d'incendie et d'explosion ont essentiellement deux origines : les sources de chaleur, combinées à l'utilisation de matières combustibles ou inflammables, ou des incidents impliquant des bouteilles de gaz.

Triangle de feu

Les incendies sont causés par la combinaison simultanée d'une source de chaleur, de matières combustibles et d'oxygène, comme l'illustre le triangle de feu. Certains incendies peuvent couver plusieurs heures avant d'être détectés.



Les principales sources de chaleur présentes dans les activités de soudage et de coupage sont les suivantes :

Flamme d'un chalumeau

Dans un procédé oxygaz, la flamme du chalumeau peut facilement atteindre plusieurs milliers de degrés, ce qui en fait une source de température élevée à redouter.

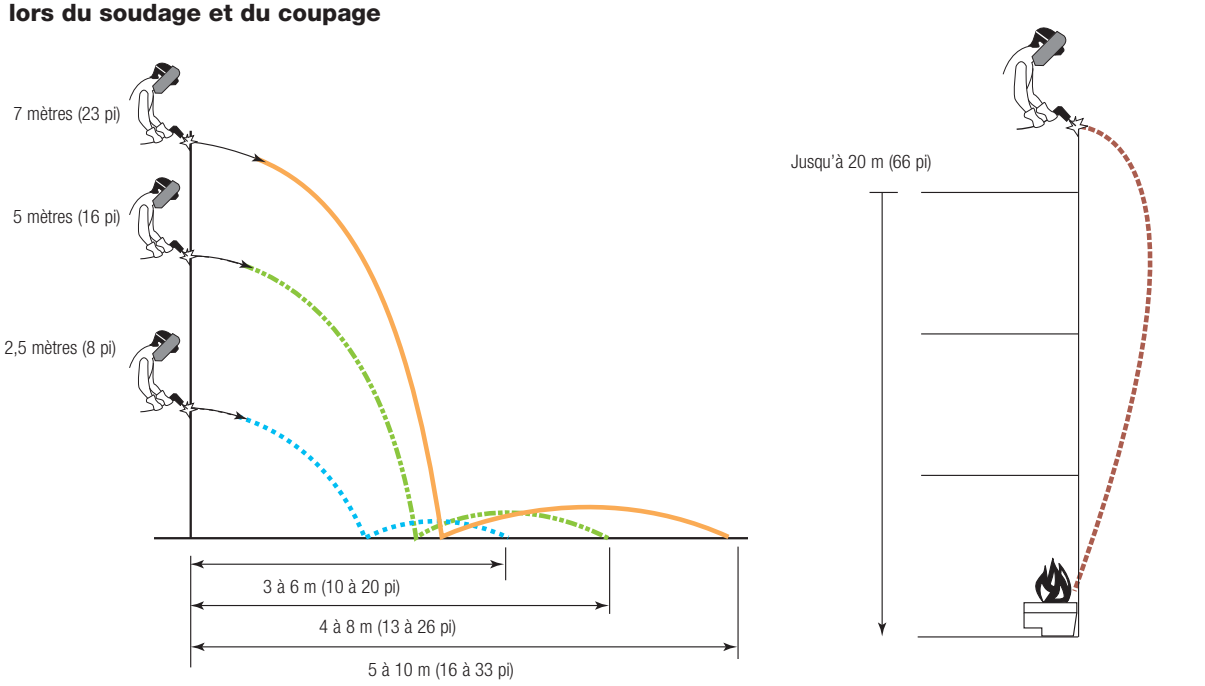
Température des pièces soudées ou coupées

Les pièces fraîchement soudées ou coupées peuvent atteindre des températures assez élevées pour enflammer des matières combustibles situées à proximité.

Projections de métal en fusion et le laitier

Même s'ils ne sont plus incandescents, les projections de métal et le laitier peuvent provoquer un incendie, car leur température (plus de 200 °C ou 392 °F) est suffisante pour enflammer le bois, le papier ou les vêtements. La hauteur du plan de travail et la pression des gaz influencent la projection de métal en fusion. Plus le soudage ou le coupage sont effectués en hauteur, plus grande sera la distance horizontale que parcourent les particules chaudes ou les étincelles. Ce problème est particulièrement aigu avec le coupage oxygaz.

Distances parcourues par les étincelles et les particules métalliques chaudes lors du soudage et du coupage



a) Distances horizontales selon la hauteur de projection

b) Hauteur de projection présentant un risque

Procédé oxygaz

La flamme secondaire

Dans certaines circonstances, une flamme secondaire peut se produire à l'extrémité d'un tuyau; elle n'est pas visible à travers les lunettes de protection d'un oxycoupeur.

L'oxygène sous pression en présence de graisse ou d'huile

Si l'oxygène sous pression entre en contact avec de la graisse ou de l'huile (fuite à un joint de tuyau ou au manodétendeur), il tend à provoquer une réaction violente pouvant élever la température à un degré suffisant pour enflammer un combustible qui se trouve à proximité.

Le retour de flamme et de gaz dans un chalumeau

Le retour d'une flamme peut causer l'explosion des tuyaux et même de la bouteille de gaz. Généralement, les tuyaux éclatent et les gaz se répandent dans l'atmosphère, ce qui provoque un incendie et parfois des blessures graves. La situation est encore plus critique si les manodétendeurs explosent. Une section est d'ailleurs consacrée à ce problème un peu plus loin dans ce chapitre.

Rebuts d'électrodes chaudes jetés au sol

La température des électrodes peut être suffisante pour déclencher un incendie en présence de matières combustibles.

Utilisation d'électricité

Un échauffement du câblage peut se produire lorsqu'il y a surcharge de courant ou présence de câbles dénudés ou de mauvaises connexions.

••• Information



Flamme secondaire produite à l'extrémité d'un tuyau ouvert

COMMENT SE PRODUIT UNE FLAMME SECONDAIRE ?

Pour brûler, la flamme d'un chalumeau a besoin de l'oxygène de l'air ambiant. Lorsque l'oxycoupeur doit travailler sur un tuyau (exemple : réparer des petites canalisations de plomberie), la combustion des gaz est incomplète étant donné le peu d'oxygène à l'intérieur de ce conduit. Des gaz tels que l'hydrogène et le monoxyde de carbone sont alors susceptibles de s'y accumuler. Si ces gaz inflammables s'échappent et se mélangent à l'oxygène à l'autre bout du tuyau, la combustion reprend et produit une flamme qui peut déclencher un incendie.

Dans les milieux de travail, les matières combustibles peuvent être présentes sous plusieurs formes :

Matières combustibles solides

Les planchers, les murs et cloisons, les plafonds, les contenants de produits, les boîtes de carton, les palettes de bois, le papier, les produits d'emballage et les vêtements ne sont que quelques exemples de matières combustibles pouvant s'enflammer dans certaines circonstances.

Vapeurs et gaz combustibles ou inflammables

Les espaces clos mal ventilés, par exemple un réservoir de produits dangereux mal nettoyé, augmentent grandement les risques d'incendie en raison de la forte concentration de vapeurs inflammables qui peuvent s'y accumuler. Avec le procédé oxygaz, il pourrait se produire des fuites de gaz autour des manodétendeurs, des tuyaux et des raccords. Ces fuites peuvent entraîner une forte concentration de gaz et provoquer un incendie ou même une explosion dans certaines circonstances.

Poussières combustibles

Une matière combustible solide présente un grand danger d'incendie lorsqu'il s'agit de poussières ou de poudre dispersées dans l'air en forte concentration. Le sciage, le meulage et le polissage, en particulier, produisent un grand nombre de fines particules métalliques qui peuvent s'enflammer rapidement au contact d'une source de chaleur. Certaines poussières s'enflamment plus violemment que d'autres. C'est le cas de l'aluminium, du magnésium et du titane. Même si les poussières d'acier présentent des caractéristiques d'inflammabilité plus faibles, elles entrent tout de même dans la catégorie des matières combustibles. Rappelons que la plupart des poussières d'autres domaines d'application sont combustibles, dont le plastique, la farine, le sucre, etc. Notons cependant que les fumées de soudage ne sont pas combustibles puisqu'elles ont déjà brûlé, ce qui signifie en fait qu'elles ont été oxydées. Toutefois pour les coupeuses laser ou plasma, il est parfois nécessaire de prendre un échantillon de procédé afin de vérifier si les particules émises sont combustibles ou non.

Déterminer si une poussière est combustible aide à déterminer si la balayeuse requise pour faire le ménage sera ordinaire ou conçue pour résister aux explosions. De plus, si un dépoussiéreur est requis, le spécialiste du domaine proposera certainement différents éléments de sécurité pour limiter les dégâts d'une possible explosion. Certaines normes peuvent être consultées à ce sujet auprès de l'organisme National Fire Protection Association telles que la norme NFPA 484. Le RSST peut aussi être consulté à l'article 58.



Les explosions résultent parfois de la mauvaise manipulation ou de l'utilisation inadéquate de bouteille de gaz sous pression. Par exemple, si une bouteille tombe ou est heurtée accidentellement et qu'un robinet se brise, cela peut libérer une pression suffisamment violente pour la soulever et la propulser sur un travailleur ou provoquer des dégâts considérables.

Acétylène

L'acétylène sert beaucoup dans le domaine de l'oxycoupage. Ce gaz est très instable. Il doit être dissous dans un solvant, souvent l'acétone, pour être stabilisé. Près de 2,5 kilogrammes (de 5 à 6 livres) d'acétone imbibent une matière poreuse placée à l'intérieur d'une bouteille d'acétylène à paroi épaisse où la pression peut atteindre 250 psi (1720 kPa ou 17 bar).

Voici quelques règles de base à respecter :

- Il faut éviter d'entrechoquer les bouteilles de gaz, ce qui peut endommager la garniture poreuse et provoquer la décomposition soudaine du produit (risque d'explosion).
- L'acétylène doit être utilisé à une pression manométrique inférieure à 103 kPa ou 1 bar (15 psi ou 15 lb/po^2), sinon il pourrait se décomposer avec une force explosive en circulant dans la tuyauterie.
- Il faut éviter le contact de l'acétylène avec certains alliages qui peuvent le faire réagir fortement (risque d'explosion). On doit utiliser des tuyaux, des raccords et des manomètres en laiton, sans cuivre, argent ou mercure, car ces métaux forment avec l'acétylène un mélange qu'on nomme acétylure, susceptible de détoner sous l'effet d'un choc ou de la chaleur. Ainsi, un mini-réseau construit en cuivre est incompatible avec l'acétylène.
- À partir de 56 °C, l'acétone distille d'où une augmentation de la pression intérieure de la bouteille et un risque possible d'explosion.
- Il faut prêter une attention particulière au type de valve qui équipe une bouteille d'acétylène. Habituellement, il ne faut pas ouvrir le robinet à plus d'un tour complet, ce qui permet de refermer rapidement la bouteille en cas de besoin. Toutefois, certains fabricants vendent des bouteilles de gaz qui requièrent que le robinet soit complètement ouvert puisqu'il est doté d'un dispositif d'étanchéité. Il est donc extrêmement important de respecter les consignes inscrites sur la bouteille, surtout dans le cas de l'acétylène.

••• Information

EXEMPLE D'ACCIDENT RELIÉ À L'UTILISATION D'OXYGÈNE SOUS PRESSION

Un soudeur s'affaire à ajuster la pression sur un manodétendeur d'oxygène. Ses mains sont souillées d'huile et il y a une fuite du collier de serrage du tuyau. Le contact entre l'oxygène et l'huile provoque une violente réaction, causant des brûlures à la main du soudeur.

(Source : Marine Safety Forum – Alerte sécurité 09/02, document sur la sécurité concernant les gaz comprimés daté du 5 février 2009)

Oxygène

L'oxygène est un gaz beaucoup plus stable que l'acétylène. Toutefois, la pression dans une bouteille d'oxygène peut atteindre 2 500 psi (172 bar), ce qui en fait une bombe potentielle. L'oxygène n'est pas un gaz inflammable, mais bien un puissant comburant. Associé à un combustible et à une source de chaleur, il provoque et active la combustion. Dans certains cas, l'oxygène fuyant à haute vitesse produit, au contact d'huile ou de graisse, une réaction exothermique qui suffit à enflammer le combustible. Il faut donc tenir l'oxygène loin de tous combustibles.

Hydrogène

L'hydrogène est un gaz inflammable dont la pression en bouteille s'apparente à celle de l'oxygène. Sa sortie sous pression produit au contact de l'air, une flamme bleue presque invisible. La friction créée par la haute pression du gaz dans la bouteille cause ce phénomène, c'est pourquoi, lorsqu'on utilise une bouteille d'hydrogène ou d'un mélange à base d'hydrogène, il ne faut jamais ouvrir le robinet pour faire une purge (pas de craquage du robinet).

Retour de gaz et de flamme

En temps normal, la vitesse de propagation de la flamme d'un procédé oxyacétylène est de 13,5 m/s (2 700 pi/min), tandis que la vitesse de la sortie du gaz par les orifices de la buse du chalumeau peut atteindre de 80 à 150 m/s (16 000 à 30 000 pi/min). Donc, en temps normal, la flamme ne peut pas entrer dans le tube mélangeur.

Dans certaines situations, des retours de gaz et de flamme peuvent cependant se produire. Le tableau suivant montre des défaillances propres au procédé oxygaz. Il présente, entre autres, la progression d'une situation problématique : simple claquement, claquements répétés, entrée de flamme soutenue, puis éventuellement, retour de flamme explosive.

Le claquement est dangereux en raison du dépôt de suie de carbone qu'il laisse dans le mélangeur (tête) du chalumeau. C'est pourquoi il est important d'entretenir son équipement avec soin. Dans ce cas, son nettoyage doit être effectué par des spécialistes.

Avant de rallumer le chalumeau à la suite d'une entrée de flamme soutenue, le matériel devrait être examiné, la pression, réglée, et les pertes de pression, absentes (tuyaux trop longs, diamètre insuffisant, tuyaux courbés ou trop grand nombre de connecteurs).

Dans le cas des claquements et d'une entrée de flamme soutenue, on a le temps de réagir pour arrêter le phénomène et prendre les dispositions qui s'imposent afin de prévenir d'éventuelles défaillances. Si la situation n'est pas corrigée, l'équipement peut se détériorer et cela peut conduire à des situations plus graves, comme le retour d'une flamme explosive.

L'utilisation d'une bouteille d'oxygène presque vide présente un risque supplémentaire. Si on ne remplace pas la bouteille avant qu'elle soit complètement vide, il peut se produire, au moment de son utilisation, un retour de gaz combustible dans le tuyau d'oxygène. Le gaz combustible se mélange alors au reste de l'oxygène. En raison de la baisse de pression, la flamme du chalumeau peut se rendre jusqu'au tuyau où les deux gaz se trouvent mêlés. La chaleur que la flamme produit dans le tuyau risque de le faire éclater. La flamme pourrait même atteindre la bouteille; il s'agit alors d'un retour de flamme explosive.

Notons que le retour d'une flamme explosive peut également survenir avec un équipement en très bon état lorsque la procédure de purge avant allumage n'est pas suivie.

Causes d'un retour de flamme explosive		
Situation	**Description du phénomène**	**Causes possibles**
Claquement	Entrée temporaire d'une flamme à l'intérieur du chalumeau accompagnée d'un bruit sec. La flamme peut s'éteindre complètement ou se rétablir par contact avec la pièce chaude.	• Des projections de métal obstruent les orifices de la buse en raison du métal en fusion projeté pendant le travail. • La pression des gaz est mal réglée. • À la longue, les accumulations de suie (carbone) laissées par les claquements tendent à réduire le débit du gaz et les claquements se produisent plus souvent.
Entrée de flamme soutenue	Une flamme se rend jusqu'au mélangeur et y entretient la combustion. Un sifflement ou un grincement se fait entendre et des étincelles peuvent jaillir des orifices de la buse. En quelques secondes, le matériel devient extrêmement chaud et il faut fermer rapidement le débit des gaz pour ne pas endommager gravement le chalumeau.	• L'accumulation de suie à l'intérieur du mélangeur par suite de claquements répétés augmente les risques d'un retour de flamme. • Des pressions d'utilisation trop basses (mauvais réglage) augmentent les risques d'un retour de gaz et, finalement, les risques d'un retour de flamme. • Une grande perte de charge est attribuable à la longueur excessive ou au diamètre insuffisant des tuyaux et aux courbes exagérées si les tuyaux sont entremêlés.
Retour d'une flamme explosive	Remontée de la flamme jusqu'aux tuyaux et possiblement jusqu'au manodétendeur et à la bouteille de gaz. La flamme se propage si rapidement que personne n'a le temps de réagir et de fermer l'arrivée du gaz.	• Des gaz (oxygène et combustible) sont mélangés dans un des deux tuyaux qui raccordent le chalumeau aux manodétendeurs, possiblement en raison d'une mauvaise procédure de fin de travaux. • Un nouvel allumage sans purge préalable de chacun des tuyaux peut déclencher ce phénomène. La purge permet d'éliminer les gaz mélangés à l'intérieur des tuyaux.

2

Mesures de prévention

Cette section présente des mesures de prévention qui aideront à réduire les risques d'incendie et d'explosion. Il s'agit principalement de bonnes méthodes de travail, de précautions particulières et de moyens de contrôle spécifiques qu'il est important de connaître pour diminuer les risques.

Contrôle des sources de chaleur

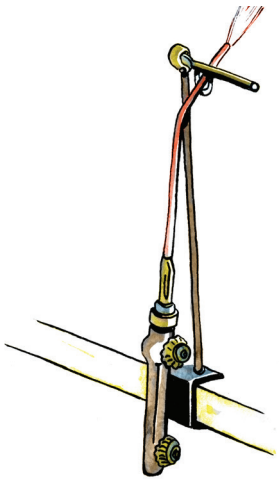
Les mesures de prévention qui concernent le contrôle des sources de chaleur passent souvent par la surveillance et l'amélioration des lieux de soudage et de coupage. Voici donc quelques précautions minimales à prendre :

Aménagement des lieux de soudage et de coupage

- S'assurer que le local est aménagé adéquatement, par exemples :
  - des matières combustibles sont éloignées d'au moins 15 m (50 pi) du lieu de soudage;
  - des écrans incombustibles sont en place;
  - des extincteurs appropriés sont installés près des postes de travail;
  - les bonbonnes de gaz combustibles et d'oxygène sont entreposées séparément.
- Appliquer la procédure de travail à chaud (voir le chapitre 9) si le travail de soudage et de coupage s'effectue ailleurs qu'à un poste prévu à cet effet.
- S'assurer que les extrémités des tuyaux sur lesquels on coupe avec un chalumeau oxygaz sont bien dégagées ou éloignées des matières combustibles pour éviter les incendies en cas de production de flammes secondaires.

Méthodes de travail

- Ne jamais orienter le chalumeau d'un procédé oxygaz vers des bouteilles de gaz ou toute autre matière combustible.
- Marquer les pièces chaudes de façon à avertir les autres personnes ou encore, mettre ces pièces à l'écart afin d'éviter tout contact.
- Ne jamais manipuler des bouteilles d'oxygène, leur robinet, raccords, manodétendeurs, tuyaux et autres avec des gants souillés d'huile ou de graisse. Tel que vu précédemment, l'oxygène est un excellent comburant qui, en présence d'huile ou de graisse, peut provoquer leur inflammation et brûler avec une grande intensité.
- Jeter les morceaux d'électrodes chauds dans un contenant de métal approprié.
- Utiliser un allumoir à frottement pour allumer le chalumeau. Éviter les allumettes et les briquets, car ils peuvent prendre feu au contact de projections ou de la flamme du chalumeau et causer des brûlures graves.



Support approprié pour le travail avec un chalumeau

Équipement

- Pendant le travail, utiliser un support approprié pour poser le chalumeau éteint afin d'éviter qu'on ne l'accroche inconsidérément et dangereusement à une bouteille de gaz ou à l'intérieur d'un corps creux.
- Maintenir l'équipement électrique du poste de soudage en bon état, en particulier les câbles d'alimentation et de retour de courant. Il peut y avoir surchauffe s'ils sont endommagés.

Équipement de protection individuelle

- Utiliser des gants exempts d'huile ou de graisse pour manipuler tout équipement oxygaz.

Contrôle des matières combustibles

Les activités de soudage et de coupage (procédés à haute température) ne devraient pas se faire en présence de matières combustibles. Voici quelques mesures de prévention à prendre.

Matières combustibles

Déplacer la pièce à souder loin de toute matière combustible. S'assurer qu'aucune matière combustible ne se trouve à moins de 15 m (50 pieds) du lieu de soudage (art. 11.7.1b de la norme CAN/CSA-W117.2-06).

Si des matières combustibles doivent demeurer dans le lieu du soudage ou en font partie intégrante, voici une série de mesures à mettre en place selon le cas :

- s'assurer d'avoir un extincteur portatif, un tuyau d'incendie ou un sceau d'eau à portée de main.
- enlever tout débris, tel que du papier, du bois ou de la poussière. Attention aux accumulations de poussières combustibles (acier, aluminium, etc.).
- utiliser des couvertures résistantes au feu pour couvrir les surfaces combustibles.

Faire appel au surveillant d'incendie dans les situations suivantes (voir plus de détails au chapitre 9) :

- des matières combustibles se trouvent à moins de 15 m (50 pieds).
- des ouvertures dans le mur ou le plancher sont à une distance inférieure à 15 m (50 pieds) et laissent des matières combustibles à découvert.
- des matières combustibles se trouvent derrière un mur, au-dessus d'un plafond ou sur une toiture en métal où elles risquent de prendre en feu en raison de la conduction thermique de la pièce à souder.
- des étincelles peuvent se loger dans des fentes ou atteindre des surfaces qui se trouvent sous la pièce à souder.

Le surveillant d'incendie devra savoir utiliser le matériel d'extinction et connaître l'endroit où se trouve l'alarme d'incendie. Il devra éteindre les étincelles, surveiller tous les endroits exposés et assurer la surveillance du lieu jusqu'à au moins 30 minutes après la fin des travaux de soudage et de coupage ainsi qu'une inspection finale. Vous trouverez au chapitre 9 un exemple de permis de travail à chaud.

Détection des fuites

- Vérifier l'étanchéité des manodétendeurs, des tuyaux et des raccords (procédé oxygaz).

  On devrait privilégier les détecteurs de fuites homologués pour déceler une fuite d'oxygène. L'étiquette doit porter une mention « homologué pour l'oxygène » ou l'équivalent. Si une eau savonneuse est utilisée, il faut s'assurer que le savon n'est pas à base d'huile, de graisse ou de gras, car les accumulations de corps gras peuvent réagir avec l'oxygène sous pression (cette réaction génère de la chaleur). L'eau savonneuse ne cause pas de problème avec les gaz combustibles ni avec les gaz inertes.
- Transporter les bouteilles de gaz qui fuient à l'extérieur le plus rapidement possible.

Aménagement des lieux de travail

- Toujours s'assurer qu'un extincteur approprié est disponible sur les lieux du soudage.
- Éviter d'entreposer les accessoires d'un procédé oxygaz près de contenants d'huile ou de graisse afin d'éviter de les souiller.
- Nettoyer régulièrement les zones où des poussières peuvent s'accumuler (par exemple, la zone de meulage).

••• Information

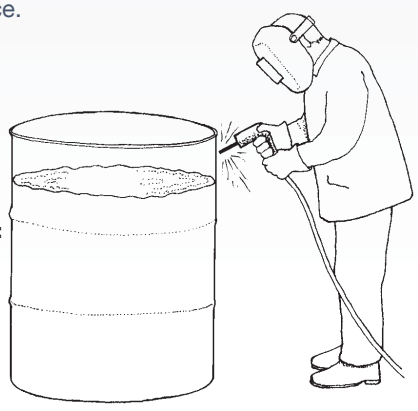
PRÉCAUTIONS À PRENDRE AVANT DE TRAVAILLER SUR DES RÉSERVOIRS AYANT CONTENU DES PRODUITS DANGEREUX

Les opérations de soudage, de coupage ou de meulage dans des réservoirs ayant contenu des produits dangereux comportent des risques élevés pour la santé et la sécurité. Les règles de sécurité suivantes s'ajoutent aux précédentes. Des procédures plus complètes sont présentées au chapitre 9.

En tout premier lieu, il faut éliminer toute trace de vapeurs toxiques ou inflammables que génèrent les résidus déposés sur les parois des réservoirs. Avant de procéder au nettoyage d'un réservoir, il faut absolument savoir quel produit il a contenu. La méthode de nettoyage appropriée sera déterminée en fonction de ce produit. Les principales méthodes de nettoyage sont le nettoyage à l'eau dans le cas des matières solubles (ne s'applique pas aux huiles ni à l'essence), l'utilisation d'une solution chimique chaude (détergent) ou le nettoyage chimique avec des solvants. Le choix d'une méthode de nettoyage devrait être approuvé par une personne qualifiée.

Les canalisations et les raccords menant aux réservoirs doivent être débranchés puis obturés, conformément aux procédures de cadenassage en vigueur.

S'il est impossible de bien nettoyer le réservoir ou si l'on veut réduire le risque d'accumulation de vapeurs, on peut le remplir de gaz inerte (ex. : azote) ou d'eau avant d'entreprendre le soudage. Si l'on choisit de remplir le réservoir d'eau, le niveau d'eau devrait se situer au-dessous du point de soudage. Il faut aérer l'espace intérieur qui se trouve au-dessus du niveau de l'eau. Cette pratique est courante pour le soudage des réservoirs à essence.



Remplissage d'un réservoir avec de l'eau : le niveau d'eau est sous la soudure.

Méthodes de travail

Pour prévenir les retours de gaz et de flamme, il importe de suivre les méthodes de travail suivantes :

Pression des gaz

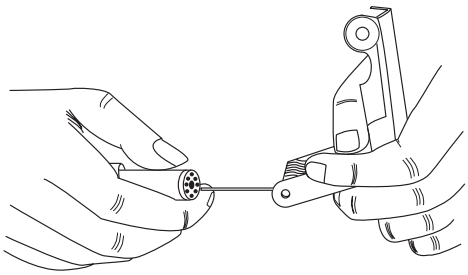
La vitesse à l'intérieur de la buse d'un chalumeau doit être supérieure à la vitesse de propagation de la flamme, sinon la flamme rentre dans le chalumeau. La pression des gaz doit donc être bien ajustée et il faut avoir assez d'oxygène et de gaz combustible pour effectuer les travaux.

Purge des tuyaux

Avant d'allumer le chalumeau, il faut purger les tuyaux un à un, en laissant sortir du gaz par chacun des tuyaux tour à tour, pour chasser tout mélange inflammable qui pourrait s'y être accumulé. Dans le cas où une bouteille doit être remplacée, purger complètement les tuyaux souples avant de rallumer le chalumeau. La purge ne doit pas se faire en atmosphère confinée, ni à proximité d'une source de chaleur.

Nettoyage du chalumeau

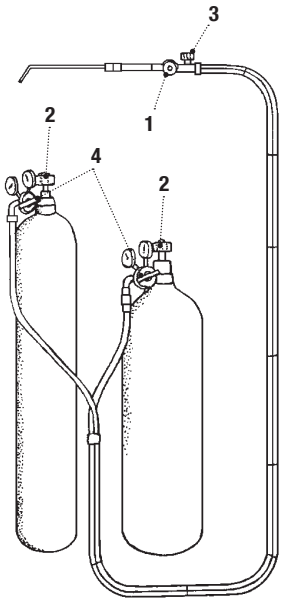
S'assurer que la buse du chalumeau est libre de tout débris de métal. Des instruments de nettoyage spéciaux, comme un alésoir, doivent être utilisés.



Utilisation d'un alésoir spécialement conçu pour nettoyer une buse de chalumeau.

Procédure de fin de travaux

1. Fermer les robinets du chalumeau en commençant toujours par l'oxygène.
2. Fermer les robinets de chaque bouteille.
3. Rouvrir les robinets du chalumeau pour laisser échapper les gaz sous une hotte si possible, puis les refermer
4. Desserrer la vis de réglage de la pression sur les manodétendeurs (s'assurer que l'aiguille des manomètres indique zéro et que le robinet de la bouteille est fermé).



Clapet antiretour

Il existe des clapets antiretour de gaz ainsi que des clapets antiretour de gaz et de flamme qui augmentent la sécurité des équipements oxygaz.

Clapet antiretour de gaz (clapet de non-retour, clapet de retenue ou *check valve*)

Les clapets antiretour de gaz sont conçus pour arrêter un retour de gaz mais sont inefficaces pour les retours de flamme, c'est pourquoi on utilise de plus en plus souvent des clapets antiretour de gaz et de flamme.

Clapet antiretour de gaz et de flamme (arrêt d'explosion ou *flashback arrestor*)

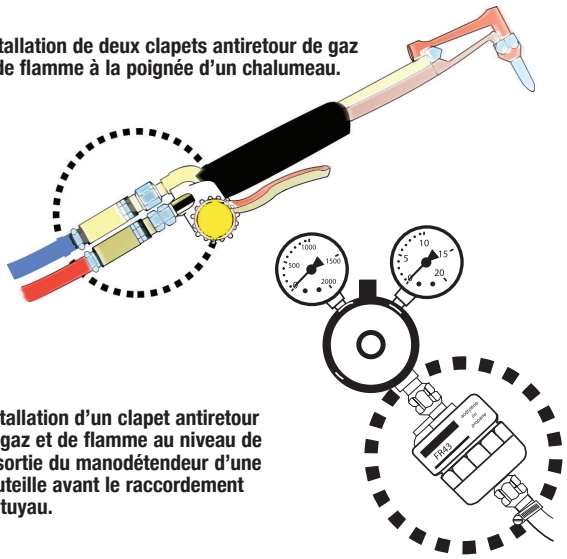
Le clapet antiretour de gaz et de flamme empêche à la fois le gaz et la flamme de remonter et d'atteindre le tuyau, le manodétendeur ou même la bouteille de gaz. En cas de retour de flamme, l'élévation de la température actionne l'arrêt thermique qui bloque le passage du gaz. Le clapet antiretour de gaz et de flamme doit alors être remplacé car il ne fonctionne qu'une fois.

Certains fabricants incorporent un clapet antiretour de flamme dans les bouteilles de gaz prêtes à l'emploi (voir la section « Position des bouteilles, attache et chapeau de protection » à la page suivante).

Il faut toutefois savoir qu'un clapet antiretour de gaz et de flamme installé au niveau de chacune des bouteilles pourrait permettre à un éventuel retour de flamme de remonter dans les tuyaux et ainsi les faire éclater avant d'arriver au clapet.

L'article 319 du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) oblige l'installation de clapets antiretour de gaz et de flamme sur les tuyaux d'alimentation de gaz combustible et d'oxygène au chalumeau. Certains fabricants intègrent de tels clapets directement dans le chalumeau.

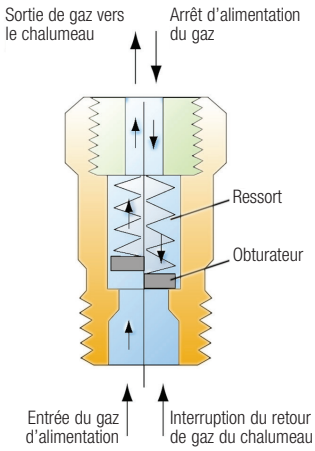
Installation de deux clapets antiretour de gaz et de flamme à la poignée d'un chalumeau.



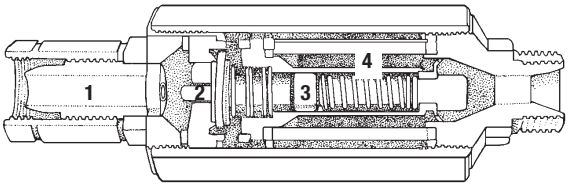
Installation d'un clapet antiretour de gaz et de flamme au niveau de la sortie du manodétendeur d'une bouteille avant le raccordement au tuyau.

L'utilisation de ces clapets entraîne une perte de charge supplémentaire dans les conduits. Cette perte doit être compensée par une augmentation de la pression des gaz. Dans le cas d'un fort débit d'oxygène, comme sur les grosses têtes de coupe, la capacité des clapets pourrait être insuffisante. Ils devront alors être remplacés par des clapets installés sur le manodétendeur. Ces derniers seront également utilisés pour des installations en canalisations rigides (métalliques) permanentes.

Clapets antiretour de gaz



Clapets antiretour de gaz et de flamme



1. **Raccord pour le gaz combustible ou pour l'oxygène.**
2. **Clapet antiretour de gaz**
   La soupape munie d'un ressort empêche le reflux lent ou subit du gaz.
3. **Arrêt thermique**
   Soupape maintenue en position ouverte par un élément fusible qui se ferme en cas de chauffe inadmissible.
4. **Filtre pare-flamme**
   Cylindre creux très poreux en acier chrome-nickel fritté. Un retour de flamme provenant du chalumeau y est arrêté et éteint.

Les mesures de sécurité relatives aux bouteilles de gaz sont tirées de la réglementation en vigueur, de normes de sécurité (CSA W117.2-06, notamment) ainsi que de pratiques recommandées par différents fournisseurs. Les méthodes de prévention sont regroupées en quatre catégories : l'entreposage, la manutention et le transport, l'utilisation et l'inspection des tuyaux, des raccords et des manodétendeurs.

Entreposage

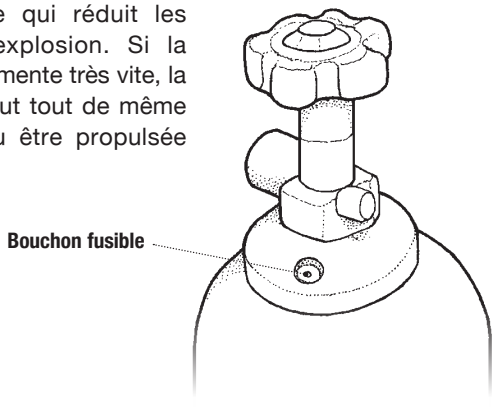
Les principales mesures de sécurité régissant l'entreposage des gaz comprimés sont les suivantes :

Étiquette des bouteilles de gaz

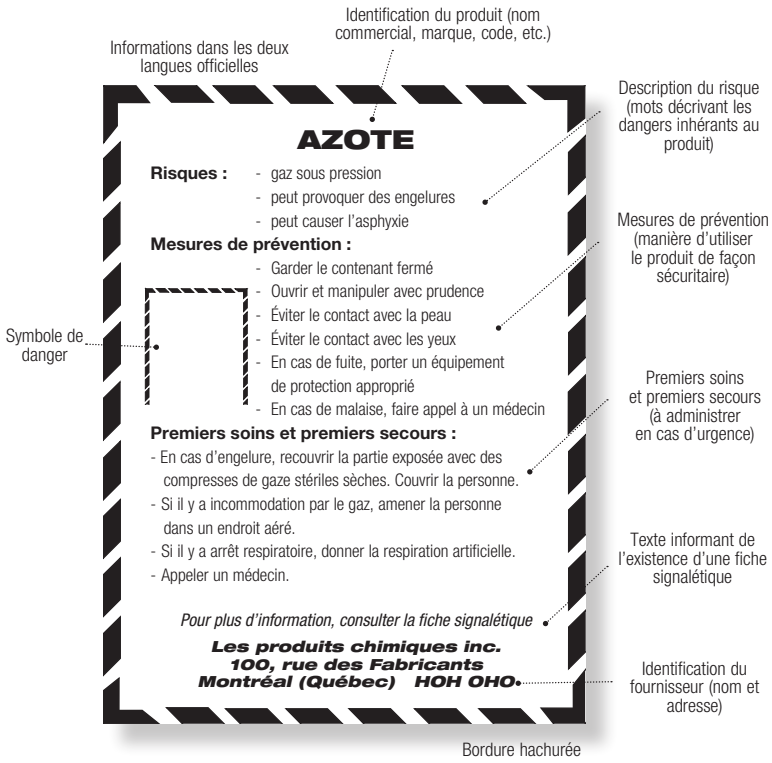
- Le fournisseur doit apposer sur chaque bouteille une étiquette identifiant le produit qu'elle contient, conformément aux exigences du Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail (SIMDUT). Si l'étiquette est absente, il faut retourner la bouteille au fournisseur.

Position des bouteilles, attache et chapeau de protection

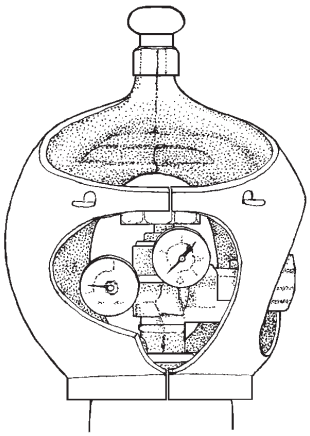
- Fermer le robinet et installer le chapeau de protection.
- Placer les bouteilles debout et les attacher avec une chaîne pour éviter qu'elles ne se renversent, tel que stipulé à l'article 77 du RSST. La *Compressed Gas Association* (CGA) exige l'utilisation de bouchons fusibles dans le haut ou le bas de la bouteille, selon son format. Ces bouchons fondent sous la chaleur (à la suite d'un retour de flamme dans la bouteille ou si la bouteille est chauffée). La fonte du bouchon permet l'évacuation du gaz, ce qui réduit les risques d'explosion. Si la chaleur augmente très vite, la bouteille peut tout de même exploser ou être propulsée violemment.



Étiquette selon le SIMDUT



- Utiliser des bouteilles prêtes à l'emploi si possible. Les bouteilles de ce genre sont de plus en plus répandues. Elles possèdent un protecteur métallique qui protège les raccords et les jauges contre les impacts. Chaque bouteille est munie d'un manodétendeur et d'un robinet adapté au type de gaz qu'elle contient et à la pression requise. Ces bouteilles offrent deux avantages : leurs manodétendeurs ne requièrent aucun entretien puisqu'elles



Bouteille prête à l'emploi

doivent être retournées au fabricant une fois vides. De plus, elles peuvent être arrimées dans un véhicule, puisque leur manodétendeur reste en place pendant le transport. Il faut évidemment enlever leur tuyau de gaz pour pouvoir les transporter de la sorte. Ces bouteilles sont souvent utilisées avec un système de raccord rapide, dont il est question dans la sous-section « Raccords rapides », présentée plus loin dans ce document. Certains fabricants incorporent un clapet antiretour de flamme à ces bouteilles de gaz.

Température

- La température ambiante ne doit jamais dépasser 51,7 ºC (125 ºF) pour l'entreposage et 48,9 ºC (120 ºF) pour l'utilisation. Une température plus élevée fait augmenter la pression dans la bouteille, ce qui risque de l'amener au-delà de la limite permise.
- Protéger les bouteilles des températures extrêmes et des sources de chaleur (glace, soleil, étincelles, etc.).

Bouteilles vides

- Il faut identifier les bouteilles vides (par exemple, les marquer des lettres « VIDE » à la craie ou leur enfiler une pancarte à collier), les ranger à l'écart des bouteilles pleines, le robinet fermé et le chapeau de protection en place, avant de les retourner au fournisseur.
- Une bouteille vide n'est jamais complètement vide. C'est pourquoi les règles d'entreposage usuelles s'appliquent, comme si elle était pleine.

Lieu

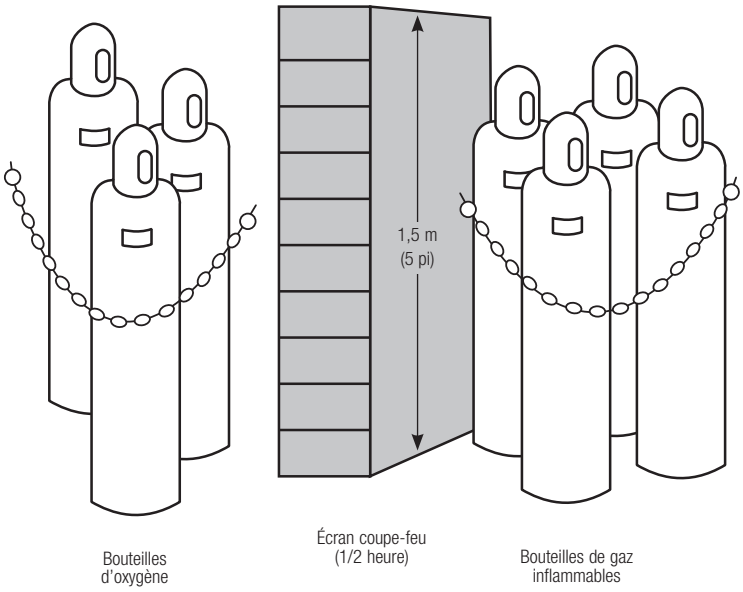
- Installer une affiche « Défense de fumer » dans les aires de rangement des bouteilles de gaz.
- Entreposer les bouteilles dans un endroit bien ventilé et en limiter l'accès aux personnes autorisées.
- Ne jamais entreposer les bouteilles de gaz dans une armoire ou dans un casier fermé.
- Entreposer les bouteilles loin des escaliers, des ascenseurs, des ponts-roulants, des monte-charges, des couloirs et des portes pour ne pas bloquer les voies d'accès en cas d'urgence.
- Entreposer les bouteilles et les accessoires dans un endroit où ils ne pourront pas être souillés par de l'huile ou de la graisse.
- Entreposer le propane à l'extérieur du bâtiment.

Quantités permises

L'article 316 du RSST exige la conformité au chapitre 8 de la norme CAN/CSA W117.2-94 (Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes), où l'on réfère à la norme NFPA 51. Cette dernière, à l'article 4, définit les quantités maximales que l'on peut entreposer dans un établissement. Notez que cette norme a été modifiée de manière importante en 2013; par exemple, les quantités en utilisation s'ajoutent aux quantités entreposées dans le calcul des quantités maximales permises dans un établissement.

Les choses se compliquent quand on apprend que le Code national de prévention des incendies (CNPI) permet que les quantités entreposées soient encore plus importantes si elles sont entreposées dans un local résistant au feu, avec des séparations coupe-feu ayant une résistance d'au moins deux heures, etc. En fait, le CNPI exige un tel local dédié dès qu'il est question de plus de 25 kg de gaz inflammables (Classe 2, division 1), de plus de 150 kg d'oxygène (Classe 2, division 2 et Classe 5, division 1) et de plus de 150 kg de gaz ininflammables et non toxiques (Classe 2, division 2). On peut aussi consulter NFPA 5000 à ce sujet.

Ces normes sont trop complexes pour qu'on les explique en détail ici, d'autant plus qu'elles sont révisées de temps à autre et qu'il peut aussi y avoir des règlements municipaux dont il faut tenir compte. Il est donc conseillé de consulter les autorités locales (service d'incendies) ou la CNESST pour savoir comment procéder.



Entreposer les bouteilles à la verticale, les enchaîner et séparer les bouteilles d'oxygène des gaz combustibles.

Sites d'entreposage séparés

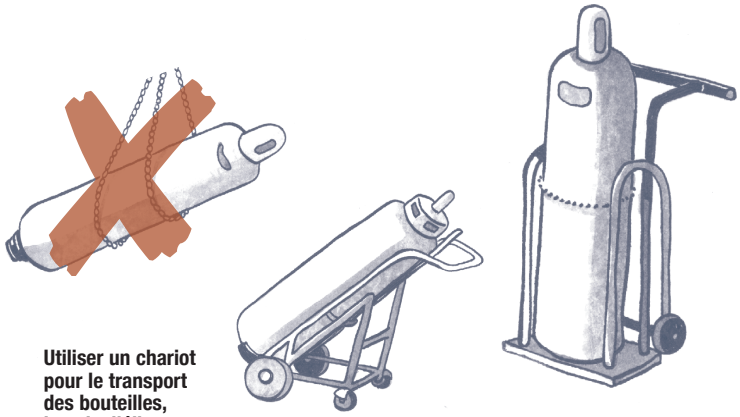
La réduction des risques d'incendie et d'explosion impose que l'on n'entrepose pas tout au même endroit. Le tableau ci-dessous présente les principes à respecter.

Quant aux gaz ininflammables non toxiques et non corrosifs, tels qu'argon, CO_2, hélium, azote, ils peuvent être entreposés avec des gaz inflammables ou des gaz oxydants puisqu'ils n'interagissent pas avec eux.

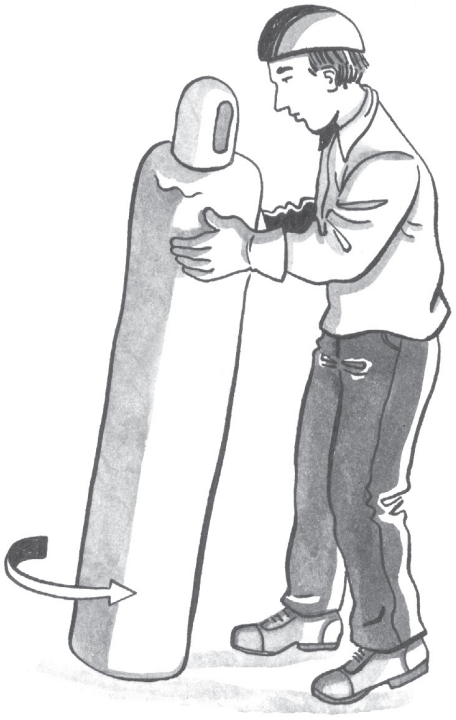
Il faut séparer	des	par	Références
À l'intérieur			
Bouteilles d'oxygène	Gaz combustibles	Une distance d'au moins 6 m (20 pi), ou un écran d'au moins 1,5 m (5 pi) de hauteur, conçu pour résister au feu au moins 30 min.	CSA B117.2-94, article 8.8.2.3
Bouteilles de gaz	Liquides ou matériaux inflammables ou combustibles (papier, bois, graisse, huile, etc.)	Une distance d'au moins 6 m (20 pi), ou un écran d'au moins 1,5 m (5 pi) de hauteur, conçu pour résister au feu au moins 30 min.	CSA B117.2-94, article 8.8.2.2
À l'extérieur			
Propane (toujours entreposé à l'extérieur)	Gaz combustibles ou oxydants	Une distance d'au moins 6 m (20 pi).	CSA B149.1-10, article 9.4.1

Manutention et transport

- Manipuler les bouteilles de gaz avec précaution.
- S'assurer que le robinet est fermé et que le chapeau de protection est bien en place avant de déplacer une bouteille.
- Ne pas soulever la bouteille par son chapeau de protection.
- Utiliser des chariots appropriés pour déplacer des bouteilles. Une fois qu'elles sont rendues à l'endroit voulu, il est permis de les pencher puis de les faire rouler sur leur base sur une très courte distance. Ne pas faire glisser ou traîner une bouteille sur le sol afin d'éviter d'en perdre le contrôle.
- Utiliser une nacelle ou une plate-forme pour transporter des bouteilles à la verticale. Les aimants et les élingues sont à proscrire, car ils ne sont pas conçus pour cet usage.
- Ne pas laisser tomber ni s'entrechoquer des bouteilles de gaz, surtout si elles contiennent de l'acétylène, car un choc pourrait endommager leur garniture poreuse et provoquer une décomposition soudaine de ce gaz.
- Placer les bouteilles debout et les attacher pour les transporter dans des véhicules. Leurs robinets doivent être fermés et leurs chapeaux de protection, en place.



Utiliser un chariot pour le transport des bouteilles, jamais d'élingues ni de chaînes.



Utiliser un chariot ou faire rouler une bouteille de gaz en position verticale sur sa base pour la déplacer sur une très courte distance.

Utilisation

On doit utiliser les bouteilles de gaz avec prudence. Voici les précautions d'usage à prendre.

Quantité de gaz

- Prévoir une quantité suffisante de gaz pour le travail à réaliser afin d'éviter tout retour du produit dans la tuyauterie d'un procédé oxygaz.

Pression d'utilisation

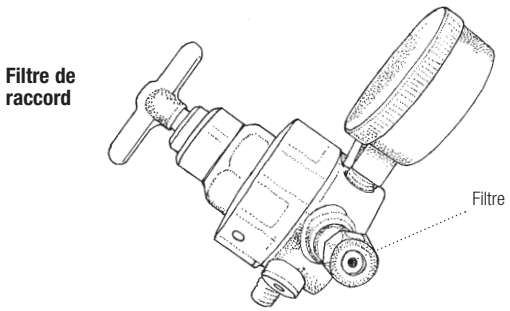
- La pression d'utilisation doit être réglée à une valeur inférieure au maximum recommandé par le fournisseur de gaz. Par exemple, pour l'acétylène, une pression d'utilisation au-dessus de celle qui est recommandée (15 psi) pourrait entraîner de l'acétone (sous forme de gouttelettes). Celle-ci pourrait transiter par les tuyaux et serait finalement évacuée par la buse du chalumeau, ou pourrait fuir d'un autre endroit. Au contact de l'air et en présence d'une source d'ignition, l'acétone pourrait brûler. Avec le temps, elle peut aussi assécher les tuyaux et les détériorer, les rendant plus susceptibles aux fuites.
- Dans le cas des gaz liquéfiés, un débit trop élevé peut provoquer le givrage du robinet et de l'orifice de sortie.

Manodétendeur

- Utiliser un manodétendeur propre (sans graisse), approprié au format de la bouteille et au type de gaz utilisé. Le filtre du raccord d'entrée doit être propre. Ce filtre protège le manodétendeur contre l'entrée de poussières provenant de la bouteille de gaz. Dans le cas où le filtre est souillé, il faut le faire remplacer par une compagnie spécialisée en la matière. Ce filtre n'apparaît pas sur tous les manodétendeurs.

Fixation

- S'assurer que la bouteille est fixée au mur à la verticale ou attachée dans un chariot conçu à cette fin.
- Tenir la bouteille de gaz suffisamment éloignée de la pièce à souder pour éviter une continuité électrique



et la placer hors d'atteinte des étincelles et des flammes. La bouteille doit toujours être aisément accessible pour qu'il puisse être facile de fermer le robinet en cas d'urgence.

Ouverture du robinet

- Effectuer une purge rapide du canal de sortie « déblocage » en ouvrant et en refermant rapidement le robinet des bouteilles de gaz incombustibles (ex. : argon, hélium, azote, bioxyde de carbone...). La même opération de purge, ou « déblocage », peut être effectuée pour l'oxygène afin de chasser la poussière et les saletés qui pourraient se trouver dans le robinet. Le soudeur doit éviter de se placer devant l'orifice de sortie du robinet. Ne jamais effectuer de « déblocage » sur les robinets des bouteilles de gaz combustibles.

Dégel

- Pour dégeler un robinet, il faut utiliser de l'eau chaude, mais non bouillante. Le robinet et le goulot de la bouteille comportent des rondelles qui peuvent fondre, même à une température aussi basse que 74 °C (165 °F). Ne jamais utiliser de flamme.

Acétylène et transport horizontal

- Attendre au moins une à deux heures avant d'utiliser une bouteille d'acétylène qui aurait été transportée à l'horizontale ou accidentellement entreposée dans cette position, car l'acétone (le solvant utilisé pour stabiliser l'acétylène qui reste normalement dans la partie poreuse de la bouteille) pourrait sortir en jet à l'ouverture du robinet. Étant donné qu'un poste de soudage peut contenir plusieurs sources d'allumage, il est facile d'imaginer que le liquide puisse être allumé accidentellement.

Inspection des tuyaux, des raccords et des manodétendeurs

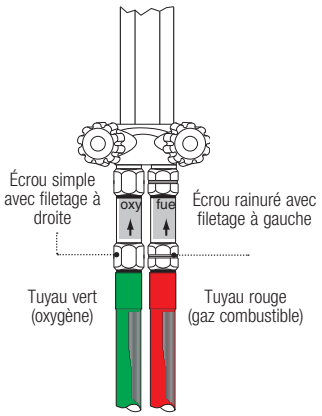
Chaque semaine, le travailleur devrait faire un examen visuel des tuyaux, des raccords et des manodétendeurs pour détecter toute défectuosité. Voici les points importants à vérifier :

Longueur et qualité des tuyaux

- L'emmêlement des tuyaux (tuyaux en spaghettis) peut réduire l'écoulement des gaz, ce qui risque de causer des claquements et des retours de flamme. Comme des tuyaux de qualité inférieure ont tendance à s'entremêler, toujours utiliser de bons tuyaux assez souples et éviter qu'ils ne s'emmêlent.
- Ne jamais utiliser des tuyaux plus longs que nécessaire.
- S'assurer d'utiliser le type de tuyau approprié. Le code de couleur réfère aux produits qui circulent dans le tuyau, alors que la classe du tuyau réfère à l'usage qui en est fait. Les tuyaux d'oxygène sont généralement verts et le raccord possède un filetage à droite. Les tuyaux de combustible sont rouges et le raccord possède un filetage à gauche. La rainure ou l'encoche placée sur l'écrou indique qu'il s'agit d'un filetage à gauche.
- S'assurer d'utiliser les tuyaux de la classe qui convient à l'usage qui en est fait. Le tableau suivant fait référence à la présence d'huiles ou de graisses dans le milieu de travail ainsi qu'au type de produit utilisé dans les tuyaux. Le choix d'une mauvaise classe de tuyau pourrait causer sa dégradation prématurée, ce qui pourrait provoquer des fissures.

Codes de couleurs des tuyaux (Amérique du Nord)	
Produit	**Couleur**
Oxygène	Vert
Acétylène, hydrogène, gaz de pétrole liquéfié et gaz naturel	Rouge
Gaz nobles, eau et air comprimé	Noir

Notes : Selon ISO, la couleur des tuyaux est bleue pour l'oxygène et orange pour les gaz de pétrole liquéfiés.



Raccords de tuyaux d'oxygène et de gaz combustibles

Classes de tuyaux	
Classe	**Usage**
R	• Pour utilisation avec l'acétylène seulement. • Convient au service plus léger où il n'est pas exposé aux étincelles de soudage, à de l'huile ou de la graisse susceptibles d'endommager le caoutchouc.
RM	• Pour utilisation avec l'acétylène seulement. • Convient au coupage et au soudage.
T	• Pour utilisation avec n'importe quel gaz combustible, dont l'acétylène. • Tuyau tout usage convenant aux ateliers qui utilisent plus d'un type de gaz combustible et pour tout chauffage.

Article 9.6.3 de la norme CSA-W117.2-06 – Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes

Notes : Les gaz de pétrole liquéfiés et leurs mélanges peuvent altérer certaines classes de tuyaux en détériorant les composés de caoutchouc et en réduisant leurs propriétés mécaniques, ce qui peut entraîner une défaillance. Les tuyaux de classe T sont conçus pour les gaz de pétrole liquéfiés.

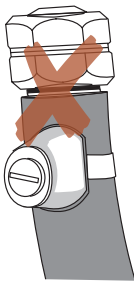
État des tuyaux

- Vérifier l'état des tuyaux avant de les utiliser. Rechercher tout signe de défectuosité : craquelures, fissures, séparation des couches de matériel ou tout autre indice d'usure. Si de tels signes sont apparents, il faut remplacer le tuyau.
- Remplacer immédiatement un tuyau qui fuit.
- Ne jamais réparer un tuyau qui fuit avec du ruban gommé, car celui-ci n'est pas assez étanche. Utiliser des raccords conçus spécialement pour les tuyaux oxygaz afin d'effectuer des réparations étanches.

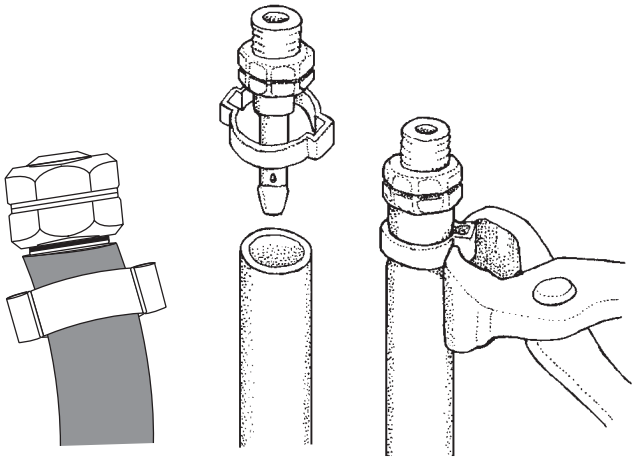
Colliers de serrage

- Utiliser des colliers de serrage appropriés aux procédés oxygaz. Ils s'installent directement sur le tuyau inséré sur l'équipement. Les colliers de serrage doivent être non réglables et non amovibles. Ils sont faciles à utiliser et ont moins tendance à fendiller les tuyaux de gaz. Des colliers de serrage inadéquats résistent mal aux fortes tensions, ce qui peut entraîner des fuites ou la rupture des raccords.
- Les colliers de serrage à vis (1) et à vis en spirale (4) ne sont pas permis, comme la figure l'indique. Les colliers sertis (2) et les ferrules (3) sont acceptés.

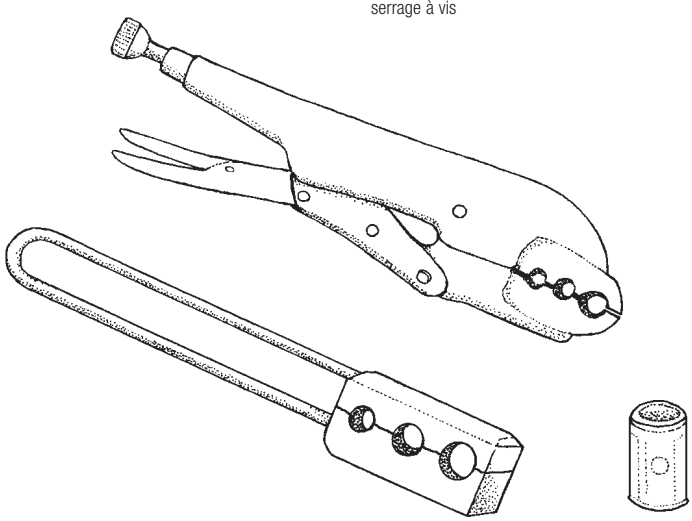
Divers colliers de serrage



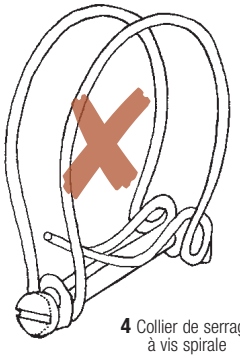
1 Collier de serrage à vis



2 Collier de serrage serti (ou à oreille)



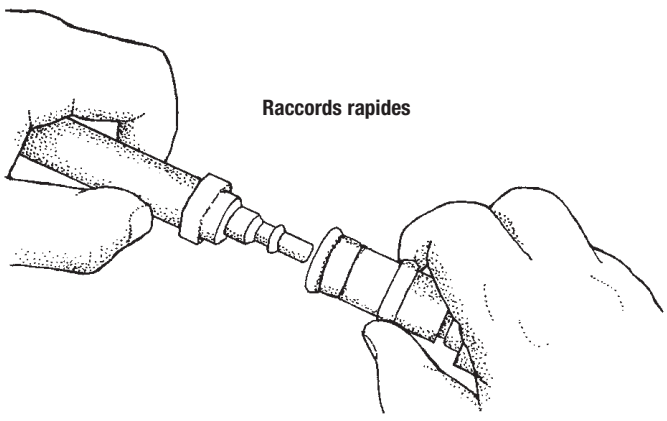
3 Ferrule



4 Collier de serrage à vis spirale

Raccords rapides

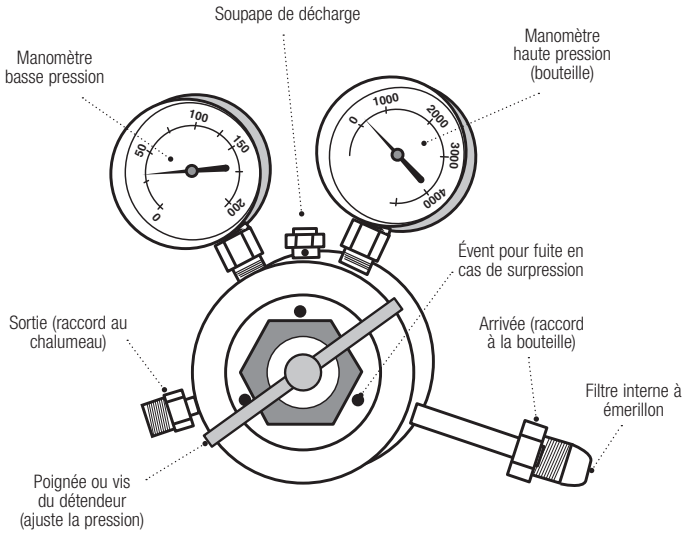
- Les raccords rapides sont conçus pour les procédés de soudage et de coupage en général. Leur fonction est de faciliter l'utilisation des gaz et non d'assurer une plus grande sécurité. Ils permettent des raccords rapides entre les tuyaux ou à la sortie d'un manodétendeur.
- Ces raccords permettent la fermeture automatique de l'alimentation du gaz lors du désaccouplement (raccord auto-obturant) ainsi que la présence d'un clapet antiretour de gaz et de flamme intégré au raccord rapide. Si un clapet de ce type est installé au raccord rapide, sur chacune des lignes, un deuxième ensemble installé à la torche n'est pas recommandé puisque la restriction que ces équipements imposent devient trop forte. La réglementation exige toutefois l'installation des clapets antiretour de gaz et de flamme à la torche tel que vu précédemment, il serait donc préférable d'avoir des raccords rapides sans clapet.
- Les raccords rapides ne peuvent pas être utilisés dans un espace clos. L'utilisation des raccords rapides est interdite dans les espaces clos en raison du risque de fuite ou de déconnexion accidentelle. En usine, en chantier ou ailleurs, ces raccords devront faire l'objet d'une recherche fréquente de fuites.



Raccords rapides

Manodétendeurs

- Inspecter les manodétendeurs pour déceler les filetages endommagés, la présence de poussières, de souillures, d'huile, de graisse ou de toute autre substance inflammable. Enlever la poussière et les souillures avec un linge propre. S'assurer également que le filtre interne est propre et bien en place (dans le cas où il y a un filtre). Une vérification annuelle devrait être effectuée par des personnes qualifiées pour s'assurer que le manodétendeur fonctionne conformément aux spécifications du fabricant.



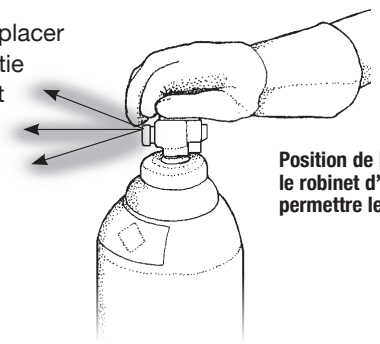
Composantes d'un manodétendeur

Installation des manodétendeurs et déblocage

- Fixer la bouteille au mur à la verticale ou l'attacher sur un chariot conçu à cette fin.
- S'il s'agit de gaz combustibles, nettoyer l'orifice du robinet avec un linge propre exempt d'huile et de peluches avant de monter un manodétendeur sur la bouteille.
- Faire une purge rapide du canal de sortie « déblocage » en ouvrant et en refermant rapidement le robinet de la bouteille d'un gaz incombustible (ex. : argon, hélium, azote, bioxyde de carbone...). La même opération de purge ou « déblocage » peut être effectuée pour l'oxygène. Cette action permet de chasser la poussière ou les saletés susceptibles de se trouver dans le robinet et ultimement d'éviter qu'elles se retrouvent dans le manodétendeur.
- L'hydrogène et les autres gaz combustibles ne doivent pas subir de « déblocage », pas plus que les mélanges de gaz qui incluent de l'hydrogène.
- Choisir le manodétendeur approprié au type de gaz et à la pression de la bouteille utilisée.
- Fixer le manodétendeur au robinet de la bouteille de gaz et serrer le raccord fermement avec une clé adéquate. L'utilisation d'une clé trop grande, de pinces ou d'une clé à tuyau peut endommager les raccords et empêcher qu'ils soient adéquatement serrés. De la poussière logée dans un raccord ou dans des filetages peut causer des fuites pendant l'utilisation de la bouteille de gaz.

Ouverture des bouteilles

- Avant d'ouvrir le robinet d'une bouteille de gaz, faire tourner la vis de réglage de la pression du manodétendeur dans le sens CONTRAIRE aux aiguilles d'une montre, jusqu'à ce que le diaphragme de réglage de la pression soit libéré et que la vis tourne librement.
- Toujours éviter de se placer devant l'orifice de sortie du robinet au moment de son ouverture.



Position de l'opérateur pour ouvrir le robinet d'une bouteille de gaz pour permettre le déblocage.

Procédure de fin de travaux

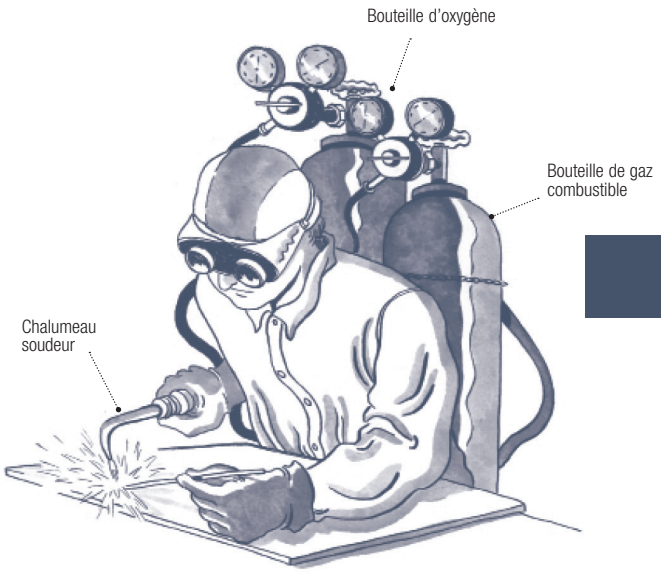
- Voir la procédure dans la section « Prévention des retours de gaz et de flamme (procédé oxygaz, page 61) ».

Purge des tuyaux

- Tous les robinets du chalumeau doivent être fermés. Ouvrir d'abord le robinet d'OXYGÈNE du chalumeau et tourner LENTEMENT le bouton ou la vis de réglage de la pression du manodétendeur d'oxygène. Cela doit être fait dans le sens des aiguilles d'une montre pour régler la pression de service désirée. Continuer à purger le tuyau d'oxygène pendant environ 10 secondes pour chaque 30 m (100 pi) de longueur, puis fermer le robinet du chalumeau.
- Ouvrir le robinet de GAZ COMBUSTIBLE du chalumeau et tourner LENTEMENT le bouton de réglage de la pression du manodétendeur d'acétylène dans le sens des aiguilles d'une montre. Cela permet de régler la pression d'utilisation désirée. Continuer à purger le tuyau d'acétylène pendant environ 10 secondes pour chaque 30 m (100 pi) de longueur. Fermer ensuite le robinet de gaz combustible du chalumeau.
- La purge du système doit toujours être faite dans un endroit bien ventilé, exempt de flammes et d'autres sources de chaleur.

Réglage des pressions d'utilisation

- Ouvrir le robinet d'OXYGÈNE du chalumeau et régler la pression de sortie au niveau approprié pour la taille et le type de buse utilisée. Refermer ensuite le robinet d'oxygène du chalumeau.
- Ouvrir le robinet de GAZ COMBUSTIBLE du chalumeau et régler la pression d'utilisation du gaz dans les limites prescrites (toujours selon la taille et le type de buse utilisée). Puis, refermer le robinet de gaz combustible du chalumeau.



Allumage du chalumeau

- Après avoir purgé le système, ouvrir le robinet du GAZ COMBUSTIBLE du chalumeau d'environ un huitième de tour et allumer le gaz avec un allumoir à frottement en évitant de pointer la flamme vers les cylindres ou vers des matières combustibles.
- Garder le robinet du GAZ COMBUSTIBLE ouvert jusqu'à l'élimination de la fumée et de la suie des flammes (spécifique à l'acétylène).
- Ouvrir lentement le robinet d'OXYGÈNE du chalumeau jusqu'à l'apparition d'une flamme neutre et brillante de forme conique.
- Augmenter l'ajustement de la flamme en ouvrant les robinets du chalumeau. Il ne faut jamais réduire le débit de gaz de la flamme, car cela peut faire surchauffer la tête de la buse, ce qui peut provoquer un retour de flamme.

Précautions particulières pour l'acétylène

- Il faut éviter d'entrechoquer les bouteilles de gaz, ce qui pourrait endommager la garniture poreuse et provoquer la décomposition soudaine du produit (risque d'explosion).
- L'acétylène doit être utilisé à une pression manométrique inférieure à 103 kPa ou 1 bar (15 psi ou 15 lb/po^2), sinon il pourrait se décomposer avec une force explosive en circulant dans de la tuyauterie.
- Il faut éviter le contact de l'acétylène avec certains alliages qui peuvent le faire réagir fortement (risque d'explosion). On doit utiliser des tuyaux, des raccords et des manomètres en laiton exempts de cuivre, d'argent ou de mercure, ces métaux forment avec l'acétylène un mélange qu'on nomme acétylure, susceptible de détoner sous l'effet d'un choc ou de la chaleur. Par exemple, un mini réseau construit en cuivre est incompatible avec l'acétylène.
- À partir de 56 °C, l'acétone se met à bouillir d'où une augmentation de la pression intérieure de la bouteille et un risque d'explosion.
- Il faut prêter une attention particulière au type de valve qui équipe une bouteille d'acétylène. Habituellement, il ne faut pas ouvrir le robinet à plus d'un tour complet, ce qui permet de refermer rapidement la bouteille en cas de besoin. Toutefois, certains fabricants vendent des bouteilles de gaz qui requièrent que le robinet soit complètement ouvert, puisqu'il est doté d'un dispositif d'étanchéité. Dans ce cas, le message sur la bouteille indiquerait « ATTENTION pour une utilisation sans danger, OUVRIR LE ROBINET AU MAXIMUM » ou encore « ATTENTION, à utiliser de manière sécuritaire - OUVRIR LE ROBINET AU MAXIMUM PUIS REFERMER D'UN QUART DE TOUR ». Dans tous les cas et surtout pour l'acétylène, il faut respecter les consignes inscrites sur la bouteille par le fabricant.

Précautions particulières pour l'oxygène

- Ne jamais substituer l'oxygène à l'air.
- Toujours l'appeler « oxygène ».
- NE pas l'utiliser dans des conduites d'air comprimé, avec des outils pneumatiques, pour chasser de la poussière, pour nettoyer des vêtements ou pour la ventilation. Le nettoyage de vêtements avec de l'oxygène peut les enflammer spontanément.
- NE pas graisser les robinets, vannes et manodétendeurs des bouteilles d'oxygène, car ils peuvent s'enflammer spontanément au contact de l'oxygène.
- Ouvrir le robinet d'une bouteille d'OXYGÈNE très lentement jusqu'à ce que la pression maximale soit atteinte sur le manomètre à haute pression du manodétendeur. Continuer à ouvrir le robinet complètement pour permettre l'étanchéité totale de son raccord. Si le robinet d'une bouteille de gaz (oxygène) est ouvert à fond trop rapidement, le manodétendeur peut s'enflammer. L'arrivée rapide de gaz sous haute pression dans le manodétendeur d'une bouteille d'oxygène recomprime l'oxygène dans ce dernier et le brûle à plusieurs milliers de degrés Fahrenheit.



Chapitre 4

Les risques d'électrisation

1 Notions de base
2 Effets sur la santé
3 Mesures de prévention

Les risques d'électrisation sont souvent pris à la légère en soudage et en coupage, ce qui ne devrait pourtant pas être le cas! Le soudeur qui touche le bout d'une électrode sous tension ne recevra généralement qu'un léger choc électrique sans conséquence. Toutefois, il peut y avoir danger de mort dans certaines circonstances, même si l'équipement de soudage à l'arc fonctionne à basse tension.

Les statistiques de la CNESST ne font pas ressortir toute l'importance de ce danger, car les données n'indiquent pas toujours les causes réelles des accidents. Par exemple, si un soudeur se blesse en tombant à la suite d'un choc électrique, les statistiques feront état d'une chute et non d'une électrisation.

1 Notions de base

Les procédés à l'arc électrique ou par résistance présentent des risques d'électrisation, notamment parce que le soudeur manipule un porte-électrode sous tension.

Une électrisation, même à une tension aussi faible que 80 volts, peut avoir des conséquences très graves. Tout dépend dans quelles conditions le choc électrique survient. En général, pour une tension donnée, plus la résistance électrique du corps humain est faible, plus le choc sera grave.

TENSION OU VOLTAGE (V)

La tension est la force électromotrice qui pousse les électrons à circuler.
Voici quelques synonymes de tension électrique : différence de potentiel, force électromotrice et voltage.

Son unité est le volt (V).

RÉSISTANCE (R)

La résistance permet d'évaluer la propriété conductrice des matériaux. Plus elle est faible, meilleure est la conductivité. Ainsi, le cuivre est reconnu comme étant un excellent conducteur puisqu'il a une faible résistance. L'eau étant conductrice, le corps du soudeur est un meilleur conducteur lorsqu'il est mouillé.

La résistance électrique du corps humain peut varier beaucoup selon la situation : mains mouillées ou humides, corps appuyé sur une structure métallique, environnement sec et non conducteur, etc. Elle peut s'échelonner de 750 Ω à plusieurs milliers d'ohms.

Son unité est le ohm (Ω).

COURANT (I)

Le courant désigne le nombre de charges qu'un circuit électrique débite chaque seconde. L'intensité du courant (ou ampérage) est symbolisé par I.

Son unité est l'ampère (A) :
1 A = 1 ampère = 1 000 milliampères = 1 000 mA

LOI D'OHM

La loi d'ohm exprime le lien entre la tension, le courant et la résistance. Elle se traduit dans la formule suivante :

V = R x I (voltage = résistance multipliée par le courant), ou encore I = V/R.

V : différence de potentiel, mesurée en volt (V)

R : résistance électrique du matériau, mesurée en ohm (Ω)

I : intensité du courant, mesurée en ampère (A)

Exemple illustrant la loi d'ohm, soit V = R x I.

Quel courant traverse le corps au moment d'un choc électrique ? Avec V=80 volts (tension à vide au porte-électrode)	
Situation no 1 : La personne ne porte pas de gants et a les deux pieds dans l'eau. (R = environ 750 ohms) V = R x I ou I = V / R I = 80 V / 750 Ω I = 0,11 A (soit 110 mA)	**Situation no 2 :** La personne porte des gants et se trouve dans un milieu sec. (R = environ 10 000 ohms) I = V / R I = 80 V / 10 000 Ω I = 0,008 (soit 8 mA)
Conséquence : L'intensité du courant est suffisante pour causer des lésions mortelles.	**Conséquence** : L'intensité du courant provoque un choc électrique sans conséquence.
Conclusion : L'intensité du courant, et donc la gravité des dommages, dépend essentiellement des conditions de l'environnement immédiat et des moyens de protection utilisés.	

Pour mieux comprendre les risques électriques, référez-vous au guide *Comprendre et prévenir les risques électriques*, qu'il est possible de télécharger de notre site internet (www.multiprevention.org).

Présence d'humidité

Le soudage dans un milieu humide, le port de vêtements imbibés de sueur ou la présence d'eau sur le plancher augmentent le risque d'électrisation en réduisant la résistance au passage du courant.

Travail sur une surface conductrice

Un plancher métallique, une cuve, un réservoir ou la structure métallique d'un bâtiment peuvent augmenter les risques d'électrisation, car les outils et les vêtements offrent très peu de résistance dans ces circonstances. Un exemple à ne pas suivre : monter sur une structure d'acier, sans moyen de protection, pour y souder une pièce.

Mise à la terre inadéquate

Un fil de mise à la terre endommagé, mal branché, ou un mauvais contact (résistance au point de connexion) réduisent la protection qu'une bonne mise à la terre procure.

Équipements mal entretenus

Un porte-électrode défectueux, un câble d'alimentation usé ou une gaine isolante endommagée augmentent le risque d'électrisation.

Méthode de travail non sécuritaire

Souder sans utiliser les moyens et les équipements de protection et d'isolation appropriés, ou ne pas relier adéquatement le câble de retour du courant peuvent constituer des risques supplémentaires. Attention : le câble de retour du courant n'est pas le câble de mise à la terre.

Méconnaissance du risque

Un manque de formation ou d'information à la suite de l'introduction d'une nouvelle méthode de travail ou d'un nouveau procédé, par exemple, constitue un risque très important.

Causes de l'électrisation

L'électrisation se produit quand le courant passe dans une partie du corps d'une personne. Les contacts avec un conducteur ou une pièce sous tension se classent en deux catégories :

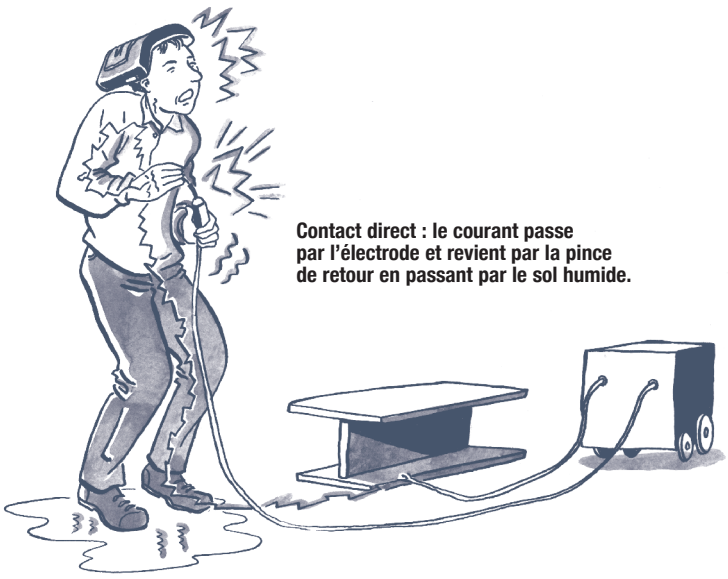
- les contacts directs
- les contacts indirects

Les contacts directs

Une partie du corps du soudeur entre en contact avec une pièce sous tension, par exemple une électrode ou un porte-électrode dont l'isolation est abîmée.

Dans le soudage à l'arc, la tension à vide du générateur se trouve au bout de l'électrode. Si le corps du travailleur entre en contact avec l'électrode, il est électrisé. Plus le soudeur est conducteur (pieds dans l'eau, contact avec une pièce mise à la terre, etc.), plus le choc qu'il subit risque d'être grave.

Le travailleur est ainsi exposé à la tension secondaire du poste de soudage.



Contact direct : le courant passe par l'électrode et revient par la pince de retour en passant par le sol humide.

••• Information

TENSION PRIMAIRE

C'est la tension de 120, 240, 347 ou 600 volts à la prise électrique ou directement dans la boîte électrique.

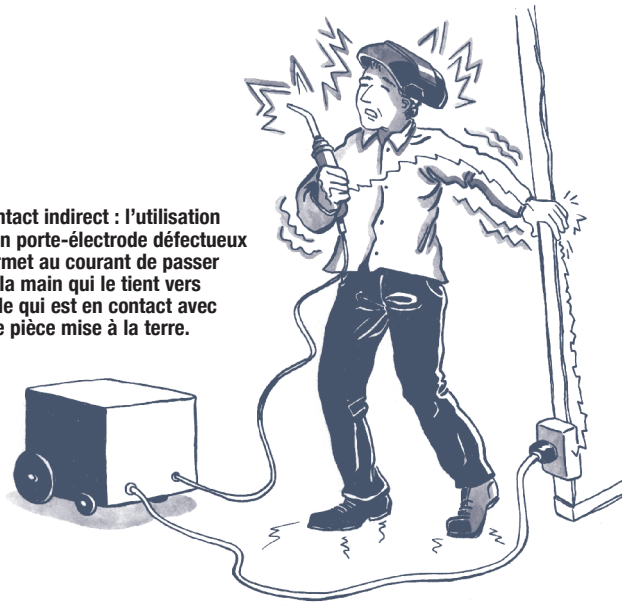
TENSION SECONDAIRE

Cette tension varie selon le moment. Quand le soudage n'est pas commencé, c'est la tension à vide, soit entre 80 et 100 volts. En cours de soudage, la tension secondaire se situe entre 20 et 40 volts.

Les contacts indirects

Le corps de la personne entre en contact avec une pièce métallique qui est anormalement sous tension.

Il arrive que certaines composantes métalliques d'un poste de soudage, telles que le boîtier, le capot ou le volant de manœuvre, soient accidentellement mises sous tension à cause d'un défaut de l'isolation des pièces. Ce défaut peut provenir d'un court-circuit, du relâchement d'un connecteur ou d'une gaine isolante abîmée. Selon les circonstances, le travailleur risque d'être exposé à la tension primaire, qui est beaucoup plus élevée que la tension secondaire.



Contact indirect : l'utilisation d'un porte-électrode défectueux permet au courant de passer de la main qui le tient vers celle qui est en contact avec une pièce mise à la terre.

2

Effets sur la santé

Effets ressentis

Les effets de l'électrisation peuvent varier d'un simple picotement à des brûlures graves, voire à la mort. De plus, le courant alternatif déclenche la contraction des muscles, ce qui explique que les victimes n'arrivent souvent pas à se dégager d'elles-mêmes de la pièce sous tension et s'y sentent « collées ». Si la contraction touche les muscles respiratoires, il y a risque d'asphyxie; si le cœur est atteint, il peut entrer en fibrillation ou même arrêter de battre.

Le courant qui circule dans les tissus humains y cause des dommages. Son intensité a donc un effet direct sur les perceptions de la victime et sur la gravité de ses blessures.

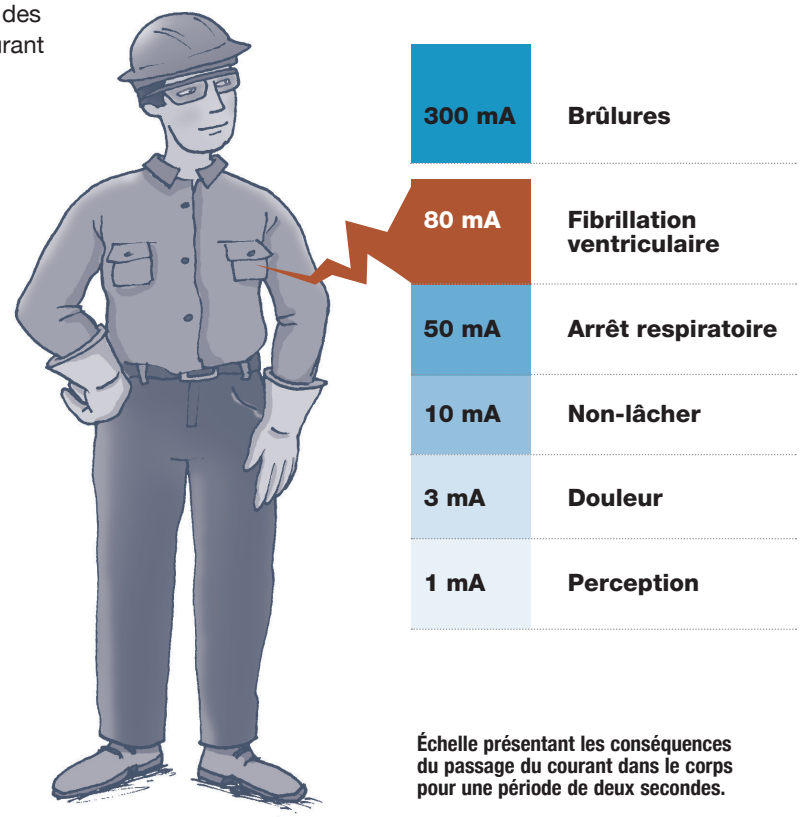
L'échelle ci-dessous donne un aperçu des effets ressentis selon l'intensité du courant au moment du choc, pour un passage d'une durée d'environ deux secondes.

••• Information

DIFFÉRENCE ENTRE ÉLECTROCUTION ET ÉLECTRISATION

Les deux termes décrivent les conséquences d'un choc électrique.

On parle d'électrocution lorsque le choc cause la mort et d'électrisation quand les blessures ne sont pas mortelles. On utilise plus fréquemment le terme électrisation, car une électrocution est toujours précédée d'une électrisation.



Échelle présentant les conséquences du passage du courant dans le corps pour une période de deux secondes.

Facteurs qui déterminent les effets

Intensité du courant

L'intensité du courant au moment de l'électrisation est sans contredit le facteur susceptible d'avoir le plus de conséquences.

L'intensité dépend de la résistance et de la différence de potentiel. Pour la même tension électrique, plus la résistance est faible, plus l'intensité du courant sera élevée.

Certains facteurs influencent la résistance au point de contact :

- la moiteur des mains;
- la conductibilité du sol;
- la nature, l'état et le degré d'humidité des vêtements, des chaussures et des gants de la personne.

Nature du contact

La gravité des blessures dépend également de la surface de contact du corps et de la pression exercée sur la composante sous tension.

Durée du passage du courant dans le corps

Plus le courant circule longtemps dans le corps, plus les dommages peuvent être graves.

Par exemple, le risque d'asphyxie et la fibrillation cardiaque augmentent avec la durée de l'électrisation. Cela est particulièrement le cas lorsque le phénomène de la contraction musculaire se manifeste et que la victime ne peut lâcher prise avec le point de contact. La durée de l'électrisation est alors critique et la gravité des blessures peut en dépendre.

●●● Information

QUE FAIRE ?

- Il ne faut jamais toucher à la victime.
- Si la victime d'une électrisation ne peut lâcher prise avec le point de contact, la première chose à faire est de repérer le sectionneur ou l'interrupteur du circuit électrique et de couper le courant.
- Si l'on ne repère pas rapidement la source d'alimentation électrique, on peut tenter de dégager la victime à l'aide d'un objet isolé ou non conducteur (par exemple, un bâton de bois ou de plastique).
- Dans tous les cas d'électrisation, la victime doit immédiatement être transportée à l'hôpital.

Trajet du courant dans le corps

Le courant passe toujours là où il trouve le moins de résistance. Lorsqu'il circule dans le corps humain, il tend généralement à passer par les veines et les artères, qui offrent moins de résistance que les muscles ou les os. S'il traverse le cœur, les conséquences peuvent être tragiques.

C'est la peau qui offre la plus grande barrière au passage du courant. La résistance interne du corps humain est d'environ 300 ohms (Ω).

Mesures de prévention

Éviter tout contact avec des bobines de fil sous tension

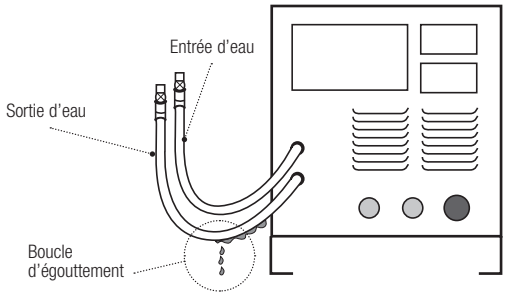
Dans le procédé de soudage automatique ou semi-automatique, il faut se rappeler que le courant qui circule dans le fil-électrode passe également dans la bobine de fil dès que l'arc électrique est amorcé.

Les dévidoirs, tels que les galets d'entraînement, les conduits, le guide-fil, les bobines et les porte-bobines, peuvent être sous tension même si l'arc n'est pas encore amorcé ou le fil non déroulé. L'opérateur est alors exposé à une pleine tension à vide (en général de 80 à 100 volts). Les risques sont réduits s'il ne peut pas entrer en contact avec les composantes ou si celles-ci sont isolées.

On trouve sur le marché des systèmes intégrés au poste de soudage qui annulent la mise sous tension. C'est-à-dire que la tension à vide est de zéro lorsque le poste de soudage est en fonction, mais que l'électrode n'a pas encore touché la pièce à souder. Dès qu'il y a contact entre la pièce et l'électrode de la poignée de soudage, une tension se crée.

Faire une boucle d'égouttement pour les pistolets refroidis à l'eau

Quand on utilise des pistolets refroidis à l'eau, il faut les inspecter attentivement, de même que l'équipement de soudage, pour y déceler les fuites d'eau. Il faut aussi faire particulièrement attention à la condensation provenant des conduites d'eau froide souples pour éviter tout contact avec l'équipement de soudage. On éliminera les risques en formant une boucle d'égouttement à une certaine distance de l'arrivée d'eau dans l'appareil de soudage.



Boucle d'égouttement pour empêcher l'eau de condensation de pénétrer dans le poste de soudage.



Ne jamais enrouler un câble de soudage autour de son corps

Il ne faut jamais se passer un câble de soudage autour de la taille, car si son isolation est endommagée, il y a un risque d'électrisation, en plus du risque de chute.

Retirer les électrodes lorsque l'équipement n'est pas sous tension

Dans le procédé SMAW, il faut s'assurer que l'électrode n'est pas sous tension avant de la retirer du porte-électrode.

Mettre l'équipement hors tension

Lorsqu'on n'utilise pas l'équipement, il faut le mettre hors tension pour éviter tout risque de choc électrique.

Vêtements appropriés, gants, etc.

Le port de gants de cuir à manchettes, d'un tablier de soudeur, des bottes avec semelles isolantes et d'un masque de soudeur augmente la résistance aux points de contact et réduit les risques de subir un choc électrique.

Bijoux

Lorsqu'il s'apprête à souder une pièce, le travailleur ne doit pas porter de bijoux, de clés et d'outils sur lui. Ces effets peuvent transmettre le courant ou devenir chauds. Par exemple, l'alliance qu'il porte au doigt pourrait lui causer une brûlure locale si elle entrait en contact avec une pièce sous tension. Le courant est plus élevé dans le bijou métallique parce que celui-ci offre peu de résistance. Plus son intensité est élevée, plus le courant dégage de la chaleur.

Support isolant

Il est préférable d'utiliser un support isolant pour y déposer le porte-électrode en toute sécurité. Le soudeur doit à tout prix éviter de déposer un porte-électrode sous tension sur une surface métallique, car l'électrode pourrait mettre sous tension la surface métallique et donner un choc électrique.

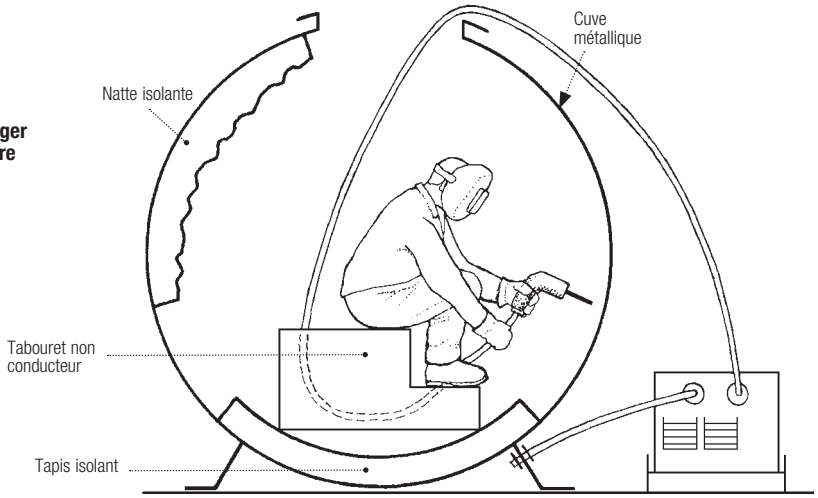
Vêtements secs

Le soudeur ou l'opérateur qui porte des vêtements humides ou dont la peau est mouillée doit éviter d'entrer en contact avec une pièce métallique sous tension, car l'humidité augmente le risque de choc électrique. Il est important qu'il s'assure que ses vêtements et ses gants sont bien secs.

Tapis isolant

L'utilisation d'un tapis isolant réduit le risque de choc électrique lorsque le soudeur doit travailler en contact avec des surfaces ou une structure métalliques, par exemple l'intérieur d'un réservoir.

Le tapis isolant peut également servir dans les espaces clos pour éviter tout contact avec la surface conductrice.

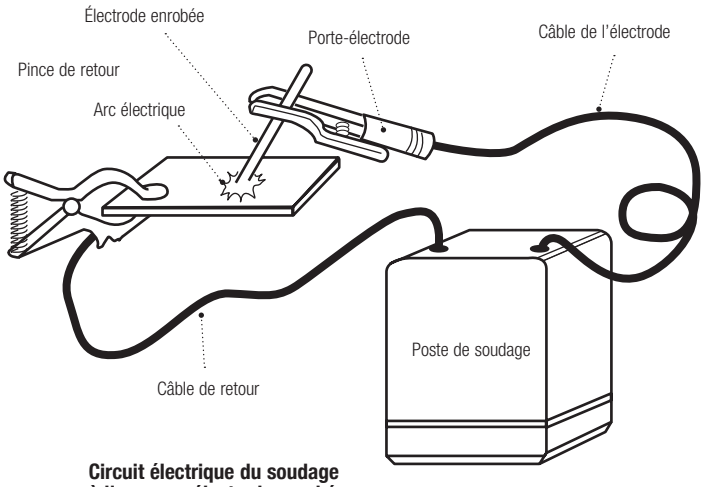


Tabouret et tapis isolants pour protéger le soudeur des éléments mis à la terre

Câble de retour

Dans les procédés de soudage électrique, le courant passe de la soudeuse au porte-électrode par un câble électrique. L'arc électrique traverse la pièce à souder et revient vers le poste de soudage par le câble de retour, qu'il ne faut pas confondre avec le câble de mise à la terre. Le câble de retour sert à fermer la boucle du circuit électrique du poste de soudage, alors que le fil de mise à la terre établit la continuité des masses entre la pièce soudée et le réseau de mise à la terre du bâtiment et de l'installation électrique.

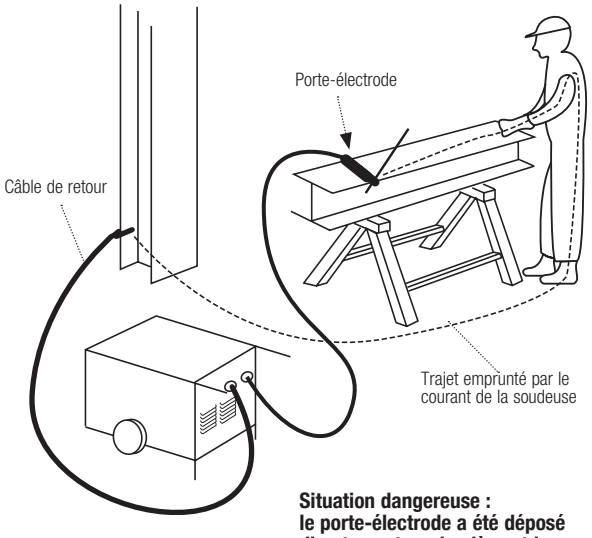
La surface du point de raccordement du câble doit être propre et la pince du câble de retour, solidement fixée. Certaines substances, comme la graisse, la calamine (l'oxyde produit à la surface des pièces métalliques par un traitement à haute température au contact de l'air) ou la peinture, peuvent en effet réduire la qualité du contact électrique. Si le contact est mauvais, le courant peut revenir à la source par divers chemins. Quand vient le temps d'enlever le câble de retour, il est recommandé de l'inspecter pour vérifier que le point de raccordement n'est pas endommagé.



Circuit électrique du soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW)

Il existe plusieurs brides de câble de retour, dont une bride en C, des pinces à ressort, des colliers de serrage spéciaux, etc. Il faut savoir que les pinces à ressort ont tendance à se détériorer avec le temps. Pour les gros travaux à 600 A ou plus, il est préférable d'utiliser des brides à visser à action positive. Peu importe la bride choisie, il faut s'assurer qu'elle est propre et installée selon les recommandations du fabricant.

De plus, si le câble de retour n'est pas fixé directement sur la pièce ou sur la table, le courant pourrait revenir par un autre chemin, notamment en passant dans le corps du soudeur.



Situation dangereuse : le porte-électrode a été déposé directement sur la pièce et le câble de retour n'est pas encore relié à celle-ci.

Courant de retour, éléments à éviter

Il ne faut jamais laisser le courant de retour passer par :

- des pipelines ou des canalisations servant au transport de gaz ou de liquides inflammables;
- des bouteilles de gaz comprimé;
- des grues, de l'équipement de levage, des chaînes, des câbles d'acier, des cages d'ascenseurs ou de monte-charges;
- des joints filetés, des brides, des assemblages boulonnés ou autres (leur résistance est trop forte).

Câbles d'alimentation

- Disposer les câbles d'alimentation de façon à éviter que l'équipement mobile (chariots élévateurs ou autres) les endommage. Un petit pont en bois placé au-dessus des câbles les protégera des équipements qui circulent à proximité.
- Éviter d'entreposer du matériel sur les câbles d'alimentation.
- S'assurer du bon état de la gaine isolante des fils à haute tension. Les gaines déchirées par frottement ou par échauffement peuvent accroître le risque de choc électrique. Changer les câbles qui sont en mauvais état.
- Éviter de déplacer l'équipement de soudage en tirant sur le câble d'alimentation. Toujours utiliser le bras de maniement du poste de soudage.
- S'assurer que le fil de mise à la terre est bien branché au poste de soudage et à la prise d'alimentation électrique.
- Utiliser des câbles d'alimentation et des câbles de retour de section adéquats. Le choix doit se faire en fonction du courant du soudage et du facteur de marche. Le tableau suivant (tiré de la norme CSA W117.2-06) précise la section du conducteur à utiliser selon le courant de soudage pour le soudage à l'arc avec un facteur de marche moyen.
- Chaque fois que l'on prévoit travailler à un facteur de marche de 100 %, on doit utiliser des câbles de soudage conformes au Code de construction du Québec, Chapitre V - Électricité.

••• Information

FACTEUR DE MARCHE (*DUTY CYCLE*) ET COURANT NOMINAL

Le facteur de marche désigne la durée réelle de l'arc par tranche de 10 minutes. On l'exprime en pourcentage. Par exemple, dans le cas d'un courant nominal (circuit secondaire) de soudage de 300 A, un facteur de marche de 60 % indique que, sur une durée de 10 minutes, le courant de 300 A circule réellement pendant six minutes, les quatre autres minutes constituant le temps de repos. On doit donc tenir compte du facteur de marche dans le choix du calibre du câble pour éviter la surchauffe et la détérioration prématurée de l'isolant, qui augmentent le risque d'électrisation.

Section des conducteurs de soudage à l'arc (AWG), en kcmil						
Courant de soudage	Longueur de câble (câble d'électrode plus câble de retour)					
	18 m	30 m	45 m	90 m	120 m	150 m
100 A	4	4	4	1	1/0	2/0
200 A	2	2	1	3/0	4/0	—
300 A	1	1	2/0	—	—	—

Tableau 4 de la norme CSA W117.2-06

Connexions électriques

Avant d'entreprendre des travaux de soudage, il est très important de vérifier tous les branchements électriques.

Avant de brancher ou de débrancher le câble d'alimentation, il faut toujours mettre le circuit hors tension, c'est-à-dire placer l'interrupteur du sectionneur à la position « Arrêt » (Off) pour qu'aucun courant ne circule et que la tension soit nulle. Quand l'interrupteur est à la position « Marche » (On), le circuit est sous tension.

Il faut toujours se placer sur le côté du panneau électrique, et non en face, avant de mettre un circuit sous tension ou hors tension. Par exemple, si l'interrupteur se trouve à droite sur le panneau du sectionneur, il faut se tenir à la droite de ce panneau et manipuler l'interrupteur avec la main gauche pour réduire les risques de blessures si une déflagration se produisait sous l'effet d'un court-circuit.

Mise à la terre

Lorsque l'appareil de soudage est défectueux et qu'il y a un défaut dans l'isolation des composantes sous tension, les pièces métalliques du dispositif (le boîtier, entre autres) pourraient être soumises à un certain potentiel électrique. Si tel est le cas, un courant pourrait circuler à travers la mise à la terre. Il s'agit alors d'un courant de fuite. Si la mise à la terre est adéquate (résistance électrique presque nulle), le courant de fuite devrait alors s'intensifier rapidement et provoquer le déclenchement des dispositifs de protection contre les surintensités (fusibles et disjoncteurs).

L'appareil de soudage, de même que le panneau de contrôle, doivent être mis à la terre correctement.

C'est pourquoi la fiche de l'appareil doit comporter une broche de mise à la terre. En plus d'assurer la mise à la terre de l'appareil, cette broche évite tout risque d'inversion des conducteurs actifs (mauvaise polarité).

Mise à la terre des postes de soudage portatifs

Un poste de soudage portatif est souvent alimenté par une génératrice qui permet d'offrir des prises de courant auxiliaires. La mise à la terre est alors plus problématique et peut exiger des mesures particulières, comme l'utilisation de disjoncteurs différentiels ou l'ajout d'un câble assurant la continuité des masses. Pour plus de détails, on se référera à l'article 320 du RSST et à la norme CSA W117.2-06.

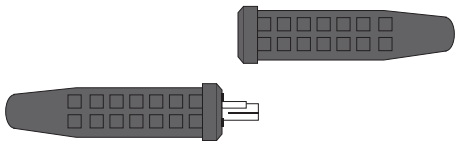
Mise à la terre de la pièce à souder

Pour certaines applications spécifiques, comme un procédé à haute fréquence pour couper ou souder, il est souhaitable que la pièce à travailler soit mise à la terre. Cela peut se faire en plaçant la pièce sur une table métallique mise à la terre. Toutefois, dans tous les cas, il est préférable de consulter le manuel d'instructions ou de communiquer directement avec le fabricant pour connaître les exigences relatives à la mise à la terre de la pièce à souder. Le besoin peut varier selon les divers modèles de postes de soudage.

Connecteurs

S'il faut ajouter des rallonges aux câbles de soudage, il est préférable d'utiliser des connecteurs isolés, de type Cam-lock, Joy ou l'équivalent. Le mieux est d'utiliser des câbles souples aussi courts que possible.

Les connecteurs isolés facilitent l'enlèvement des sections de câbles qui ne sont plus nécessaires et conservent l'intensité requise dans tout le câble. Des connecteurs bien installés réduisent les risques d'échauffement, d'étincelles et de choc électrique.



Connecteurs isolés, fiches mâle et femelle

Stimulateur cardiaque

Un choc électrique, même de faible intensité, peut déstabiliser une prothèse électronique. De plus, certains procédés de soudage peuvent causer un champ magnétique qui peut également agir sur les stimulateurs cardiaques (pacemakers). C'est pourquoi les personnes qui portent un stimulateur cardiaque ou une autre prothèse électronique vitale devraient s'adresser à leur médecin ou au fabricant de la prothèse pour vérifier les risques auxquels elles s'exposent avant de tenter d'appliquer tout procédé utilisant l'électricité.

Tension à vide

La tension à vide ou tension en circuit ouvert est la tension au porte-électrode avant l'amorce de l'arc électrique, c'est-à-dire au moment où aucun courant ne circule dans l'appareil.

Pour diminuer les risques d'électrisation, la tension à vide de certains procédés est réglementée. Il s'agit des procédés GMAW, FCAW, SMAW et GTAW. Tous les postes de soudage semi-automatique et manuel requièrent une tension à vide de 80 à 100 V pour amorcer l'arc électrique. Une fois celui-ci amorcé, la tension de soudage est réduite pour atteindre de 12 à 40 volts, ce qui est suffisant pour maintenir l'arc électrique en fonction. Dans le cas du procédé de coupage au plasma, les niveaux de tension à vide peuvent être jusqu'à 10 fois plus élevés que ceux qu'exige le soudage à l'arc.

La tension à vide maximale est située à 80 V pour le courant alternatif à un poste manuel et à 100 V à un poste semi-automatique. En ce qui concerne le courant continu, elle est de 100 V pour un poste manuel ou semi-automatique. Dans le cas de certains autres procédés, on remarque une tension à vide plus faible, soit de l'ordre de 38 V. Évidemment, plus la tension à vide est faible, plus les risques d'électrisation sont réduits.

Système de protection

On trouve maintenant sur le marché des systèmes intégrés au poste de soudage qui coupent la mise sous tension. C'est-à-dire que la tension à vide est de zéro lorsque le poste de soudage est en fonction, mais que l'électrode n'a pas encore touché la pièce à souder. Dès qu'il y a contact, la tension s'élève de 80 à 100 V pour amorcer l'arc et redescend jusqu'à 12 à 40 V durant le soudage, selon l'équipement.



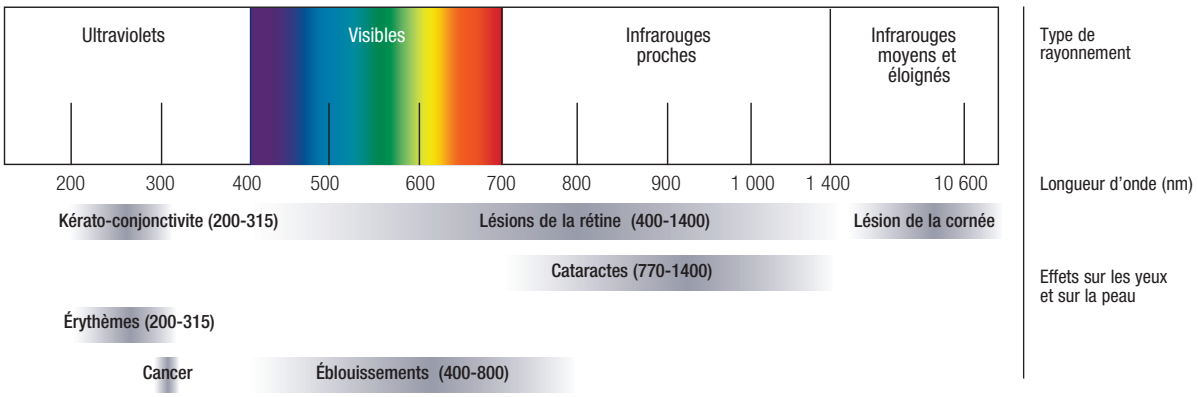
Chapitre 5

Les risques pour la peau et les yeux

1 Rayonnement
2 Mesures de prévention

1 Rayonnement

En soudage et en coupage, les principaux risques pour la peau et les yeux proviennent de l'émission de rayonnements, de la projection d'étincelles et de particules ainsi que du maniement de l'électrode. Ces risques sont traités séparément ici, et ce chapitre accorde une place prépondérante aux rayonnements en raison de la complexité du phénomène et de la gravité des risques. Dans les procédés de soudage et de coupage, la fusion du métal nécessite une importante concentration d'énergie, dont une partie se dissipe sous forme de rayonnements. Ceux-ci sont caractérisés par leur longueur d'onde qui s'exprime en nanomètres (nm) et qui détermine la nature des effets sur la santé. Les procédés à l'arc électrique produisent des rayonnements ultraviolets, visibles et infrarouges.



Effets du rayonnement sur les yeux et sur la peau selon les longueurs d'ondes

Rayonnements émis selon le procédé

Le type de procédé, l'intensité du courant, le gaz de protection et le plasma sont tous des facteurs qui influencent l'intensité du rayonnement émis.

Type de procédé

Les procédés électriques, tels que le soudage à l'arc sous gaz protecteur avec fil plein (GMAW), le soudage à l'arc avec fil fourré (FCAW), le coupage à l'arc au plasma (PAC), le soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène (GTAW), le coupage à l'arc avec électrode de carbone (AAC) et le coupage à l'arc au plasma (PAC), produisent tous des rayonnements infrarouges, visibles et ultraviolets, dont l'intensité peut varier selon la technique et ses caractéristiques inhérentes.

Le procédé oxygaz émet du rayonnement même s'il ne produit pas d'arc électrique. Par contre, il en émet beaucoup moins que les procédés électriques.

Le procédé à l'arc électrique submergé (SAW), ainsi que le soudage par résistance, émettent peu de rayonnements, de telle sorte que le port de lunettes de sécurité suffisent habituellement pour s'en protéger.

Intensité du courant

Plus l'intensité du courant augmente, plus l'intensité du rayonnement est importante.

Gaz de protection

Le gaz de protection a aussi une très grande influence sur la production du rayonnement, surtout l'ultraviolet. L'intensité du rayonnement UV est plus faible avec un gaz de protection unique, tel que l'argon (Ar), l'hélium (He) ou l'azote (N_2).

Le rayonnement UV semble plus intense avec un mélange de gaz de protection, tels que argon-hélium (Ar-He), argon-hydrogène (Ar-H_2), dioxyde de carbone-oxygène (CO_2-O_2), etc.

Plasma

La composition du plasma, dans les procédés à l'arc électrique, est un autre facteur important à considérer dans la production de rayonnements. Le plasma (gaz ionisé) se produit près du point de soudage sous l'effet intense de l'arc électrique qui s'établit entre l'électrode et le métal à souder et peut atteindre des dizaines de milliers de degrés. Le métal de base, le flux et les gaz de protection se retrouvent dans le plasma. Le béryllium, le mercure, le cadmium, le zinc, le magnésium et l'aluminium accroissent la production d'ultraviolets lorsqu'ils y sont présents, tandis que le carbone en produit moins.

Surfaces réfléchissantes

Les rayonnements, même ceux qui ne sont pas visibles (ultraviolets et infrarouges), peuvent être réfléchis, comme la lumière visible à la surface d'un miroir, et contribuer ainsi au risque pour les personnes qui se trouvent à proximité des soudeurs. C'est notamment ce qui se produit quand on soude sur l'aluminium et l'acier inoxydable avec les procédés GMAW, GTAW, etc. Même les planchers de béton non peint peuvent aussi réfléchir le rayonnement. C'est pourquoi une peinture pâle à base de pigments d'oxyde de zinc ou d'oxyde de titane contribue à diminuer le risque en réduisant les réflexions.

Rayons ultraviolets

Provenance et caractéristiques

La Commission internationale de l'éclairage (CIE) subdivise les rayons ultraviolets (souvent appelés UV) en UV-A (de 315 à 400 nm), UV-B (de 280 à 315 nm) et UV-C (100 à 280 nm). Ils sont émis par l'arc électrique et sont importants dans les procédés GMAW, AAC, AAG, GTAW, SMAW, PAW et PAC.

L'intensité du rayonnement varie selon le procédé et plusieurs autres facteurs, dont la nature du gaz de protection. Essentiellement, le rayonnement augmente fortement avec l'intensité du courant utilisé.

Les UV peuvent être réfléchis à la surface de certains métaux, comme l'aluminium et l'acier inoxydable, mais aussi, à un degré moindre, par un plancher de béton, un mur ou un plafond non peint. La réflexion peut ainsi accroître l'exposition, et donc le risque.

Effets sur la peau

Les effets cutanés dépendent beaucoup de la longueur d'onde du rayonnement, de la durée d'exposition et de la pigmentation de la peau.

- Érythèmes
  L'érythème est l'effet le plus commun d'une surexposition aux UV, il peut aller, comme le coup de soleil, d'une simple rougeur à une brûlure plus sévère. L'exposition aux UV provoque aussi une augmentation de la pigmentation de la peau (le bronzage), un mécanisme naturel de protection qui rend la peau moins vulnérable aux coups de soleil.
- Cancer
  L'exposition aux UV-B, qu'ils proviennent d'une source naturelle comme le soleil ou d'une source artificielle, accélère le vieillissement de la peau et accroît le risque de contracter le cancer de la peau. Le bronzage n'aurait pas d'effet protecteur contre le risque de cancer.
- Photosensibilisation
  Certains médicaments (certains antibiotiques, certains médicaments utilisés contre l'hypertension, certains tranquillisants de la classe des thiazines) auraient la propriété d'accroître la sensibilité de la peau aux UV, augmentant ainsi les risques. Au besoin, parlez-en à votre médecin ou à votre pharmacien si vous devez prendre ces types de médicaments.

Effets sur les yeux

- Kérato-conjonctivite
  Le coup d'arc (ou flash du soudeur) est une lésion photochimique de la cornée et de la conjonctive (les membranes externes de l'oeil), aussi appelée photokératite ou encore kérato-conjonctivite et causée par l'exposition aux UV. La cornée est particulièrement sensible aux UV entre 200 et 315 nm.

  Une exposition de quelques secondes peut suffire à provoquer un coup d'arc. Il n'est pas nécessaire de regarder directement l'arc pour être atteint, il suffit que les UV atteignent l'œil, même de côté. Les symptômes peuvent apparaître de 6 à 12 heures après l'exposition. La victime éprouve la sensation douloureuse d'avoir du sable dans les yeux. Le coup d'arc guérit spontanément dans les 24 à 48 heures. Le bandage des yeux soulage en atténuant les symptômes.
- Cataracte
  Les longueurs d'onde autour de 295 nm traversent la cornée et sont presque entièrement absorbées par le cristallin où l'on craint qu'elles puissent créer à la longue une opacification du cristallin (cataracte), bien que cet effet n'ait pas été clairement démontré chez les soudeurs.

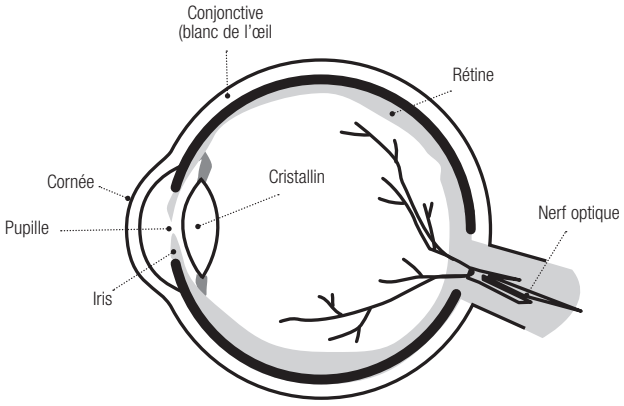


Schéma de l'œil

●●● Information

RAYONS-X ET RAYONS GAMMA

On utilise souvent, dans l'environnement du soudeur, des procédés de radiographie industrielle afin de vérifier la qualité des soudures. Il s'agit de radiations ionisantes, qui peuvent notamment accroître le risque de cancers, qui commandent des mesures de sécurité très strictes. On en apprendra plus en consultant la norme ANSI N43.3 «Installations using non-medical X-ray and sealed gamma-ray sources». CSA W117.2-94 mentionne également certaines précautions à prendre. On peut aussi s'adresser à la Commission canadienne de sûreté nucléaire.

Lumière visible

Provenance et caractéristiques

Les rayonnements visibles proviennent de l'arc électrique et ont des longueurs d'ondes de 400 à 700 nm; c'est la lumière que l'on voit. Le métal en fusion (bain de fusion) et le matériel incandescent émet également de la lumière visible

Effets sur la peau

Les effets sur la peau de la lumière visible sont très rares.

Effets sur les yeux

L'iris a pour fonction de régler la quantité de lumière qui pénètre dans l'oeil et atteint la rétine. Si la lumière visible est très vive, l'iris peut ne pas être suffisamment rapide ou capable de limiter la quantité de lumière à un niveau confortable. C'est ce qu'on appelle l'éblouissement. L'éblouissement peut, dans des cas extrêmes, blesser la rétine de manière temporaire, ce sont les taches lumineuses qui gênent la vision, ou encore permanente, comme dans le cas de ceux qui regardent le soleil directement lors d'une éclipse.

Rayons infrarouges

Provenance et caractéristiques

Les rayonnements infrarouges proviennent surtout du métal en fusion et de l'arc électrique. Ils ont des longueurs d'ondes de plus de 700 nm et sont émis en bonne quantité par les procédés GMAW, GTAW, PAW et PAC. L'énergie des rayonnements dans l'infrarouge éloignés sont ressentis comme étant de la chaleur. La chaleur du soleil ou d'un radiateur est transmise par les infrarouges (chaleur radiante).

Effets sur la peau

Les effets sur la peau des rayonnements infrarouges sont très rares, sauf dans le cas des lasers.

Effets sur les yeux

Les infrarouges qui pénètrent dans l'oeil peuvent dénaturer le cristallin et le rendre progressivement plus opaque, c'est la cataracte. Il semble qu'une distance de 7 pieds de la source est suffisante pour protéger de ce risque.

Distances de sécurité selon les procédés

L'American Conference of Industrial Hygienists (ACGIH) a évalué les distances à partir desquelles le rayonnement est jugé non dangereux, en fonction de la durée d'exposition, du procédé, du métal de base et du courant.

Il est important de savoir que l'exposition au rayonnement UV est cumulative à l'intérieur d'une période de 24 heures. Par exemple, deux expositions de cinq minutes pendant une journée de travail peuvent être considérées comme étant une seule exposition de 10 minutes.

Distances minimales approximatives pour des procédés de soudage et de coupage auxquelles l'exposition de la peau et des yeux aux rayons ultraviolets se trouve sous la norme recommandée par l'ACGIH pour différentes durées

Procédé	Métal de base	Gaz de protection	Courant de l'arc (ampères)	Distance en mètres pour 1 minute	Distance en mètres pour 10 minutes	Distance en mètres pour 8 heures
SMAW	Acier doux	Aucun	100-200	3,2	10	71
FCAW	Acier doux	CO_2	175	1,1	3,6	25
			350	2,3	7,3	51
GMAW	Acier doux	CO_2	90	0,95	3,0	21
			200	2,2	7,0	48
			350	4,0	13	87
GMAW	Acier doux	95 % Ar + 5 % O_2	150	2,9	9,3	65
			350	6,7	21	150
GMAW	Al	Ar	150	3,2	10	70
			300	5,0	16	110
GMAW	Al	He	150	1,6	5,0	34
			300	3,2	10	69
GTAW	Acier doux	Ar	50	0,32	1,0	6,9
			150	0,90	2,8	20
			300	1,7	5,5	38
GTAW	Acier doux	He	250	3,0	9,5	66
GTAW	Al	Ar	50	0,32	1,0	6,9
			150	0,85	2,7	19
			250	1,6	5,0	35
GTAW	Al	He	150	0,94	3,0	21
PAW	Acier doux	Ar 85 % Ar + 15 % H_2 He	200-260	1,5	4,9	34
			100-275	1,7	5,5	38
			100	3,0	9,4	65
PAC (air)	Acier doux	65 % Ar + 35 % H_2	400	1,4	4,4	31
			1000	2,4	7,5	52
PAC (eau)	Acier doux	N_2	300	3,3	10	72
			750	1,7	5,5	38

Source : Terry L. Lyon. 'Knowing the dangers of actinic ultraviolet emissions', Welding Journal, décembre 2002

Les distances sont approximatives. Pour obtenir leur valeur en pieds, il s'agit de les multiplier par 3,3. S'ils se trouvent à l'intérieur des distances indiquées dans le tableau précédent, le personnel et les soudeurs devront se protéger adéquatement. Nous verrons les types de protections appropriées dans la section 2 de ce chapitre.

Brûlures

Le soudage et le coupage occasionnent la formation d'étincelles et de gouttelettes de métal en fusion qui peuvent atteindre des températures de quelques milliers de degrés. Ces étincelles et le métal en fusion peuvent provoquer des incendies, mais aussi atteindre la peau non protégée et la brûler. Les pièces fraîchement soudées sont très chaudes et peuvent brûler la peau par contact ou provoquer chez le soudeur des gestes brusques qui peuvent être dangereux.

Piqûres

Avec le procédé TIG (GTAW), le soudeur utilise une électrode de tungstène très pointue qui présente un haut risque de piqûre. Ce genre d'accident survient généralement lorsque le travailleur porte le faisceau du pistolet sur son épaule. S'il échappe le pistolet, ce dernier balance comme un pendule et peut le heurter aux jambes. La main est l'autre partie du corps souvent atteinte par les piqûres.

Projection de particules

De nombreuses blessures attribuables à la projection de particules surviennent durant des opérations connexes au soudage. Lorsque le soudeur brise le laitier solidifié sur une soudure avec un outil pneumatique à impact ou avec un marteau, des particules sont projetées dans toutes les directions.

D'autre part, le soudeur doit fréquemment utiliser une meuleuse portative pour faire des travaux de préparation et de finition. Les particules projetées durant le meulage sont très chaudes. Elles peuvent parcourir de grandes distances et même dévier de façon imprévisible sur des obstacles.

••• Information

STATISTIQUES CNESST

Les blessures aux yeux comptent pour plus de 27 % de toutes les lésions chez les soudeurs et les oxycoupeurs. Les principales causes sont la projection de particules et les coups d'arc.

LENTILLES CORNÉENNES

La norme CSA W117.2-06 indique que les soudeurs et autres travailleurs concernés par les activités de soudage ne devraient pas porter de lentilles cornéennes, car elles pourraient leur causer de graves irritations aux yeux en raison de la présence d'impuretés dans leur environnement de travail. Toutefois, l'American Welding Society (AWS), la Société canadienne d'ophtalmologie et l'Institut national de recherche scientifique (INRS) considèrent que le port de lentilles cornéennes ne présente pas de risque particulier pour les soudeurs.

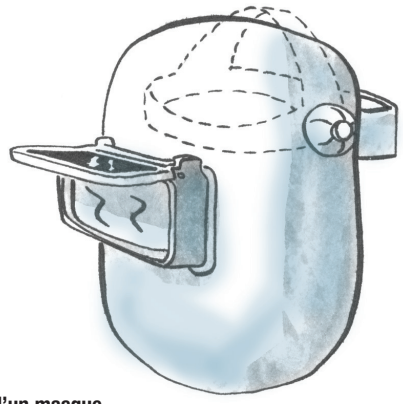
Cependant, le port de lentilles cornéennes est à éviter lorsqu'on utilise certains produits chimiques, tels que :

- les produits pétroliers, par exemple : acétone, essence, solvant stoddard, térébenthine, varsol…
- les acides, par exemple : acide nitrique, batterie d'automobile, chlore…
- les alcalis (les bases, pH de 8 à 14), par exemple : ammoniac, chaux…

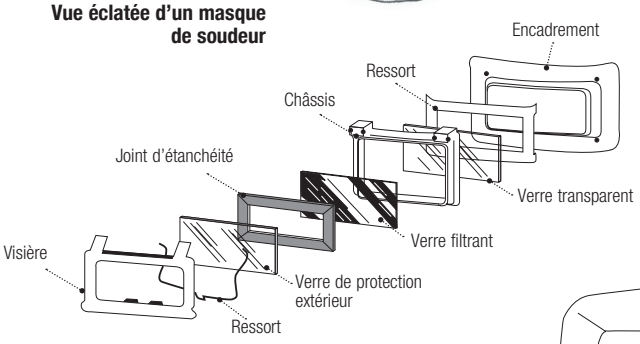
Mesures de prévention

On peut se protéger des rayons infrarouges, visibles et ultraviolets en observant les règles de sécurité minimales suivantes :

- Porter un masque ou des lunettes équipées d'un filtre adapté au procédé. Pour choisir la bonne teinte de filtre, référez-vous au tableau de la page 94 de ce chapitre.
- Porter des lunettes de sécurité munies d'écrans latéraux sous le masque de soudeur. Le verre filtre une grande partie des UVB, mais très peu des UVA. C'est pourquoi les lunettes de sécurité en polycarbonate sont un meilleur choix. Le personnel qui travaille près des postes de soudage devrait aussi porter des lunettes de sécurité.
- Porter des vêtements à manches longues.
- Fermer le dernier bouton de la chemise pour réduire l'exposition de la peau aux rayonnements.
- Rabattre un tissu sur le cou du soudeur, à partir de son masque, pour le protéger des rayonnements (très utilisé pour le soudage sur l'aluminium, l'acier inoxydable ou tout autre métal très réfléchissant). Porter de la crème offrant un facteur de protection solaire (FPS) minimal de 15 sur la peau du cou, si elle ne peut être protégée autrement.
- Proscrire les vêtements synthétiques, car ils peuvent laisser passer les rayons ultraviolets. De plus, ils brûlent facilement.
- Protéger les travailleurs avoisinants à l'aide d'écrans appropriés.
- Peindre les surfaces réfléchissantes, telles que les murs ou les planchers de béton. Même une couleur pâle contenant des pigments d'oxyde de zinc et d'oxyde de titane peut être efficace pour absorber les rayons UV.

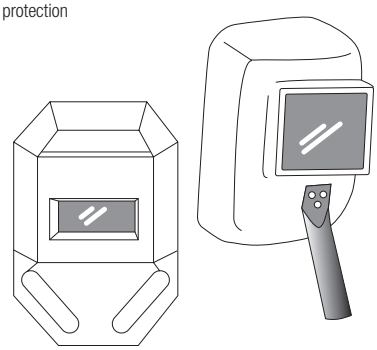


Vue éclatée d'un masque de soudeur



Masques

La majorité des procédés de soudage, à l'exception du procédé à l'arc submergé et du soudage par résistance, requièrent la protection de verres filtrants appropriés au procédé (voir le tableau de la page 94).



Masques à main

Masque avec serre-tête

On peut changer le verre filtrant de ce type de masque selon les besoins.

Masque à main

Ce masque est semblable au modèle classique, sauf qu'il nécessite l'utilisation d'une main, puisqu'il n'est pas supporté par la tête. Il est surtout utilisé par les observateurs, ou par le soudeur qui doit faire des travaux de très courte durée.

Masque électronique

Le masque électronique est muni d'un filtre photosensible ayant la propriété de changer son degré d'obscurcissement lorsque l'arc de soudage est amorcé. La visière renferme des cristaux liquides qui changent de phase et s'obscurcissent lorsqu'ils sont stimulés par l'intensité de l'arc.

Avantages

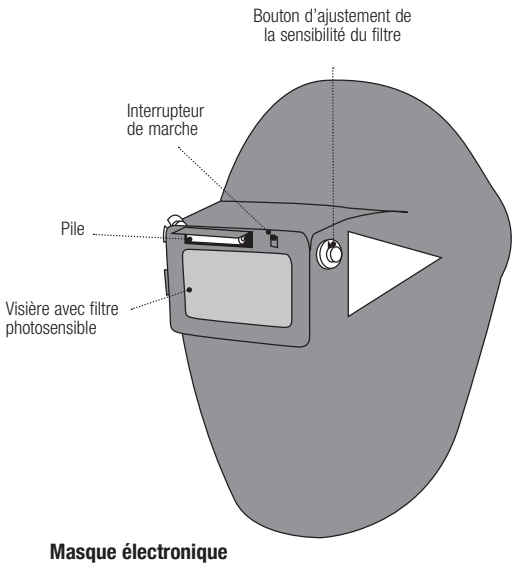
Le soudeur peut ainsi abaisser son masque lorsqu'il positionne la pièce avant de la souder, car il voit très bien à travers la visière non obscurcie. De cette façon, il évite de faire des mouvements répétés de la tête pour abaisser son masque, car la visière se noircit en moins de 1/100e de seconde (la rapidité peut aller jusqu'à 1/25 000e de seconde). Ce masque est particulièrement recommandé pour des travaux d'assemblage ou de prémontage de structures.

Degrés de protection

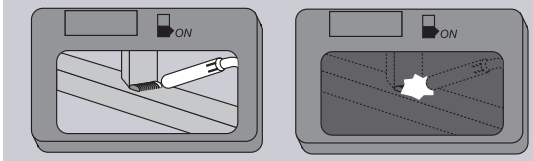
Lorsque le masque est hors tension (interrupteur désactivé ou piles à plat), il offre une protection de base équivalente à celle du filtre numéro 8; il filtre ainsi une bonne partie des rayonnements ultraviolets et infrarouges. Lorsqu'on le met sous tension, la protection s'ajuste à celle d'un filtre numéro 4 et assure ainsi une bonne visibilité du lieu de travail et des pièces à souder. Lorsque l'arc est amorcé, en moins de 1/100e de seconde, le filtre s'obscurcit à un degré de protection variant de 9 à 13 selon le modèle ou l'ajustement.

Conditions d'utilisation

- L'exposition au froid (température inférieure à 0 °C ou 32 °F) réduit l'efficacité du filtre.
- Le masque offre une protection insuffisante dans le cas du procédé MIG fonctionnant avec un courant d'arc supérieur à 500 A (sensation d'éblouissement et d'inconfort).
- Il existe deux types de masques : à piles et à énergie solaire. Dans le premier cas, il faut remplacer les piles toutes les 200 ou 500 heures, selon le modèle. Dans le second, il faut s'assurer que l'endroit est assez éclairé pour que le masque soit fonctionnel.
- La distance maximale pour obtenir une bonne protection est de 60 cm (2 pieds). Les visiteurs et autres travailleurs ne devraient pas utiliser ce genre de masque, car sa sensibilité n'est pas adéquate.



Masque électronique



A) Avant l'arc, l'écran permet une bonne visibilité (filtre no 4).

B) À l'amorce de l'arc, l'écran s'obscurcit et la protection du filtre est en place (filtres 9 à 13).

Visière avec filtre photosensible

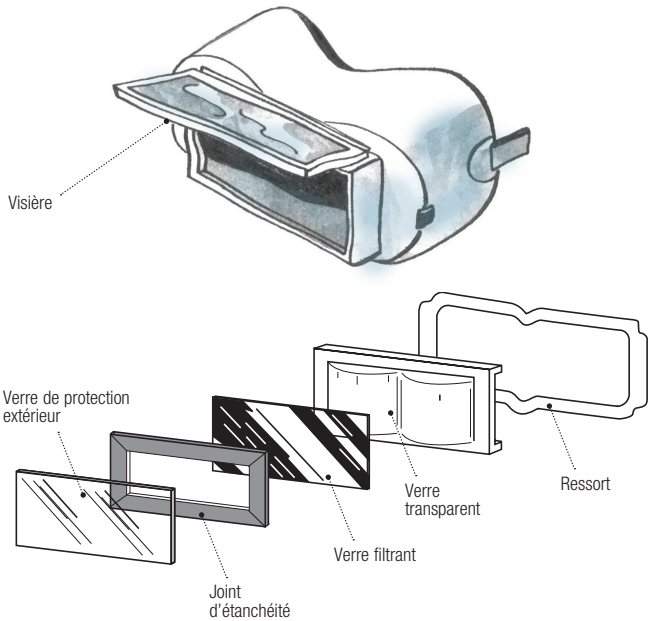
Lunettes de protection avec filtre

En l'absence de rayons ultraviolets (dans le procédé oxygaz, par exemple) ou lorsqu'on est loin de l'arc (table de plasma automatisée, par exemple), on peut porter des lunettes de protection équipées d'un filtre adéquat.

Le personnel qui assiste à des opérations de soudage doit porter des lunettes de sécurité dotées de verres de polycarbonate et d'écrans latéraux teintés. Un numéro de teinte de 3 à 5 est suffisant pour les travailleurs qui ne regardent jamais l'arc directement. Autrement, il faut utiliser le même numéro de teinte que celui du masque du soudeur.

Choix du numéro de teinte

Le choix de la teinte des protecteurs oculaires se fait en fonction du procédé de soudage, de l'épaisseur du métal ou encore, de l'ampérage de l'arc. Plus le chiffre est élevé, plus le filtre est opaque. Référez-vous aux numéros de teintes prescrits dans le tableau de la page suivante, tiré de la norme de sécurité en soudage (CSA W117.2-06).



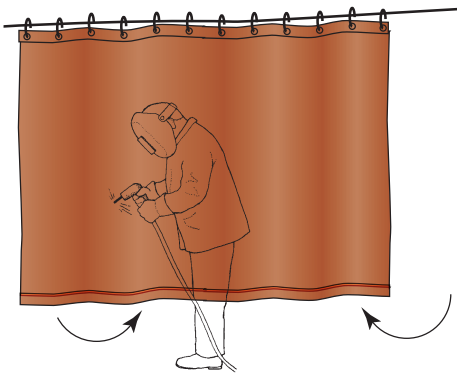
Lunettes de protection avec filtre

Rideaux ou écrans de protection

L'article 317 du Règlement sur la santé et la sécurité du travail stipule que l'on doit utiliser des écrans de protection fixes ou amovibles pour protéger les travailleurs qui circulent à proximité d'un poste de soudage. Il n'apporte cependant aucune précision sur le choix des écrans et ne réfère à aucune norme canadienne. On trouve toutefois certaines spécifications dans la norme américaine AWS F2.3M:2011 « *Specification for use and performance of transparent welding curtains and screens* » et dans la norme européenne EN-1598 « Hygiène et sécurité en soudage et techniques connexes – Rideaux, lanières et écrans transparents pour les procédés de soudage à l'arc ».

Des rideaux faits de matériaux incombustibles ou résistants au feu doivent être installés entre les postes de soudage et les personnes qui circulent à proximité. Les rideaux protégeront ces dernières contre les coups d'arc. Ils doivent avoir une surface non réfléchissante et ne pas entraver la circulation de l'air; c'est pourquoi on doit garder un espace libre de 50 cm (20 po) au-dessus et au-dessous du rideau.

Tous les rideaux approuvés selon les normes AWS F2.3M ou EN-1598 réduisent la transmission du rayonnement UV et de la lumière à un niveau acceptable. Le choix de la teinte (orange, gris, vert, jaune ou bleu) sera guidé par le contexte d'utilisation et le degré d'opacité recherché. Par exemple, si les postes de soudage sont à proximité d'un corridor, on peut souhaiter que les personnes passant à proximité discernent la silhouette du soudeur à travers le rideau; on choisira alors un rideau moins opaque, un jaune par exemple. Si l'on veut éviter d'éblouir une personne qui travaille à proximité de plusieurs postes de soudage, on préférera alors un rideau plus opaque, comme un vert ou un gris. On évitera cependant les rideaux de teinte bleu, des études récentes suggérant que les lumières bleues intenses pourraient, à la longue, avoir des effets néfastes sur la santé de la rétine.



Rideau de protection transparent

Choix du numéro de teinte des lunettes ou du masque en fonction du procédé					
Procédés	**Diamètre de l'électrode**		**Courant d'arc, A**	**Numéro de filtre minimal**	**Numéro de filtre recommandé (confort)**
	mm	**po**			
Soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW)	< 2,5	< 3/32	< 60	7	—
	2,5 à 4,0	3-5/32	60 à 160	8	10
	4,0 à 6,4	5-1/4	160 à 250	10	12
	> 6,4	> 8/32	250 à 550	11	14
Soudage sous gaz de protection : fil plein (GMAW) ou fil fourré (FCAW) Ou soudage à l'arc avec fil fourré de poudre métallique (MCAW)	—	—	< 60	7	—
	—	—	60 à 160	10	11
			160 à 250	10	12
			250 à 500	10	14
Soudage à l'arc sous gaz avec électrode de tungstène (GTAW)	—	—	< 50	8	10
			50 à 150	8	12
			150 à 500	10	14
Coupage à l'arc avec électrode au carbone et à jet d'air (faible)			< 500	10	12
Coupage à l'arc avec électrode au carbone et à jet d'air (forte)			500 à 1000	11	14
Soudage plasma (PAW)			< 20	6	6 à 8
			20 à 100	8	10
			100 à 400	10	12
			400 à 800	11	14
Coupage et gougeage au plasma (PAC/PAG) (très faible intensité)			Environ 20	5	5
Coupage et gougeage au plasma (PAC/PAG) (faible intensité)			20 à 100	8	9
Coupage et gougeage au plasma (PAC/PAG) (moyenne intensité)			100 à 400	9	12
Coupage et gougeage au plasma (PAC/PAG) (forte intensité)			400 à 800	10	14

Procédés		**Épaisseur de la pièce**		**Numéro de filtre minimal**	**Numéro de filtre recommandé (confort)**
		mm	**po**		
Soudage au gaz (OFW)	(faible intensité)	< 3,2	< 1/8	4	5
	(moyenne intensité)	3,2 à 12,7	1/8 à 1/2	5	6
	(forte intensité)	> 12,7	> 1/2	6	8
Oxycoupage (OFC)	(faible intensité)	< 25	< 1	3	4
	(moyenne intensité)	25 à 150	1 à 6	4	5
	(forte intensité)	> 150	> 6	5	6
Brasage fort au gaz (TB)				3	4
Brasage tendre au gaz (TS)				2	2
Soudage à l'arc avec électrode de carbone (CAW)				14	14

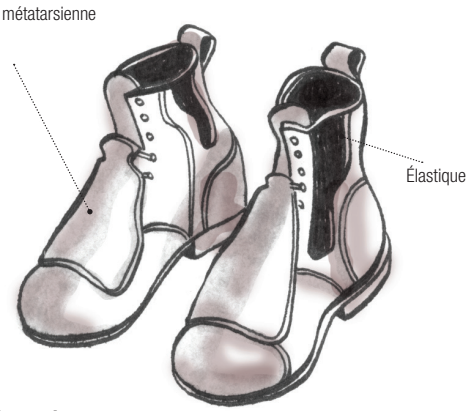
Source : Norme W117.2-06 « Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes »

Note :
1) Consulter le fabricant sur les mesures de protection oculaire à prendre au cours du soudage aluminothermique, par faisceau laser ou par faisceau d'électrons.
2) Pour le procédé GMAW pulsé, choisir la nuance du filtre en fonction de la valeur de crête du courant.
3) Le numéro du filtre minimal indiqué n'est pas nécessairement valable dans le cas du soudage sous l'eau. La turbidité de l'eau peut aussi modifier le numéro de filtre à utiliser.

Protection contre les brûlures, les projections et les piqûres

On peut se protéger des brûlures et des projections de particules en suivant ces règles de sécurité :

- Porter des lunettes de sécurité avec protection latérale sous le masque de soudeur pour se protéger contre les projections de particules et contre une partie des rayonnements. Une partie des rayons UV (UV-A) traverse le verre optique ou le verre vitre. C'est pourquoi les lunettes en polycarbonate sont recommandées.
- Porter des gants de cuir qui couvrent les poignets. Utiliser des manchons en cuir qui protègent les avant-bras, si nécessaire.
- Porter une chemise à manches longues.
- Fermer le collet de la chemise jusqu'au cou pour prévenir toute infiltration d'étincelles ou de gouttelettes de métal en fusion.
- Rabattre la partie supérieure des poches pour éviter que des étincelles s'y introduisent.
- Porter des chaussettes de laine; ce tissu ne brûle pas facilement.
- Porter un tablier qui protège l'avant des cuisses ou des guêtres qui couvrent la jambe du genou jusqu'à l'avant du pied.
- Éviter tous les vêtements synthétiques; ils fondent et collent à la peau sous l'effet d'une étincelle ou de gouttelettes de métal en fusion.
- Éviter les pantalons à revers, où des étincelles pourraient se loger. Porter le pantalon par dessus les bottes.
- Privilégier des vêtements certifiés selon la norme « Vêtements de protection utilisés pendant le soudage et les techniques connexes » (ISO 11611).
- Pour travailler au-dessus de sa tête, avec un procédé producteur d'étincelles, porter un couvre-tête (bandana) résistant au feu sous le masque, une cagoule, un manteau de soudeur ou des manches en cuir.
- Utiliser des protecteurs auditifs résistant au feu si les oreilles sont exposées aux projections d'étincelles.
- Utiliser des écrans pour confiner la projection d'étincelles et de métal en fusion ainsi que les rayonnements.



Bottes de soudeur

Bottes

Les bottes de soudeur devraient être approuvées CSA pour la catégorie de travail considérée. Une protection métatarsienne est suggérée pour prévenir les blessures que la chute d'une pièce métallique sur le dessus du pied peut causer. Certains modèles sont munis d'élastiques au lieu de lacets. L'absence de lacets réduit les risques que des particules de métal en fusion s'introduisent dans une botte et permet d'enlever celle-ci plus rapidement en cas de problème.

Vêtements

Les vêtements doivent protéger contre les étincelles, les projections de métal en fusion et les rayonnements. La laine est préférable au coton, car elle est moins inflammable, bien qu'elle ait l'inconvénient d'être beaucoup plus chaude pour le corps. Les chaussettes pourraient aussi être en laine. Le coton offre également une bonne protection contre les étincelles de métal chaud. Les vêtements et les gants des soudeurs doivent être exempts de taches d'huile ou de graisse, et ce, en tout temps.

Les vêtements de protection des soudeurs doivent être confectionnés pour éviter la conduction électrique de l'extérieur vers l'intérieur. Leurs fermetures métalliques doivent être recouvertes.

Il existe une norme européenne d'aide à la sélection des vêtements de soudeurs, soit NF EN ISO 11611 « Vêtements de protection utilisés pendant le soudage et les techiques connexes », qui date d'avril 2008. Une panoplie de vêtements pour soudeurs approuvés sont commercialisés. Le port de vêtements approuvés ISO 11611 ou l'équivalent n'est pas obligatoire au Québec, mais recommandé.

Protection contre les piqûres

Pour prévenir les piqûres qui surviennent au cours du soudage au procédé GTAW (TIG), il faut :

- placer le pistolet de soudage dans un boîtier isolant (non conducteur) lorsqu'il n'est pas utilisé;
- poser le faisceau sur le sol et non sur l'épaule;
- porter un tablier assez long ou des guêtres;
- porter des gants de cuir.



Lunettes de sécurité avec écrans latéraux



Chemise sans poche, boutonnée au collet



Gants à manchette

Caractéristiques des tissus pour les vêtements de protection			
Tissus	**Résistance au feu**	**Résistance au métal en fusion**	**Confort**
Laine	Très bonne	Bonne, le métal en fusion y adhère peu	Chaud, surtout en été
Cuir	Bonne	Bonne	Chaud
Coton	Faible	Bonne	Bon
Coton traité (au Proban)	Très bonne	Bonne	Bon
Vinex	Bonne	Bonne	Plus souple et confortable que le coton
Nomex	Bonne	Faible, le métal en fusion y adhère et détruit le tissu	



Chapitre 6

Les risques reliés au bruit

1 Identification des risques
2 Mesures de prévention

1 Identification des risques

Plusieurs procédés de soudage et de coupage produisent des niveaux de bruit susceptibles de causer des dommages auditifs aux travailleurs qui y sont exposés. Aux sources de bruit présentes dans le milieu s'ajoutent celles des activités connexes, comme le meulage, l'ébavurage, le martelage et le burinage.

Sources de bruit

Parmi les techniques de soudage et de coupage très bruyantes, on note les procédés d'arcair et au plasma. Dans ces cas, c'est le passage sous pression de l'air ou d'un gaz dans les orifices du porte-électrode ou de la buse qui produit le bruit. Plus l'orifice est petit et plus la pression est grande, plus le niveau sonore est élevé. L'air ou le gaz sous pression qui frappe le métal contribue également au bruit intense.

Les activités connexes telles que le meulage ou le martelage sont souvent réalisées sur une table d'acier qui amplifie les bruits d'impact et les vibrations.

Effets sur la santé

L'exposition quotidienne à des niveaux de bruit élevés peut, à long terme, causer une surdité d'origine professionnelle consécutive à des dommages à l'oreille interne. Ce risque augmente en fonction du niveau de bruit et de la durée de l'exposition ou du nombre d'impacts de forte intensité. Plusieurs autres effets sur la santé peuvent également être attribuables à une exposition prolongée au bruit : baisse de vigilance et de précision des réponses psychomotrices, irritabilité, anxiété, fatigue accrue, stress, etc.

Niveaux de bruit générés par certains procédés ou travaux		
Procédés ou activités		**Niveau de bruit**
GTAW	Soudage avec électrode de tungstène	50 à 60 dBA
FCAW	Soudage avec fil fourré	50 à 86 dBA
OFW	Soudage oxygaz	< 70 dBA
SMAW	Soudage avec électrode enrobée	62 à 82 dBA
PAW	Soudage au plasma	80 à 91 dBA
PAC	Coupage au plasma	95 à 110 dBA
AAC	Coupage avec électrode de carbone et jet d'air	96 à 116 dBA
GMAW	Soudage avec fil plein	70 à 82 dBA
	Enlèvement du laitier à la main	75 à 90 dBA
	Grenaillage	80 à 93 dBA
	Façonnage et martelage	95 à 115 dBA

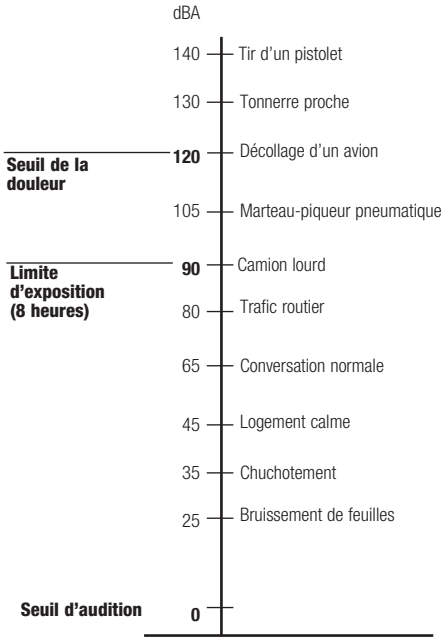
Niveaux de bruit

Le tableau ci-dessus présente un aperçu des niveaux de bruit que produisent les différents procédés de soudage et de coupage ainsi que quelques activités connexes à la fabrication de produits en métal et de produits électriques.

Réglementation

Au Québec, la norme permise est de 90 décibels, ou de 90 dBA, pour une exposition continue de huit heures par jour*. Pour chaque ajout de cinq décibels, on divise le temps d'exposition par deux. Ainsi, la limite d'exposition à un niveau sonore de 95 dBA est de quatre heures; à 100 dBA, elle est de deux heures, et ainsi de suite jusqu'à un maximum permis de 115 dBA.

***Les règlements de la plupart des autres provinces du Canada et de plusieurs pays européens fixent une limite de 85 dBA sur huit heures.**



Niveaux de bruit de diverses sources

2

Mesures de prévention

Pour réduire le bruit, on peut agir sur trois facteurs : sur la source elle-même, entre la source et l'individu et enfin, directement sur l'individu.

L'article 136 du Règlement sur la santé et la sécurité du travail stipule qu'il faut privilégier la réduction du bruit à la source. Si ce n'est pas possible, il faut agir sur la transmission du bruit par l'installation d'enceintes acoustiques ou d'écrans, ou par le traitement acoustique du local. En dernier recours, on fournit un équipement de protection individuelle aux travailleurs : coquilles ou bouchons. Les deux premiers moyens d'intervention sont les plus efficaces pour réduire le bruit en milieu de travail.

Techniques de réduction

Certaines techniques de réduction du bruit peuvent s'appliquer à l'aménagement des postes de travail. Ces techniques sont les suivantes :

- augmenter l'épaisseur de la table de travail pour réduire les vibrations et atténuer la transmission des bruits d'impacts;
- augmenter la distance entre la source de bruit et les autres travailleurs;
- isoler les postes de travail ou les procédés bruyants dans des pièces traitées acoustiquement;
- recouvrir les murs et le plafond d'un matériau absorbant (laine de fibre de verre, panneaux absorbants, mousse acoustique); cette solution est particulièrement efficace quand la source de bruit se trouve près d'un mur ou dans un coin;
- choisir des procédés et des électrodes qui produisent moins de laitier pour réduire le meulage ou le martelage;
- optimiser les techniques de soudage pour améliorer la qualité des soudures et ainsi réduire le besoin de meulage;
- installer des écrans insonorisants entre l'équipement bruyant et le travailleur ou entre les différents postes de travail.

Utilisation d'écrans

Pour atténuer le bruit de façon efficace, l'écran doit être :

- aussi haut que possible;
- assez long (ses côtés excèdent la ligne de vue directe d'au moins une fois sa hauteur);
- placé le plus près possible des personnes ou de la source de bruit;
- constitué d'un matériau barrière (acier, béton, etc.) et d'un matériau absorbant (laine de fibre de verre, laine de roche, etc.);
- recouvert d'un matériau absorbant du côté de l'équipement s'il est installé près de celui-ci, ou du côté des travailleurs s'il est placé près d'eux (le côté recouvert d'un matériau barrière fait alors face à l'équipement).

Étapes

Lorsque plusieurs sources contribuent au niveau sonore global dans une usine, un service ou un secteur, on peut obtenir une réduction du bruit d'ensemble en procédant par étapes :

- Établir l'ordre d'importance des sources de bruit. Un sonomètre permet d'évaluer séparément les niveaux de bruit provenant des différentes sources.
- Traiter en priorité la source la plus bruyante. On doit considérer les éléments suivants pour choisir la solution : la faisabilité technique; les coûts directs et indirects; la sécurité des utilisateurs; les risques d'incendie; les conséquences éventuelles sur le bon fonctionnement de l'équipement (surchauffe), les opérations, de la production et de l'entretien; les zones d'accès à l'équipement.
- Traiter, s'il y a lieu, les autres sources de bruit selon l'ordre décroissant de leur contribution à l'ensemble du niveau sonore.



Chapitre 7

Les risques reliés aux contraintes thermiques

1 Identification des risques
2 Mesures de prévention

1 Identification des risques

L'être humain est homéotherme, c'est-à-dire que sa température corporelle doit être maintenue constante à environ 37 ° C (98,6 ° F), puisque ses organes et tissus ne fonctionnent bien qu'à cette température. Comme toute activité, même celle de respirer et de simplement rester en vie, produit de la chaleur, le corps humain doit, pour maintenir sa température constante, toujours perdre autant de chaleur qu'il en produit, quels que soient son niveau d'activité et les conditions de l'environnement.

Rougissement de la peau

C'est au niveau de la peau que le corps peut perdre de la chaleur. Lorsqu'il fait chaud, les vaisseaux sanguins de la peau se dilatent pour que plus de sang s'y rende; c'est pourquoi la peau rougit. Cette adaptation s'accompagne d'une augmentation de la fréquence cardiaque qui limite la baisse de pression artérielle qui peut aussi résulter d'une dilatation des vaisseaux sanguins en périphérie. De cette manière, une partie du flot sanguin est également détourné des organes (système digestif et urinaire).

Sudation

Quelle que soit la température de l'air ambiant, on sait que l'air nous semble plus frais lorsque notre peau est mouillée. C'est que l'évaporation de l'eau, à la surface de la peau, requiert et utilise de la chaleur, ce qui produit un rafraichissement. C'est ainsi que la sudation aide le corps à se débarrasser d'un excédent de chaleur, même quand la température ambiante est élevée. L'évaporation de la sueur est facilitée par le vent (qui apporte constamment à proximité de la peau de l'air sec) et rendue plus difficile quand l'air ambiant est déjà très humide. Par la sudation, lors d'efforts intenses, on peut perdre jusqu'à deux litres d'eau à l'heure.



Le corps humain est donc bien équipé pour maintenir sa température constante malgré la présence de contraintes thermiques, mais ces mécanismes d'adaptation ont un coût et des limites. La Croix Rouge américaine a établi une gradation de la gravité des effets sur la santé.

Niveau 1 - Rougeurs et enflure

Certaines personnes, lorsqu'elles sont exposées à la chaleur, peuvent développer des éruptions cutanées, des «boutons de chaleur». On peut, à ce niveau, noter une certaine enflure (oedème) des pieds et des mains, étant donné l'afflux accru de sang à la périphérie. D'autres personnes ressentiront un certain malaise, devenir impatient, avoir mal à la tête, voir sa capacité d'attention et de concentration diminuer. Ces effets sont relativement mineurs et facilement réversibles.

Niveau 2 - Crampes

La perte d'eau et de sels qui accompagnent la sudation abondante et soutenue peuvent produire des crampes musculaires, ou spasmes, douloureuses au ventre, aux bras ou aux jambes.

Niveau 3 - Épuisement à la chaleur

Avec le temps, il peut devenir épuisant de lutter contre la chaleur en même temps que de fournir les efforts que requièrent le travail. On ressent une certaine faiblesse, une grande lassitude, on peut se sentir étourdi, le pouls peut devenir faible. Combiné à d'autres facteurs, par exemple à un travail debout immobile qui crée une accumulation du sang dans les jambes, la lutte contre la chaleur peut occasionner une baisse de pression artérielle et une oxygénation insuffisante du cerveau et produire un évanouissement (ou syncope).

Niveau 4 - Coup de chaleur

Le coup de chaleur survient quand l'organisme n'est plus en mesure de conserver la température corporelle constante. Cela peut survenir relativement rapidement, surtout chez les personnes non acclimatées, déshydratées ou plus fragiles. Quand la température corporelle dépasse 40,6°C, les cellules du cerveau ne peuvent plus fonctionner normalement et on assiste à un dérèglement du système nerveux central, ce qui peut entraîner délire, hallucinations et confusion. La personne peut donc mal juger son état et ne pas se rendre compte de ce qui lui arrive. Le pouls est rapide et fort. Les glandes sudoripares ne sont plus en mesure de fonctionner, la sudation cesse et la peau devient sèche; le corps peut aussi se mettre à frissonner. La peau sèche et des frissonnements sont des signes alarmants qui requièrent un retrait immédiat dans un endroit frais, sinon le coma et la mort peuvent survenir. On doit accompagner la victime et lui faire boire de l'eau jusqu'à ce qu'elle récupère. Chaque année, le coup de chaleur emporte des vies au Québec.

Facteurs aggravant le risque

Le risque de contrainte thermique croît avec les facteurs suivants :

- **L'activité physique** : plus celle-ci est exigeante, plus le corps devra dissiper de la chaleur.
- **Les vêtements** : les vêtements créent une barrière, soit une isolation qui nuit à l'échange de chaleur entre la peau et l'air, ce qui entrave l'évaporation de la sueur.
- **L'environnement** : un environnement chaud nuit également à l'échange de chaleur entre la peau et l'air. Parmi les facteurs à considérer, on note la température ambiante (température de l'air), le taux d'humidité (une humidité élevée limite l'efficacité de la sudation) et la chaleur radiante.

Qui est plus à risque ?

Un travailleur peut être plus à risque si :

- il est en mauvaise condition physique;
- il possède des antécédents médicaux (ex. : pathologie cardiovasculaire, maladie des voies respiratoires, diabète...);
- il a connu des problèmes de santé récemment (diarrhée, fièvre, nausée);
- il prend des médicaments (ex. : tranquillisants, antidépresseurs, anxiolytiques, antihistaminiques...);
- il manque de sommeil;
- il consomme de l'alcool;
- il n'est pas acclimaté à la chaleur;
- il est plus âgé, car, avec l'âge, la capacité à résister à la contrainte thermique s'amoindrit.

Le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) énonce des exigences spécifiques pour l'évaluation des contraintes thermiques et leurs implications sur l'organisation du travail. Aux fins de son application, on doit mesurer l'indice de contrainte thermique et évaluer la charge de travail. Certaines techniques plus simples sont disponibles sur le site internet de la CNESST et d'autres plus élaborées sont disponibles sur le site de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST)

Indice de contrainte thermique (WBGT)

Un indice de contrainte thermique soit l'indice WBGT, (indice de température au thermomètre à globe à boule humide ou *Wet Bulb and Globe Temperature*) permet d'intégrer les différents paramètres environnementaux de l'exposition à la chaleur.

Un moniteur de contrainte thermique WBGT prend en considération trois températures, soit :

- la température au thermomètre à boule humide naturelle soit WB (Wet Bulb);
- la température au thermomètre à boule sèche DB, (Dry Bulb); et
- la température au thermomètre à globe GT (Globe Temperature).

Durée d'application

La norme ne s'applique pas à une exposition de huit heures, mais bien de 60 minutes. En effet, si l'exposition continue à une ambiance chaude et excède une heure, sans période de récupération suffisante, une accumulation de chaleur peut se produire dans le corps et provoquer des troubles physiologiques. Si l'exposition est intermittente, la norme s'applique alors à 120 minutes.

Charge de travail

Comme toute activité physique produit une certaine quantité de chaleur, il est nécessaire d'évaluer son intensité pour appliquer le Règlement.

Les activités d'un travailleur doivent être classées dans les catégories suivantes, selon sa dépense énergétique mesurée en kilocalories par heure (kcal/h).

Travail léger : jusqu'à 200 kcal/h
Exemples : commande d'une machine en position assise ou debout, travail léger impliquant la main ou le bras, utilisation debout d'un équipement de faible puissance tels que perceuse et fraiseuse, et activités comme le bobinage, l'usinage, etc.

Travail moyen : de 200 à 350 kcal/h
Exemples : déplacements accompagnés d'efforts modérés de levage et de poussage, travail soutenu des mains et des bras (cloutage, limage), travail des bras et des jambes, manœuvre d'un camion ou d'un tracteur sur des chantiers, travail des bras et du tronc, travail avec un marteau pneumatique, plâtrage, manipulation intermittente de matériaux modérément lourds, sarclage, cueillette de fruits ou de légumes, etc.

Travail lourd : de 350 à 500 kcal/h
Exemples : travail au pic et à la pelle, travail intense des bras et du tronc, activités très intenses à allure rapide et proche du maximum, etc.

Le Règlement (Annexe V, tableau 2) donne une méthode d'évaluation de la charge de travail ainsi qu'un exemple.

Limites d'exposition permises

Le tableau suivant présente les valeurs limites de l'indice WBGT à ne pas dépasser en fonction de la charge de travail et du régime d'alternance travail-repos.

Valeurs limites d'exposition à la chaleur en °C (WBGT)			
Régime d'alternance travail-repos	Charge de travail		
	léger	moyen	lourd
Travail continu	30,0	26,7	25,0
Travail 75 %, repos 25 % (toutes les heures)	30,6	28,0	25,9
Travail 50 %, repos 50 % (toutes les heures)	31,4	29,4	27,9
Travail 25 %, repos 75 % (toutes les heures)	32,2	31,1	30,0

Tiré du RSST (Annexe V, tableau 1)

Contexte d'application :

- *Le travailleur doit être physiquement apte à faire le travail.*
- *Le travailleur doit être acclimaté à travailler en ambiance chaude.*
- *Le travailleur ne doit pas porter de vêtements spéciaux de protection contre la chaleur.*

Mesures de prévention

Lorsqu'une personne est exposée à une chaleur inconfortable, spontanément, elle aura le réflexe d'enlever tout vêtement superflu. C'est une option que n'a pas le soudeur au travail, puisqu'il s'exposerait ainsi à d'autres risques (brûlures, rayonnement et projections). Il faut donc envisager des mesures préventives.

Réduction de l'exposition

Selon la réglementation, si l'indice de contrainte thermique dépasse la limite prévue, il faut appliquer des mesures de prévention selon l'ordre suivant :

Contrôles d'ingénierie

L'objectif de ces méthodes est de réaménager le poste de travail exposé de manière à réduire l'exposition à la chaleur de manière à respecter les limites acceptables, définies dans le tableau « Valeurs limites admissibles d'exposition à la chaleur en °C (WBGT) » de la page précédente. On peut ainsi, par exemple :

- réduire la température ou les propriétés émissives d'une surface chaude par l'ajout d'un matériau isolant;
- protéger le travailleur des sources de chaleur par des écrans réfléchissants (aluminium, par exemple), absorbants (face noire mate du côté de la source), transparents (verre, grille métallique ou rideau de chaînes) ou flexibles (tissus recouvert d'aluminium);
- rafraîchir l'air au moyen d'une bonne ventilation permettant d'évacuer la chaleur de façon naturelle (ouvertures dans le toit) ou mécanique (ventilation générale ou locale);
- climatiser les postes de travail fermés ou les secteurs confinés par des cloisons;
- réduire l'humidité de l'air en isolant les sources de vapeur (couvercle sur bassin d'eau), par extraction de l'humidité (aspiration locale) ou par déshumidification de l'air;
- accroître la vitesse de l'air près des travailleurs exposés à l'aide de ventilateurs placés de façon à favoriser l'évaporation de la sueur à la surface de la peau;
- diminuer l'effort physique requis par le travail en offrant une assistance mécanique pour les tâches où c'est possible.

Mesures administratives

Si les mesures d'ingénierie ne suffisent pas, il faut alors réduire la charge de travail, le temps d'exposition ou accroître la durée de la récupération, conformément au régime d'alternance travail/repos prévu dans le Règlement (voir tableau de la page précédente), grâce à des aires de repos situées près du poste de travail et, de préférence, climatisées (à environ 25°C).

Équipements de protection individuelle

Si les deux séries de mesures précédentes ne suffisent pas, ou en attendant que les transformations requises soient faites, on doit recourir à des équipements et des vêtements de protection contre la chaleur. Il existe, par exemple, des vestes refroidies à l'eau. On leur préférera cependant des vestes refroidies à l'air, s'il s'agit de procédés de soudage à l'électricité, étant donné le risque accru d'électrisation en cas de fuite.

Autres mesures de prévention

En présence de contraintes thermiques, il est important de prendre les mesures préventives suivantes :

Acclimatement des travailleurs

Un individu exposé à une ambiance chaude peut s'acclimater, c'est-à-dire que l'organisme s'ajuste pour mieux affronter la contrainte thermique : la sudation débute plus tôt et est progressivement plus abondante, la concentration de sels dans la sueur est réduite, le rythme cardiaque et la température corporelle sont moins élevés.

La majeure partie de cet acclimatement s'obtient entre cinq à sept jours. On devrait donc exposer graduellement un travailleur à une contrainte thermique élevée, pour permettre à l'acclimatement de s'accomplir.

●●● Information

QUE FAIRE SI L'ON PENSE QUE LE TRAVAILLEUR SUBIT UN COUP DE CHALEUR ?

- Alerter les premiers secours : ceux du milieu de travail et le 911.
- Amener la personne dans un endroit frais ou à l'ombre.
- Lui enlever ses vêtements.
- Asperger son corps avec de l'eau.
- Ventiler le lieu.
- Donner au travailleur de l'eau fraîche en petites quantités seulement s'il est conscient et lucide.

Pour en savoir plus, consulter « *Travailler à la chaleur... Attention* » (CNESST, DC-100-1125-6)

On peut, par exemple, permettre une exposition correspondant à 20 % du temps de travail la première journée et augmenter de 20 % chacun des jours suivants; ou encore une exposition limitée à 50 % au début et augmenter de 10 % chaque jour qui suit. On peut même, pour plus de prudence, étaler la progression sur 14 jours.

Un travailleur acclimaté qui s'absente ou qui effectue une autre activité doit reprendre sa période d'acclimatement. On considère qu'un travailleur a perdu son acclimatement après une absence de cinq jours. Dans le même esprit, on recommande au travailleur de réduire un peu son exposition au retour d'une fin de semaine.

Habillement

Les vêtements pâles sont préférables aux foncés puisqu'ils captent moins la chaleur du rayonnement. Quand on est exposé à une forte chaleur radiante, des vêtements amples qui ne laissent pas passer l'air ont l'avantage d'emprisonner une couche d'air importante (bon isolant) tout en gardant loin de la peau le tissu qui, lui, se réchauffe en bloquant la chaleur transmise par rayonnement et par convection.

Le coton est recommandé pour exécuter des travaux dans une chaleur radiante élevée (par exemple, près d'un four ou sous le soleil) et lorsque l'effort physique requis n'est pas trop grand, parce qu'il gêne les mécanismes d'évaporation de la sueur. En effet, un chandail de coton mouillé est en fait rempli de sueur qui n'a pas pu s'évaporer, et qui ne peut donc pas refroidir le corps.

Pour exécuter un travail physique intense ou pour assurer une évaporation maximale, on choisira un vêtement taillé près du corps, mais ni serré ou moulant. Évidemment, il faut éviter les tissus chauds comme la laine et le cuir.

Les personnes qui travaillent à l'extérieur devraient se couvrir la tête pour diminuer la chaleur captée par rayonnement.

Hydratation

Pour conserver sa capacité à combattre efficacement la chaleur, le travailleur doit régulièrement ingérer des liquides. Il doit en boire de petites quantités à intervalles réguliers (250 ml ou 8 onces à toutes les 15 à 20 minutes) plutôt qu'une grande quantité d'un coup. Il ne faut pas boire plus de 1,5 litre d'eau à l'heure. L'eau devrait être fraîche, c'est-à-dire que sa température doit se situer de 14 °C à 16 °C.

La sudation abondante entraîne une certaine perte de sels (surtout du chlorure de sodium et aussi un peu de potassium) qui doivent être remplacés à chaque jour, mais l'alimentation y suffit habituellement amplement, de telle sorte qu'il n'est pas nécessaire de boire autre chose que de l'eau. Par ailleurs, on évitera les breuvages alcoolisés ou contenant de la caféine.

Mesures d'urgence

Dans le cas où un soudeur ressent certains des signes d'alerte annonçant un coup de chaleur, mais qu'il récupère à la suite d'un repos dans un endroit frais et qu'il boit de l'eau, la situation semble alors stable.

Toutefois, la situation est urgente si le soudeur ne récupère pas bien et présente un ou plusieurs signes graves, tels que :

- confusion;
- incohérence dans ses propos;
- agressivité (ou agissement bizarre comme s'il était drogué);
- perte d'équilibre;
- perte de conscience;
- nausée ou vomissement.

Il faut alors agir en urgence, comme si le travailleur subissait un coup de chaleur.



Chapitre 8

La ventilation appliquée aux opérations de soudage

1 Ventilation générale
2 Aspiration locale
3 Filtration des fumées et des gaz

1 Ventilation générale

Le chapitre 2 aborde la ventilation générale comme une technique complémentaire pour diluer les contaminants. Ce n'est cependant pas une façon efficace de capter les fumées et les gaz avant qu'ils ne parviennent à la zone respiratoire des travailleurs. La réglementation est également très précise en ce qui concerne les exigences en matière de ventilation générale.

Ouvrages de référence

La ventilation est une question complexe. Dans les pages qui viennent, nous présentons les grands principes qui doivent guider la conception des systèmes de ventilation pour les opérations de soudage. Pour ce faire, nous nous sommes inspirés de deux documents auxquels le lecteur pourra se référer pour plus de détails.

CSA W1172-06 - *Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés* connexes décrit certaines exigences de ventilation en fonction des procédés utilisés, du volume de production et du degré de confinement de l'espace de travail.

Industrial Ventilation, le manuel de l'*American Conference of Governemental Industrial Hygienists* (ACGIH) décrit en détail les critères de conception de la ventilation générale et de la captation à la source.

Réglementation

Avant de concevoir un système de ventilation générale, il est important de se référer à l'annexe III du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST), qui précise les exigences auxquelles le système doit se conformer.

Par exemple, pour le secteur de la fabrication de produits métalliques, le Règlement exige quatre changements d'air à l'heure, ce qui signifie que, dans une période d'une heure, une partie du volume total de l'usine (soit le volume utile) doit être évacuée quatre fois et une quantité équivalente d'air neuf doit y être introduite.

Pour ce qui est des secteurs de la fabrication de produits électriques et de l'habillement l'exigence est respectivement de deux changements et d'un changement d'air à l'heure.

Calcul du volume d'air à évacuer

Le calcul du débit requis s'établit en fonction du volume utile du local ou du bâtiment à ventiler. Le volume utile correspond à la surface totale du plancher du bâtiment multipliée par la hauteur du plan de travail à laquelle on additionne 3,7 m (12 pi). Le plan de travail correspond à la surface du plancher où se trouvent les travailleurs (sa hauteur est donc nulle si les travailleurs sont tous au même niveau, soit sur le plancher du bâtiment). Si le plafond est plus bas que 3,7 m (12 pi), on doit utiliser sa hauteur réelle. On doit accorder une attention particulière aux bâtiments dotés de mezzanines où se trouvent des postes de travail; dès qu'un bâtiment comporte un deuxième niveau de travail plus haut que le plancher, il faut ajouter le volume correspondant à cette surface de plancher additionnelle.

••• Exemple de calcul

DÉBIT D'AIR REQUIS POUR OBTENIR 4 CHANGEMENTS D'AIR À L'HEURE

Données :

- Bâtiment dont la section usine est de 30 m x 30 m de superficie (100 pi x 100 pi)
- Hauteur du plafond : 6,7 m (22 pi)
- Classification du secteur d'activité : fabrication de produits en métal

Calcul du volume utile de l'usine (V) :
on prend 3,7 m (12 pi) + hauteur du plan de travail (= 0 puisqu'il s'agit du plancher)

Volume utile de l'usine = 30 m x 30 m x 3,7 m (il n'y a pas de mezzanine), soit :
V = 3 400 m^3 (ou 120 000 pi^3)

Calcul du débit d'air requis (Q) :

1 changement d'air/h = 3 400 m^3/h

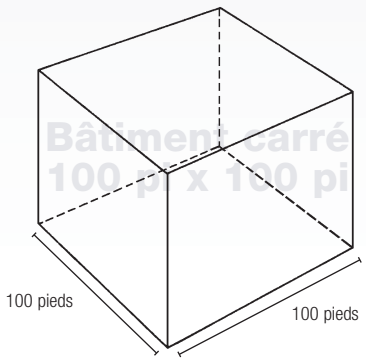
4 changements d'air/h = 4 x 3 400 m^3/h

Q = 13 600 m^3/h ou 13 600 m^3/60 min
= 227 m^3/min = 3,8 m^3/s (8 000 pcm)

En convertissant cette valeur en pcm (pieds cubes par minute), on obtient 8 000 pi^3/min.

La capacité nécessaire du débit d'air extrait par les ventilateurs serait alors de 8 000 pcm.

1 m^3/s (mètre cube par seconde) = 2120 pi^3/min ou pcm (pieds cubes par minute) ou *cfm (cubic feet per minute)*



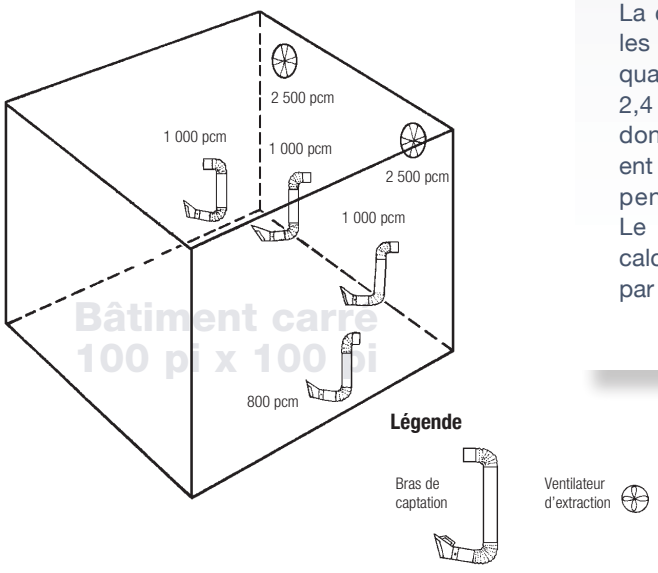
Vue en 3 dimensions de l'usine

Bilan de ventilation générale

Le bilan de ventilation générale doit également inclure tous les besoins en ventilation locale. Les débits des systèmes indépendants de captation à la source seront donc compris dans le débit d'air total évacué seulement s'ils fonctionnent pendant toute une journée de production normale. Le débit de ceux qui ne fonctionnent que quelques heures par jour ne peut être inclus dans le bilan.

L'exemple ci-contre montre la méthode de calcul pour évaluer la capacité requise du ou des systèmes destinés à la ventilation générale de façon à assurer le bilan global (ventilation générale + locale) selon le taux de changement d'air à l'heure que spécifie le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST).

Système de ventilation générale et locale pour l'évacuation de l'air vicié



••• Exemple de calcul

DÉBIT D'AIR REQUIS SI DES BRAS DE CAPTATION SONT UTILISÉS

Données additionnelles :

- Utilisation de 3 bras de captation à 0,47 m³/s (1 000 pcm) chacun pour toute la période de production.
- Utilisation d'un bras de captation à 0,38 m³/s (800 pcm) une à deux heures par jour.

Selon le calcul du débit pour quatre changements d'air à l'heure, l'exemple précédent donnait 3,8 m³/s (8 000 pcm). Puisque trois bras de captation sur quatre fonctionnent pendant toute la période de production, ils peuvent donc être inclus dans le bilan de ventilation.

Débit requis (Q) =
Débit pour quatre changements d'air/heure – total des débits de la captation locale

Q = 3,8 m³/s - (3 x 0,47) m³/s

Q = 3,8 m³/s – 1,4 m³/s

Q = 2,4 m³/s (5 000 pcm)

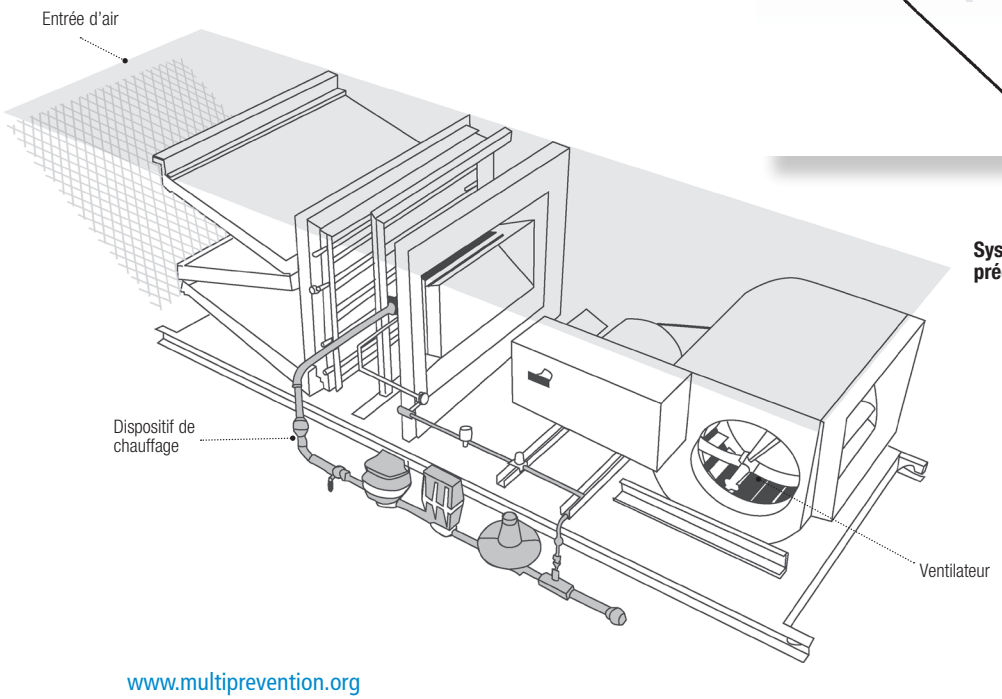
La capacité requise pour le débit d'air extrait par les ventilateurs d'extraction pour l'obtention de quatre changements d'air à l'heure serait alors de 2,4 m³/s (5 000 pcm). La valeur a diminué étant donné que les trois bras de captation évacuent déjà, à eux seuls, 1,4 m³/s (3 000 pcm), et ce, pendant toute la période de production. Le quatrième bras n'est pas inclus dans le calcul puisqu'il ne fonctionne que quelques heures par jour.

Entrée d'air équivalente et chauffage

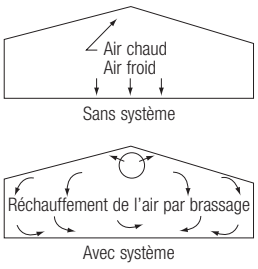
Pour établir un bilan de ventilation, il est important de calculer le débit d'air sortant, mais tout aussi important de calculer l'air de remplacement pour bien équilibrer le système. On calcule la quantité d'air de remplacement en soustrayant environ 5 % du débit d'air évacué, ce qui a pour effet de produire une légère pression négative à l'intérieur de l'usine. Cette faible pression négative permet d'éviter la migration des contaminants vers d'autres secteurs, notamment les bureaux.

On trouve souvent des unités mécanisées avec un chauffage d'appoint intégré et un diffuseur d'air comme système d'apport d'air frais.

Pendant les périodes froides, les unités de chauffage au gaz ou à l'électricité servent à maintenir une température stable dans l'usine. Toutefois, l'arrivée d'une grande quantité d'air froid perturbera la température des locaux. Il est donc important de réduire la différence de température entre l'air frais et celui de l'usine jusqu'au point où la température de l'air frais atteigne environ 18 °C (65 °F) à la sortie du diffuseur. Ce degré peut être atteint au moyen d'un système de chauffage intégré au système d'apport d'air mécanisé.



Système d'admission d'air frais préchauffé (air make-up unit)



••• Exemple de calcul

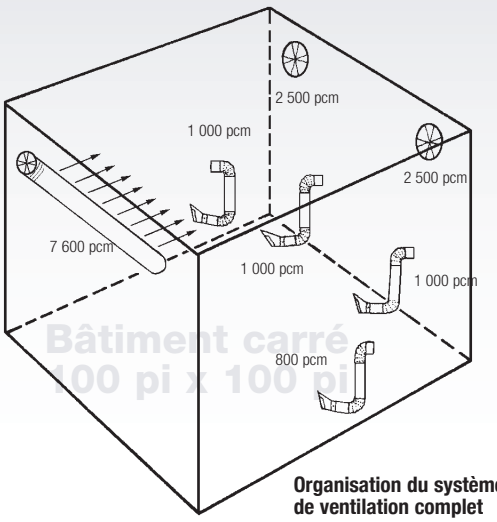
DÉBIT D'AIR DE REMPLACEMENT (AIR FRAIS PROVENANT DE L'EXTÉRIEUR)

Selon le calcul du débit, pour obtenir quatre changements d'air à l'heure, l'exemple précédent indiquait 3,8 m^3/s (8 000 pcm). Pour faire le calcul, on applique un facteur de 0,95, ce qui correspond à un débit d'air de remplacement de 5 % inférieur au débit d'air extrait.

Débit d'air de remplacement requis = 0,95 x Q

$Q_{\text{requis à l'entrée}}$ = 0,95 x 3,8 m^3/s

$Q_{\text{requis à l'entrée}}$ = 3,6 m^3/s (7 600 pcm)



Organisation du système de ventilation complet

2 Aspiration locale

La ventilation par aspiration locale ou à la source consiste à capter les fumées avant qu'elles se rendent à la zone respiratoire d'un travailleur. Il existe trois types de systèmes d'aspiration, selon le débit et la pression que les unités de ventilation produisent :

1. **Système à haut volume, basse pression (HVBP)**
2. **Système à moyen volume, moyenne pression (MVMP)**
3. **Système à bas volume, haute pression (BVHP)**

Ces systèmes se distinguent par les caractéristiques de leur unité d'aspiration. Celles-ci sont classées selon leur capacité d'aspirer un volume d'air à une certaine pression (résistance), que le passage de l'air produit dans l'ensemble du dispositif d'aspiration : conduits d'extraction, capteurs, filtres, etc.

Pour choisir un système, on détermine d'abord le type de capteur ou de hotte d'aspiration, puis on évalue le débit d'air à extraire à chacun des points de captation et la perte de pression associée à l'ensemble du système. La pression de fonctionnement s'exprime en kilopascals (kPa) ou en pouces d'eau (po H_2O).

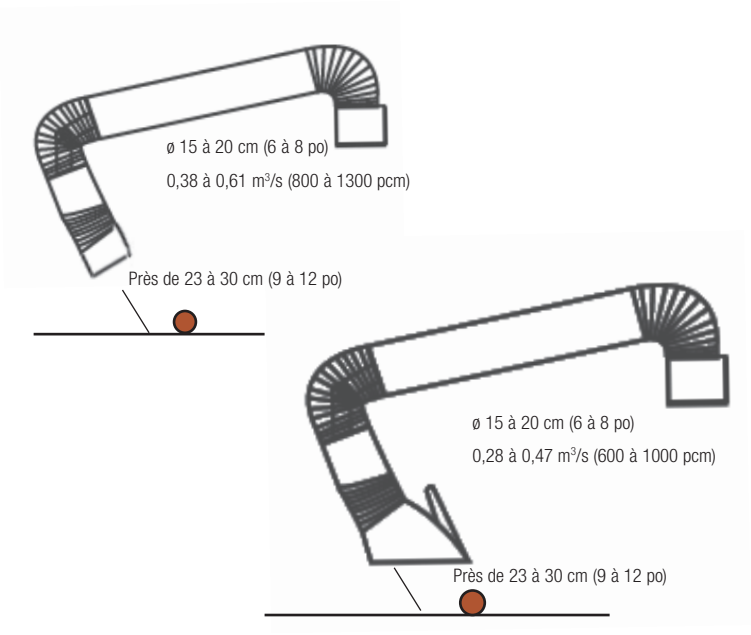
Système	Unité aspirante	Pression de fonctionnement	Type de capteur	Débit d'air par capteur
HVBP	Ventilateur	< 5 kPa (< 20 po H_2O)	Bras de 15 à 20 cm de diamètre (6 à 8 po)	600 pcm et plus
MVMP	Turbo	5 à 15 kPa (20 à 60 po H_2O)	Bras de 5 à 10 cm de diamètre (2 à 4 po)	100 à 350 pcm
BVHP	Turbine	15 à 30 kPa (60 à 120 po H_2O)	Pistolet à captation intégrée	60 à 100 pcm

Les systèmes à haut volume, basse pression sont caractérisés par :

- l'utilisation d'une tuyauterie de grand diamètre, soit 15 cm (6 pouces) ou plus;
- l'utilisation d'un ventilateur centrifuge;
- l'aspiration à travers une hotte de ventilation, d'une table aspirante ou d'un bras de captation.

Débits recommandés pour les bras de captation

Un conduit simple doit posséder un débit d'environ 25 % plus élevé qu'un conduit avec bride ou avec cône. Le tableau ci-dessous indique le débit recommandé selon le diamètre du conduit et la forme de la hotte. D'autre part, la vitesse minimale recommandée dans les conduits de ventilation est de 15 mètres par seconde (3 000 pi/min) pour les fumées de soudage afin d'assurer le transport des fines particules et d'éviter qu'elles ne s'y accumulent.



Diamètre du tuyau versus distance du point de captage, débit recommandé et absence ou présence d'une hotte de captation.

Indications des débits d'air nécessaires			
Diamètre du conduit	Distance source/hotte	Conduit simple	Conduit avec bride ou avec cône
15 cm (6 po)	Près de 23 cm (9 po)	0,38 m³/s (800 pcm)	0,28 m³/s (600 pcm)
20 cm (8 po)	Près de 30 cm (12 po)	0,61 m³/s (1 300 pcm)	0,47 m³/s (1 000 pcm)

Table aspirante

Les figures suivantes montrent deux types de tables aspirantes. L'air contaminé est aspiré soit à travers les fentes d'une cloison verticale située à l'extrémité de la table, soit directement par des ouvertures ou une surface grillagée disposée au niveau de la surface de la table. Avec une telle installation, l'air contaminé ne passe pas par la zone respiratoire du travailleur. Le principal inconvénient des tables aspirantes est qu'elles ne peuvent admettre que des pièces à souder assez petites et que l'efficacité de l'aspiration dépend grandement de la forme des pièces et des points à y souder. La table à aspiration verticale descendante a le désavantage d'exiger un très fort débit afin d'être efficace, ce qui fait grimper la facture de chauffage.

Hotte de ventilation

La figure suivante représente une hotte fixée au-dessus d'une table de travail. Les fumées et les gaz aspirés circuleront directement dans la zone respiratoire du travailleur, ce qui n'est pas considéré comme de la captation à la source. Selon les résultats de son exposition aux fumées et aux gaz de soudage, il est possible que le travailleur ait besoin d'une protection respiratoire.

Le tableau suivant montre les avantages et les inconvénients d'un système d'aspiration fixe (hotte de ventilation ou table aspirante).

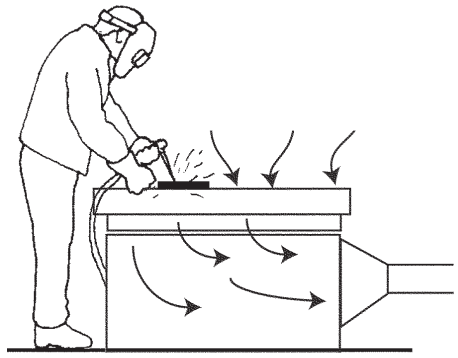


Table avec aspiration verticale descendante

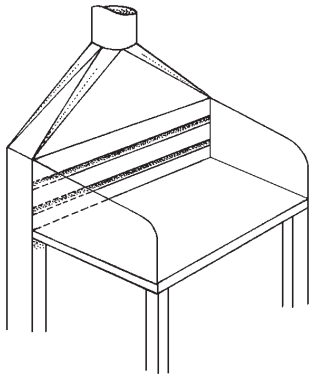
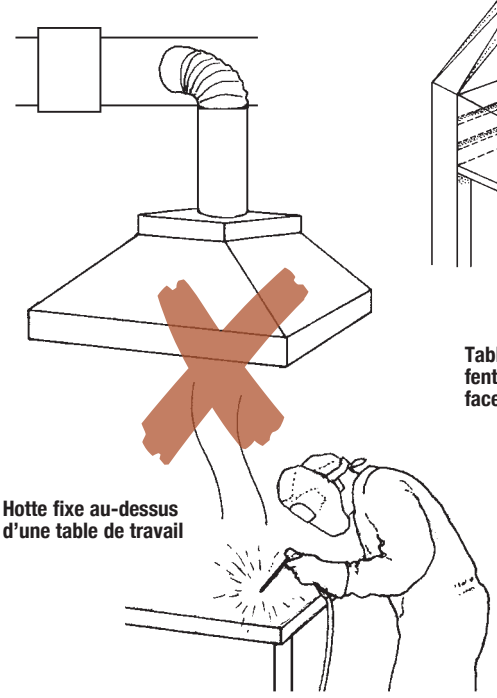
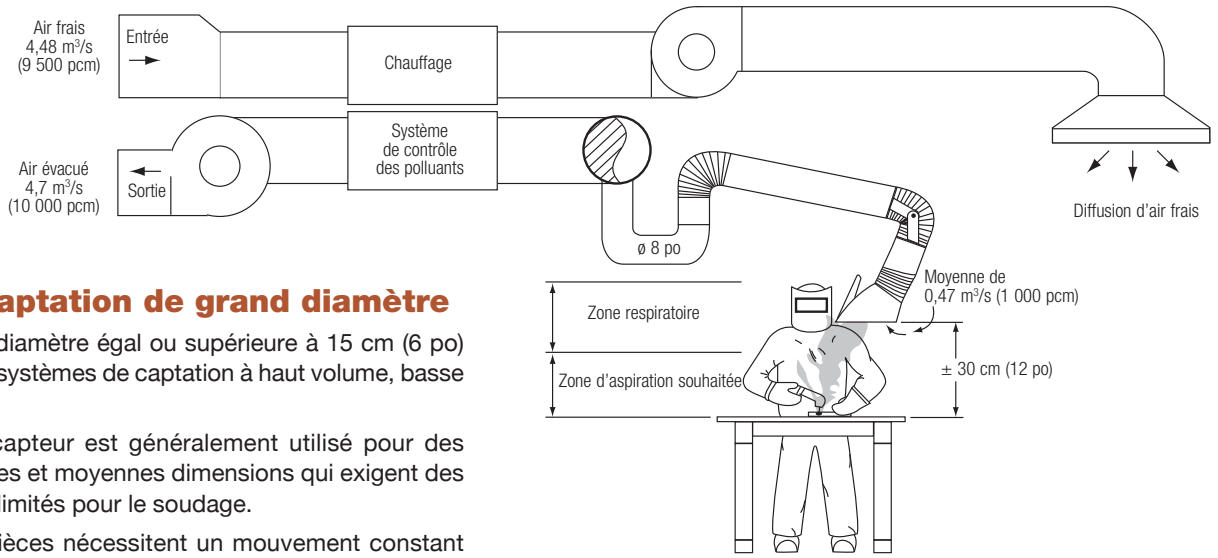


Table aspirante avec fentes d'aspiration face au travailleur



Hotte fixe au-dessus d'une table de travail

Système d'aspiration fixe (pour une hotte de ventilation ou une table aspirante)	
Avantages	**Inconvénients**
Exige peu d'investissement.	Coût énergétique élevé, car exige un grand débit d'air.
Les fumées et gaz sont aspirés avant d'entrer dans la zone respiratoire du travailleur (seulement dans le cas d'une table aspirante avec fente).	La zone respiratoire du travailleur se trouve dans la zone contaminée (dans le cas d'une hotte fixe au-dessus d'une table de travail).
N'exige aucun positionnement de la part du travailleur.	La ventilation générale peut parfois déplacer les fumées et les gaz à l'extérieur du chemin de capture.



Bras de captation avec conduit flexible de 20 cm (8 po) de diamètre
Source : HENLEX

Bras de captation de grand diamètre

Les bras d'un diamètre égal ou supérieure à 15 cm (6 po) font partie des systèmes de captation à haut volume, basse pression.

Ce genre de capteur est généralement utilisé pour des pièces de petites et moyennes dimensions qui exigent des déplacements limités pour le soudage.

Les grandes pièces nécessitent un mouvement constant du bras de captation pendant que le soudage progresse. Par conséquent, les utilisateurs finissent souvent par s'en lasser.

La figure suivante représente l'utilisation d'un bras de captation de 20 cm (8 po) de diamètre sur un réseau de canalisations desservant 10 postes de soudeurs ayant une capacité totale de 10 000 pcm.

Bras de captation de grand diamètre (15 cm ou 6 po ou plus)	
Avantages	**Inconvénients**
Position du capteur à ± 30 cm (12 po) de la source d'émission pour un bras de 20 cm (8 po) de Ø et à ± 23 cm (9 po) pour un bras de 15 cm (6 po) de Ø.	Le capteur, à cause de sa grande dimension, peut nuire à la visibilité s'il est positionné dans la zone d'aspiration souhaitée.
	Pour une efficacité maximale, le capteur doit être placé entre 24 cm à 30 cm (9 po à 12 po) afin d'éviter que l'air contaminé ne pénètre dans la zone respiratoire, ce qui peut gêner le travailleur dans certains cas. Sinon, cette zone peut être contaminée par les fumées et les gaz surtout dans le cas des bras de 20 cm (8 po).
Possibilité d'installer une source d'éclairage dans le capteur pour inciter le soudeur à bien le positionner.	Le changement de position est relativement difficile, surtout pour les bras de grand diamètre (8 po et plus). Les coûts de chauffage s'accroissent avec le débit d'air aspiré. Si les articulations du bras de captation se trouvent à l'intérieur, les ajustements sont inaccessibles et les bras finissent par ne plus tenir en place (surtout dans le cas où le métal est recouvert d'une mince couche d'huile).

Système à moyen volume, moyenne pression

Les systèmes à moyen volume, moyenne pression sont caractérisés par :

- l'utilisation de bras de captation d'un diamètre moyen, soit de 8 à 10 cm (3 ou 4 po);
- l'utilisation d'un ventilateur de type turbo comme unité d'aspiration.

Le tableau suivant présente les avantages et les désavantages de l'utilisation d'un bras de captation de 8 à 10 cm (3 ou 4 po) de diamètre.

Bras de captation de 8 à 10 cm (3 ou 4 po) de diamètre	
Avantages	**Inconvénients**
Permet de positionner le capteur à moins de 15 cm (6 po) de la source.	Visibilité réduite lorsque le bras est à ± 15 cm (6 po) de la source de contamination.
Les fumées et les gaz sont captés entre la source et la zone respiratoire.	
Les articulations externes permettent un ajustement simple et facile d'accès.	

Le principe du bas volume, haute pression implique une captation à la source de faible débit.

La principale différence entre un système à bas ou à haut volume réside dans l'unité d'aspiration. Pour obtenir une aspiration à haute pression (BVHP), il faut une unité plus puissante soit une turbine pouvant supporter de grandes pertes de charge. Pour évaluer ces pertes de charge du système, il faut tenir compte de la longueur des conduits et de leur type, du nombre et de la forme des coudes, ainsi que de la nature des embranchements des canalisations. Ce type de système peut procurer des économies de chauffage intéressantes.

La méthode BVHP permet de :

- réduire le besoin en filtration;
- minimiser les inconvénients des différences de pression dans un bâtiment, car les volumes d'air impliqués sont petits;
- réduire le débit d'air frais requis, ce qui diminue le coût énergétique (chauffage, climatisation, puissance consommée, etc.).

Différents systèmes de captation peuvent fonctionner en BVHP :

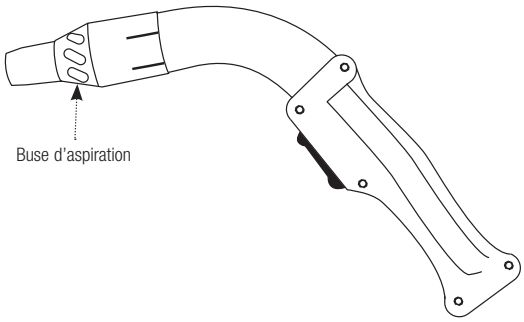
- pistolet de soudage à captation intégrée;
- bras de captation d'un diamètre inférieur ou égal à 5 cm (2 po), rare en soudage;
- microcapteurs intégrés dans un gabarit ou placés au choix à l'aide d'un aimant.

Pistolet de soudage à captation intégrée

Les premiers pistolets offerts sur le marché étaient assez lourds et leur débit n'était pas toujours réglé de façon optimale. Aujourd'hui, les fabricants offrent un produit plus évolué qui semble intégrer plusieurs des qualités techniques requises.

Le pistolet de soudage à captation intégrée possède, tout autour de sa buse, des orifices par lesquels les contaminants sont aspirés sans que les gaz de protection ne le soient.

Pistolet à captation intégrée



Ce pistolet fonctionne de la façon suivante : une turbine produit l'aspiration nécessaire et fait circuler l'air contaminé à travers un tuyau flexible intégré à même le câble d'alimentation du pistolet; le conduit d'aspiration côtoie le fil-électrode, le câble électrique et le tuyau du gaz protecteur.

Avantages et désavantages

La captation intégrée au pistolet de soudage est la meilleure méthode préventive lorsqu'elle est combinée à un système de ventilation générale. Ce pistolet permet de souder de grandes pièces sans que le travailleur doive se soucier de déplacer un bras de captation.

Le débit requis est plus faible que celui de tous les autres systèmes de captation à la source. Par exemple, il peut varier de 0,03 à 0,05 m^3/s (60 à 100 pcm), selon le modèle de pistolet et la puissance requise pour effectuer le soudage en mode semi-automatique.

Étant donné le faible débit requis par chacun des pistolets, les coûts de chauffage de l'air de remplacement sont plus faibles que ceux qu'occasionnent les systèmes de bras de captation à haut volume.

Certains modèles de pistolets sont plus volumineux que d'autres, mais pas nécessairement plus lourds. Il faut donc comparer ceux qu'offrent les différents fabricants. Il faut retenir que l'encombrement d'un

pistolet volumineux peut gêner le travailleur s'il fait le soudage dans un coin. Il est donc important d'essayer différents modèles afin de faire un choix judicieux.

Conseils pour réussir l'implantation des pistolets à captation intégrée

Choix du modèle

Faire appel à différents fournisseurs pour bien choisir le modèle du pistolet qui procure le plus de confort pendant le soudage. Certains sont disposés à prêter une unité mobile avec le pistolet correspondant. Pendant les essais, les soudeurs concernés devraient être consultés.

Choix de la turbine (unité d'aspiration)

Bien choisir la turbine correspondant au pistolet. Chaque modèle possède ses propres caractéristiques de pression exercée à l'entrée et de débit requis. Une turbine trop puissante aspire les fumées mais aussi les gaz de protection, tandis qu'une turbine trop faible ne peut pas fournir le débit requis aux orifices du pistolet, ce qui aura pour effet un captage peu efficace.

Recommandations du fabricant

Suivre les recommandations du fabricant en ce qui concerne la tuyauterie. Une différence minime dans le diamètre des conduits peut diminuer grandement l'efficacité du pistolet. L'entretien du système devra également être spécifié par le fabricant ou le fournisseur.

Justification des coûts

Évidemment, l'achat d'un tel système paraît coûteux à prime abord, car il faut remplacer les pistolets traditionnels par des modèles à captation intégrée. Cependant, les économies de chauffage permettent de s'attendre à un bon retour sur l'investissement.

Les tableaux des pages suivantes présentent un résumé de l'analyse comparative des coûts réels de pistolets à captation intégrée et d'un système de bras de captation à haut débit.

Améliorations des pistolets à captation intégrée de dernière génération	
Flexibilité du faisceau	Le faisceau contenant les fils électriques, le conduit d'aspiration et le fil à souder sont plus flexibles qu'ils ne l'étaient.
Joint à rotule	La rotule qui se trouve au joint entre les câbles et le pistolet facilite la manipulation du faisceau, car elle évite de créer une torsion sur le faisceau.
Aucun ajustement de la buse	Les anciens modèles exigeaient d'ajuster la buse pour permettre une meilleure captation. Cet ajustement étant maintenant inutile, il est donc éliminé sur la plupart des modèles.
Contrôle du débit	Le soudeur peut ajuster le débit à l'entrée de la buse pour éviter d'aspirer les gaz de protection dans certaines situations, par exemple quand il soude dans le coin d'une pièce métallique.

On peut consulter deux études sur le sujet des pistolets à captation intégrée sur le site de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail (IRSST) :

- *Ventilation par extraction à la source : les pistolets MAG et MIG,* IRSST, octobre 1990, Van Hiep Nguyen et Claude Létourneau.
- *Impact de l'utilisation des pistolets à captation intégrée sur l'activation musculaire des membres supérieurs, la perception psychophysique et la qualité des assemblages soudés,* IRSST, R-152, février 1997, Yves Beauchamp, Michel Galopin, Denis Marchand et Marc Thomas.

Exemple de calcul des coûts de chauffage

Calcul du coût de chauffage pour différentes situations pour 10 postes de travail*

$$\text{Coût annuel} = \frac{15{,}18 \times Q_v \times C \times DJ \times NJO \times f_a \times f_b}{\eta \times E}$$

où :

$$15{,}18 : \left(1{,}23 \ \frac{kJ}{m^3 \cdot {}^oC} \times 3600 \ \frac{s}{h} \times \frac{m^3}{1000\ L} \times \frac{24\ h}{j} \times \frac{sem.}{7\ j} = 15{,}18 \ \frac{kJ\ s\ sem.}{{}^oC \cdot J^2 \cdot L}\right)$$

Q_v	Débit d'alimentation (l/s) - ex. : 9 500 pi³/min (28,316 l/pi³ x 1 min/60 sec) = 4 483 l/s et 750 pi³/min donne 354 l/s
C	Coût du gaz naturel ($/m³) et du propane ($/m³) *(source : www.propanefacts.ca)* ex. : en 2012, le gaz naturel coûtait environ 0,45 $/m³ et le propane, 1,72 $/m³ ou 0,464 $/l liquide
DJ	Nombre de degré-jour par année (°C · j/an) de la localité, tel qu'indiqué au tableau 1 de la page suivante
NJO	Nombre de jours ouvrables par semaine (j/sem)
f_a	Facteur de correction pour la température de soufflage, tel qu'indiqué au tableau 2 de la page suivante
f_b	Facteur d'utilisation pour le quart de travail (T_{nuit} + T_{jour} + T_{soir}), tel qu'indiqué au tableau 3 de la page suivante
η	Rendement thermique de combustion du gaz - pour un feu indirect, le rendement est d'environ 0,7 et pour un feu direct, d'environ 0,95
E	Valeur calorifique ex. : gaz naturel (38 000 kJ/m³ - valeur moyenne), propane (95 000 kJ/m³ de gaz, soit 1l de liquide évaporé = 0,27 m³ de gaz)

** Informations tirées de Qualité de l'air en milieu industriel – Guide de ventilation, CNESST, IRSST, AQME, Beaulier inc., 1998 et de Guide d'estimation des coûts de systèmes de ventilation pour l'industrie des matériaux composites, préparé par Beaulier inc. pour la CNESST, novembre 1996.*

Bras de 20 cm (8 po) - débit de 9 500 pcm, chauffage à flamme directe au gaz naturel pour un quart de travail (5 jours) à Montréal.

$$\frac{15{,}18 \times Q_v \times C \times DJ \times NJO \times f_a \times f_b}{\eta \times E}$$

$$\frac{15{,}18 \times 4\,483 \times 0{,}45 \times 4\,500 \times 5 \times 1{,}00 \times (0{,}25)}{0{,}95 \times 38\,000}$$

Coût annuel : 4 772 $

Bras de 20 cm (8 po) - débit de 9 500 pcm, chauffage à flamme directe au gaz naturel pour deux quarts de travail (jour et soir) (5 jours) à Montréal

$$\text{Coût annuel} = \frac{15{,}18 \times Q_v \times C \times DJ \times NJO \times f_a \times f_b}{\eta \times E}$$

$$\frac{15{,}18 \times 4\,483 \times 0{,}45 \times 4\,500 \times 5 \times 1{,}00 \times (0{,}25 + 0{,}35)}{0{,}95 \times 38\,000}$$

Coût annuel : 11 452 $

Pistolets à captation intégrée - débit de 750 pcm, chauffage à flamme directe au gaz naturel pour un quart de travail (5 jours) à Montréal

$$\frac{15{,}18 \times 354 \times 0{,}45 \times 4500 \times 5 \times 1{,}00 \times (0{,}25)}{0{,}95 \times 38\,000}$$

Coût annuel : 376 $

Pistolets à captation intégrée - débit de 750 pcm, chauffage à flamme directe au gaz naturel pour deux quarts de travail (5 jours) à Montréal

$$\frac{15{,}18 \times 354 \times 0{,}45 \times 4500 \times 5 \times 1{,}00 \times (0{,}25 + 0{,}35)}{0{,}95 \times 38\,000}$$

Coût annuel : 904 $

••• Information

COÛTS À L'ACHAT
OU COÛTS DE FONCTIONNEMENT

L'achat de pistolets à captation intégrée peut représenter un investissement considérable, mais il ne faut pas considérer le seul coût d'achat car les économies générées par le fait que l'on déplace de bien plus petits volumes d'air sont aussi substantielles. En effet, il faut remplacer l'air que l'on retire et, au Québec, le coût de chauffer l'air de remplacement est important. Voici un exemple détaillé du calcul comparatif de deux options : pistolet à captation intégrée vs bras de captation. On y constate qu'investir dans des pistolets à captation intégrée peut être rapidement rentable.»

Tableau 1

Degrés-jours (° C· j/an) pour diverses localités du Québec	
Degrés-jours (° C· j/an)	**Localités du Québec**
5 400	Chicoutimi
5 400	Gaspé
4 500	Montréal
5 200	Québec
6 200	Sept-Îles
4 600	Sherbrooke
5 000	Trois-Rivières
6 200	Val-d'Or

Tableau 2

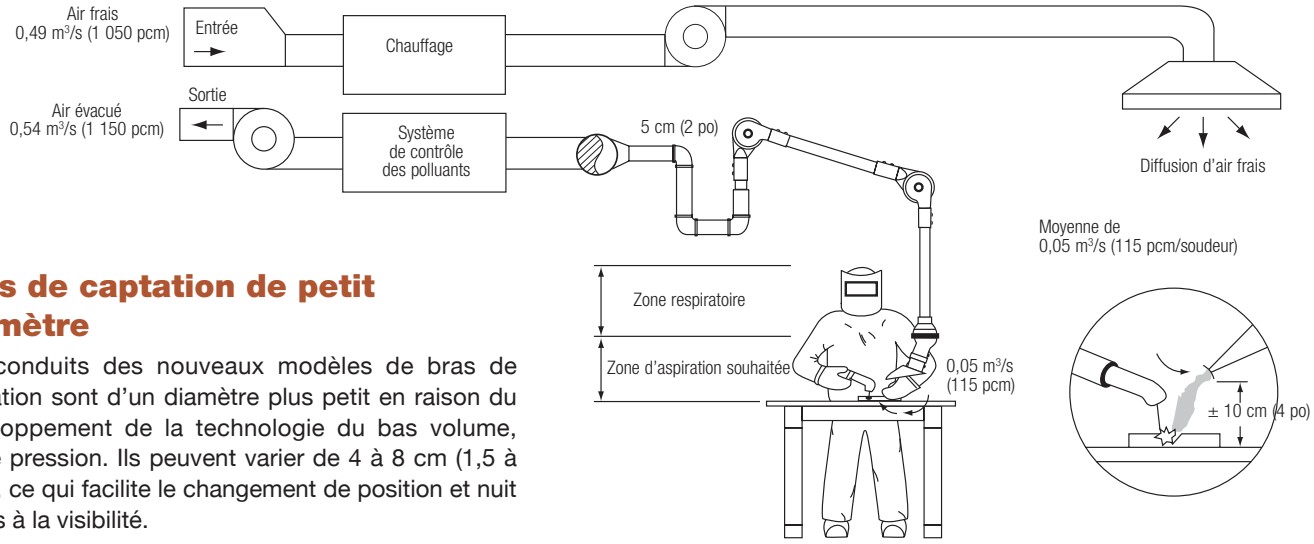
Facteur de correction pour la température d'alimentation de l'air	
Tal (° C)	**f_a**
16	0,89
17	0,95
18	1,00
19	1,06
20	1,12
21	1,18
22	1,24
23	1,31
24	1,38
25	1,46
26	1,54

Tableau 3

Facteur d'utilisation pour le quart de travail	
Quart de travail	**Facteur d'utilisation**
Quart de nuit	0,40
Quart de jour	0,25
Quart de soir	0,35

Comparaison des coûts de chauffage et d'achat d'équipement sans compter les besoins de ventilation générale		
	Pistolet et système de bras de captation	**Pistolet avec captation intégrée**
Bras Ø 20 cm (8 po) et ventilateur 10 x 2 000 $ (débit d'évacuation 10 000 pcm et apport d'air frais chauffé de 9 500 pcm)	20 000 $	
Pistolets et turbine 10 x 2 500 $ (apport d'air de 750 pcm)		25 000 $
Coût annuel de chauffage pour deux quarts de travail à 5 jours/semaine	11 452 $	904 $
TOTAL 1re année	31 452 $	25 904 $
TOTAL après 3 ans (coût d'acquisition + coût de chauffage, sans compter l'inflation, ni les coûts des réparations)	54 356 $	27 712 $
TOTAL après 5 ans (coût d'acquisition + coût de chauffage, sans compter l'inflation, ni les coûts des réparations)	77 260 $	29 520 $

Bras de captation de 5 cm (2 po) de diamètre
Source : HENLEX



Bras de captation de petit diamètre

Les conduits des nouveaux modèles de bras de captation sont d'un diamètre plus petit en raison du développement de la technologie du bas volume, haute pression. Ils peuvent varier de 4 à 8 cm (1,5 à 3 po), ce qui facilite le changement de position et nuit moins à la visibilité.

Bras de captation d'un diamètre de 5 cm (2 po)	
Avantages	**Inconvénients**
Le positionnement du capteur est à ± 10 cm (4 po) de la source d'émission.	Demande de positionner la buse de captation avec une attention particulière pour obtenir une efficacité maximale.
Les fumées et les gaz sont captés entre la source d'émission et la zone respiratoire.	Convient peu pour le soudage de pièces moyennes ou grandes, s'il faut le déplacer continuellement pour le conserver suffisamment près du point de soudure.
Si les articulations sont externes, elles permettent un ajustement simple et facile d'accès. Les déplacements se font d'une seule main.	
Le débit d'air est d'environ 0,05 à 0,06 m³/s (100 à 125 pi³/min), selon la forme de la buse de captation.	

Microcapteurs intégrés au gabarit

Ces microcapteurs sont en fait des buses d'aspiration de petit diamètre aménagées directement au niveau du gabarit de positionnement des pièces à souder. Il ne s'agit donc pas de bras de captation devant être déplacés suivant la soudure, mais bien d'une captation intégrée au gabarit qui supporte la pièce à souder.

L'efficacité de la captation dépend du nombre de capteurs et de leur emplacement par rapport aux points à souder. Ce type de système s'adapte bien à la production en série de pièces semblables devant être assemblées sur des positionneurs.

Microcapteurs intégrés au gabarit	
Avantages	**Inconvénients**
Captation intégrée sans l'intervention du soudeur.	Plus il y a de capteurs, plus le débit total par poste de travail sera important.
Ne requièrent pas de pistolet de soudage spécial.	Installation permanente ou presque.
Captent les fumées qui continuent à émaner après le soudage, notamment sur des pièces enduites d'huile ou de graisse.	Système inadéquat pour les productions flexibles.



Installation d'un filet en acier inoxydable autour de la buse

Table d'eau

Les tables d'eau sont surtout utilisées pour la coupe au plasma et au gaz. Elles sont très efficaces pour retenir les fumées produites par la coupe du métal. La conception de ces tables est assez simple : il s'agit d'un réservoir d'eau situé sous la surface de coupe. Les fumées soufflées par le jet de coupe sont dirigées dans le bassin d'eau qui retient les particules. En plus d'offrir une très grande efficacité de captation et d'absorption des fumées, ce système occasionne des coûts d'utilisation minimes, vu l'absence de ventilation d'extraction.

Évidemment, il faut respecter certaines procédures pour nettoyer le réservoir et jeter les particules métalliques accumulées dans le fond. La fréquence de la vidange d'eau souillée dépend du procédé de coupe utilisé et du degré d'encrassement. L'ajout d'additifs dans l'eau (antibactériens et autres) n'est pas obligatoire si le bassin est entretenu régulièrement.

Il peut se produire une accumulation d'hydrogène en faible concentration à la surface de l'eau, selon le procédé utilisé. L'hydrogène étant un gaz inflammable, cela présente un certain risque d'ignition, car une boule de feu pourrait se créer. Il faut donc assurer la dilution de ce gaz par une simple ventilation balayant la surface de l'eau.

En général, pour être efficace, le bassin d'eau doit avoir de 45 à 50 cm (18 à 20 po) de profondeur. La hauteur du niveau de l'eau doit se rapprocher de 5 à 10 cm (2 à 4 po) de la zone de coupe. Lors de la conception du bassin, il ne faut pas oublier d'évaluer sa structure pour qu'elle soit en mesure de supporter le poids de l'eau. Par exemple, une table de 1,5 m (5 pi) de largeur sur 3,7 m (12 pi) de longueur peut contenir un volume d'eau de 2 800 litres (100 pi^3 ou 750 gallons) qui pèse près de 2 800 kg (6 200 lb), soit près de 3 tonnes.

Filet métallique contre l'ozone

Le plasma est l'un des procédés qui génère de l'ozone. Ce gaz se produit autour du point de coupage ou de soudage dans un rayon de quelques pieds. Il peut s'y accumuler et même, dans certains cas, dépasser la valeur d'exposition réglementée.

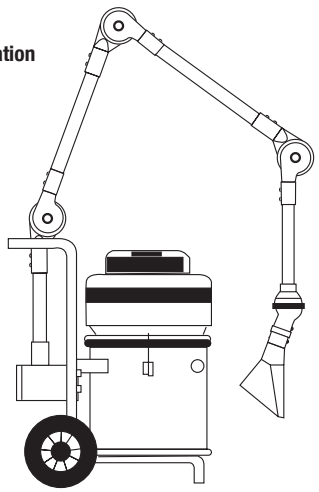
L'ozone est généré par le rayonnement intense provenant du point de coupage ou de soudage et l'air ambiant. Les rayons ultraviolets scindent des molécules d'oxygène (normalement O_2) et celles-ci vont se lier avec d'autres molécules instables d'oxygène pour produire l'ozone (O_3). Une table d'eau ou un bras de captation n'a que très peu d'effet sur ce contaminant puisqu'il est produit plus loin. Toutefois, l'ajout d'un filet métallique en acier inoxydable autour de la buse crée une barrière physique qui peut diminuer la génération d'ozone.

Unité de filtration mobile

Il existe des unités de filtration mobiles des fumées de soudage. Elles acceptent généralement jusqu'à deux pistolets de soudage avec captation intégrée ou deux bras de captation.

Les unités de filtration mobiles devraient être utilisées pour des opérations d'entretien ou des travaux de courte durée, à moins d'indications contraires de la part du fabricant, car leur capacité filtrante est faible et elles requièrent un entretien rigoureux. Les filtres habituellement utilisés sont cellulosiques. On devrait éviter les filtres électrostatiques à moins d'exceller dans les nettoyages de routine, car ils s'encrassent très rapidement. Il faut toutefois se souvenir que les gaz ne sont pas filtrés à moins que l'on utilise un filtre au charbon activé.

Unité mobile de filtration
Source : HENLEX



3

Filtration des fumées et des gaz

Il est très important de capter les fumées et les gaz avant qu'ils ne parviennent à la zone respiratoire des travailleurs. Une fois captés, il faut savoir quoi en faire, où les diriger ou comment les filtrer pour s'assurer qu'ils ne reviendront pas dans l'environnement de travail.

Réglementation

Le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère stipule que les activités de toute opération de soudage ou de travail des métaux ne doivent pas émettre dans l'atmosphère (à la sortie de la cheminée d'évacuation) des particules à une concentration supérieure à 30 mg/m^3 dans des conditions normalisées.

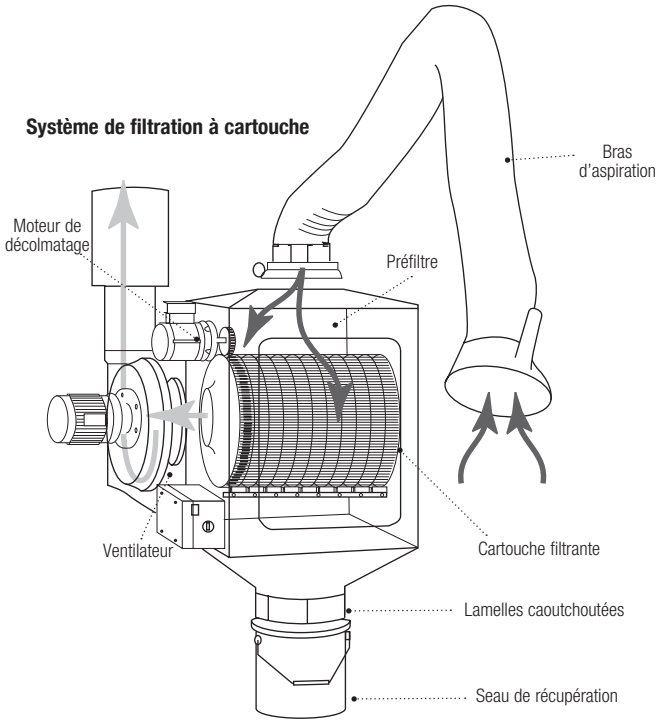
Dans tous les cas, il est préférable de vérifier les exigences des autorités responsables (municipalité de Montréal, Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs ou autre) et d'obtenir un permis d'installation.

Types de dépoussiéreurs

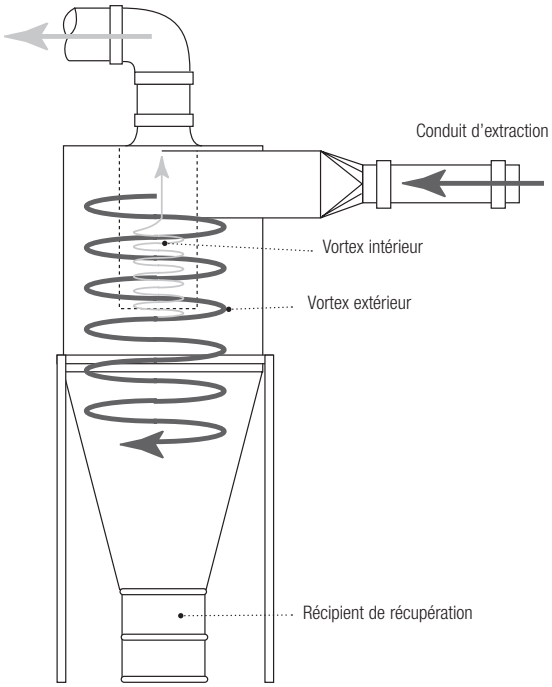
Il existe différents types de systèmes de filtration en fonction de la nature, de la forme et de la taille des polluants. Il est à noter que le dépoussiéreur doit être protégé par divers éléments de sécurité lorsque les poussières sont combustibles

Le tableau de la page suivante présente les types de dépoussiéreurs et de systèmes de filtration existants ainsi que des informations pertinentes à leur sujet.

Système de filtration à cartouche



Dépoussiéreur centrifuge ou cyclone



Dépoussiéreurs		
Types	**Types de polluants**	**Informations**
Dépoussiéreur centrifuge ou cyclone	Grosses particules	• Utilisation pour les grosses particules (> 50 microns). • Efficacité de 85 % à 90 % pour les grosses particules. • Habituellement utilisé pour les grosses particules mais aussi commercialisé pour les fumées de soudage, mais n'enlève que les plus grosses particules et évacue les fumées (plus petites) à l'extérieur de l'usine. • Efficacité constante. • Ne requiert aucun nettoyage. • Exemples d'applications : sciage d'aluminium, banc de scie, retailles de papier, etc.
Dépoussiéreur à sac filtrant	Grosses particules	• Utilisation avec les poussières ayant tendance à se colmater. • Entretien requis : vidange au besoin, nettoyage des sacs filtrants, etc. • Exemples d'applications : procédés de caoutchouc, de céramique, etc.
Dépoussiéreur à cartouches	Particules et fumées de soudage	• Grande utilisation pour la filtration des fumées de soudage. • Efficacité de 99,97 % à 0,5 micron des deux types de cartouches. • Cartouches formées de tissus de fibres cellulosiques ou de fibres cellulosiques et de polyester (80 % de fibres cellulosiques et 20 % de polyester). • Cartouches nettoyées continuellement par un jet d'air. L'air est admis de l'extérieur de la cartouche et aspiré vers son centre. Un gâteau se forme et l'efficacité augmente. Un jet d'air pousse les poussières vers le bas. • Maintenance requise : ex. : changement des cartouches au besoin. • Exemples d'applications : particules fines non abrasives, telles que fumées de soudage, poussières de céramique et de produits chimiques, etc.
Filtre électro-statique	Certains types de brouillards et particules non con-ductives	• À ÉVITER POUR LES APPLICATIONS DE SOUDAGE, car les fumées métalliques sont des particules conductives. • Autrefois, grandement utilisé dans les unités de filtration. • Coût de maintenance élevé et fonctionnement « tout ou rien » le désavantagent. • Principe de fonctionnement : ionisation. Les fumées sont chargées négativement et attirées sur la partie positive d'un champ magnétique. • Filtre à haute efficacité peut améliorer l'efficacité. • Possibilité de filtration à une, deux ou trois passes. L'efficacité est soit de 90 % (1 passe), 99 % (2 passes) ou 99,9 % (3 passes). Si mauvais fonctionnement : efficacité nulle. • Exemples d'applications : brouillards d'huile, etc.
Épurateur par adsorption	Gaz	• Épuration de l'air (de certains gaz) à l'aide d'une surface solide adsorbante, telle que le charbon actif, l'alumine activée, le gel de silice, etc. • Peut filtrer certains gaz de soudage (rarement utilisé à cette fin). • Efficacité et longévité variant selon le modèle et l'application.
Épurateur par voie humide (*scrubber*)	Particules combus-tibles	• Dépoussiéreur à barbottage. • Des goutelettes d'eau capturent les particules. • Différents modèles offerts pour diverses applications. • Utilisé surtout pour des particules combustibles qui présentent un risque d'explosion ou d'incendie lorsqu'elles sont sèches. • Traitement adéquat de l'eau requis. • Exemples d'applications : poussières de sciage ou meulage d'aluminium, etc. • Épurateur par absorption.
	Gaz et vapeur	• Barbotage de l'air contaminé dans un liquide qui absorbe les gaz et les vapeurs. Le gaz ou les vapeurs doivent être solubles avec le liquide ou y réagir chimiquement. • Performance en fonction du modèle choisi. • Exemples d'applications : procédé d'électroplacage, solvants, etc.



Chapitre 9

Procédures de travail particulières

1 Travail dans un espace clos
2 Travail sur un petit réservoir
3 Travail à chaud

1 Travail dans un espace clos

Les espaces clos augmentent le risque de contamination par les gaz et les fumées de soudage. Ceux-ci ne peuvent en effet pas s'en évacuer puisque ces endroits totalement ou partiellement fermés sont souvent mal ventilés ou des produits toxiques couvrent déjà leurs parois. Ce chapitre n'est qu'une simple introduction au sujet, qui nécessite une analyse plus approfondie pour qu'il soit possible d'éliminer tous les risques.

Voici comment le Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST) définit un espace clos : *« Tout espace totalement ou partiellement fermé, notamment un réservoir, un silo, une cuve, une trémie, une chambre, une voûte, une fosse, y compris une fosse et une préfosse à lisier, un égout, un tuyau, une cheminée, un puits d'accès, une citerne de wagon ou de camion, qui possède les caractéristiques inhérentes suivantes :*

1) il n'est pas conçu pour être occupé par des personnes, ni destiné à l'être, mais qui à l'occasion peut être occupé pour l'exécution d'un travail;

2) on ne peut y accéder ou on ne peut en sortir que par une voie restreinte;

3) il peut présenter des risques pour la santé, la sécurité ou l'intégrité physique pour quiconque y pénètre, en raison de l'un ou l'autre des facteurs suivants :

a) l'emplacement, la conception ou la construction de l'espace, exception faite de la voie prévue au paragraphe 2);

b) l'atmosphère ou l'insuffisance de ventilation naturelle ou mécanique qui y règne;

c) les matières ou les substances qu'il contient;

d) les autres dangers qui y sont afférents. »



Exigeances

Le RSST fournit plusieurs exigences relatives au travail dans un espace clos, dont voici les principales :

- Seuls les travailleurs ayant les connaissances, la formation ou l'expérience requises peuvent effectuer un travail en espace clos.

AVANT l'exécution du travail :

- Des renseignements écrits concernant les **dangers** spécifiques à l'espace clos (ventilation insuffisante, configuration intérieure, pièces en mouvement, sources d'inflammation, etc.) et les **mesures préventives** à prendre (méthodes de travail, EPI, procédure de sauvetage, etc.) doivent être disponibles sur les lieux.
- Ces renseignements doivent être communiqués au travailleur.
- Une ventilation adéquate doit être assurée.
- Des relevés des concentrations de l'oxygène et des gaz ou des vapeurs inflammables (et autres contaminants si nécessaire) doivent être effectués. Des limites précises doivent être respectées. Par exemple : la concentration d'oxygène doit se situer entre 19,5 % et 23 %.
- Un surveillant ayant les habiletés et les connaissances requises doit être désigné.
- Une procédure de sauvetage doit être établie et connue des personnes impliquées.

PENDANT l'exécution du travail :

- Une ventilation suffisante doit être assurée pour maintenir les concentrations de contaminants sous les limites permises.
- Des relevés des concentrations de l'oxygène et des gaz ou des vapeurs inflammables (et autres si nécessaire) doivent être effectués en continu, au cours du travail à chaud.
- Le surveillant doit demeurer à l'extérieur de l'espace clos et garder un contact avec le travailleur à l'intérieur. Il doit être en mesure de déclencher la procédure de sauvetage en cas de problème. Cette procédure doit prévoir les équipements et les moyens nécessaires, par exemple : appareils d'alarme, harnais de sécurité, cordes d'assurance, plan d'évacuation, etc.

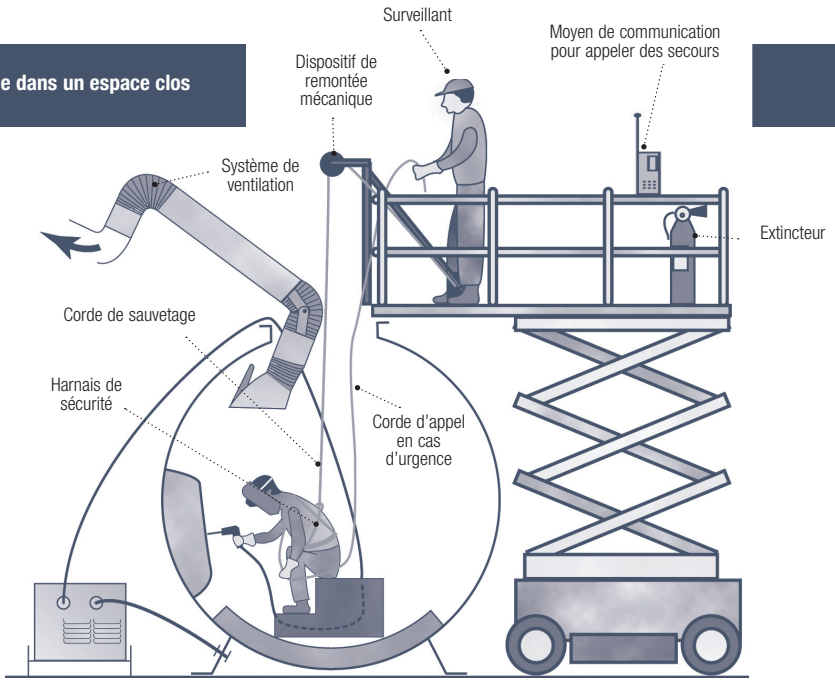
Mesures de prévention

Ventilation

On recommande généralement un minimum de 20 changements d'air à l'heure dans un espace clos où le travail produit une faible quantité de contaminants. Toutefois, les conditions peuvent exiger un nombre plus élevé de changements d'air à l'heure.

Il faut ventiler adéquatement les espaces clos en s'assurant de :

1) respecter les normes en matière de concentration de fumées, de gaz et de poussières (exemples : monoxyde de carbone, bioxyde d'azote, etc.);
2) ne pas dépasser une concentration de gaz combustibles égale à 10 % de la limite inférieure d'explosivité (LIE);
3) respecter un taux d'oxygène normal, c'est-à-dire de 19,5 % à 23 %. Il ne faut jamais utiliser d'oxygène ou d'autres mélanges pour ventiler un espace confiné; seul l'air doit être employé.



Procédé oxygaz

Lorsque les travaux sont exécutés dans un espace clos, on doit s'assurer de bien fermer les robinets du chalumeau après chaque usage pour réduire au maximum le risque d'accumulation de gaz. L'alimentation en gaz et en oxygène doit être complètement coupée de l'extérieur avant tout arrêt prolongé, comme à l'heure du lunch ou à la fin de la journée. De plus, le chalumeau et les tuyaux ne doivent pas être laissés dans l'espace clos.

Les connecteurs rapides « Quick connect » ne sont pas admissibles dans un espace clos.

Cadenassage

Une procédure de cadenassage doit être appliquée pour s'assurer qu'aucune source d'énergie présentant un danger ne soit réactivée durant les travaux dans l'espace clos. Vous pouvez consulter le guide *Réussir l'implantation d'un programme de cadenassage* sur notre site Web à www.multiprevention.org.

Bouteilles de gaz et sources de courant

Il faut garder les bouteilles de gaz et les sources de courant à l'extérieur de l'espace clos.

Il faut procéder à un test d'étanchéité de tous les raccords, tuyaux et canalisations de gaz avant d'entreprendre des opérations de soudage ou de coupage afin d'éviter qu'une fuite se produise dans l'espace clos.

Programme de gestion des espaces clos

Pour éviter tout accident relié à l'entrée dans un espace clos, il incombe à l'entreprise d'élaborer et d'implanter un programme de gestion des espaces clos. Ce dernier aura pour objectif de s'assurer de fournir aux travailleurs un lieu sécuritaire où accomplir leurs tâches. Les principales étapes de sa réalisation sont présentées ci-après. Pour établir un programme complet, consultez d'autres documents de référence.

L'employeur doit d'abord désigner une personne qualifiée pour élaborer le programme. Cette personne devra solliciter la participation des travailleurs concernés par l'entrée dans un espace clos. Elle sera responsable des étapes suivantes :

1. Identifier les espaces clos selon la définition mentionnée précédemment.
2. Évaluer les dangers spécifiques à chaque espace clos identifié.
3. Élaborer les mesures de prévention en fonction des dangers présents.
4. Utiliser les renseignements colligés en 2 et 3 pour rédiger une fiche d'entrée en espace clos.
5. Élaborer une procédure de travail sécuritaire (remplir une fiche d'entrée en espace clos, assurer la présence d'un surveillant, ventiler, mesurer les concentrations, utiliser des EPI, etc.).
6. Élaborer une procédure de sauvetage.
7. Acquérir le matériel nécessaire (équipements de protection, équipements de sauvetage, détecteur de gaz, etc.).
8. S'assurer que les travailleurs reçoivent une formation pour le travail en espace clos.
9. Informer les travailleurs et les superviseurs des procédures établies.

10. Éprouver la procédure de sauvetage.
11. Faire un suivi pour s'assurer que les procédures établies sont appliquées.

Analyse d'un espace clos

Afin de faire une bonne analyse des espace clos, il faut repérer tous les risques possibles et élaborer des moyens de prévention pour chacun d'eux. Cette cueillette d'informations et l'analyse sollicitent l'expertise d'une personne qualifiée en la matière, mais aussi la participation des travailleurs qui devront entrer dans l'espace clos.

Le tableau ci-dessous montre quelques exemples de risques que vous pouvez rencontrer et les moyens de prévention correspondants lors de soudage dans un réservoir en construction, c'est-à-dire qui n'a jamais contenu de produits dans les limites permises.

Risques	Informations additionnelles sur le risque	Moyens de prévention
Contaminants	• Le réservoir neuf doit subir des activités de soudage. Cela produira des fumées et des gaz.	• Utiliser un détecteur de gaz. Minimalement, l'oxygène et les gaz ou vapeurs inflammables doivent être mesurés. Étant donné la présence possible de monoxyde de carbone en raison du soudage, un détecteur de gaz portable 3 gaz (oxygène, gaz ou vapeurs inflammables et monoxyde de carbone) devrait être utilisé. • Ventiler adéquatement pour abaisser les concentrations dans les limites permises. • Installer un bras de captation près du soudeur. • Porter une protection respiratoire appropriée, selon les contaminants présents et leur concentration.
Électrisation	• Le procédé MIG est un procédé électrique.	• Porter des vêtements secs, des gants de cuir ainsi que des bottes munies de semelles isolantes. • Installer le câble de retour du courant le plus près possible de la soudure à faire afin d'avoir une bonne continuité électrique. • Installer un tapis isolant si le soudeur doit s'agenouiller ou s'allonger sur la pièce à souder.

Fiche d'entrée en espace clos

●●● Exemple de fiche

Suivant l'analyse et l'élaboration des moyens de prévention, il faut préparer une fiche d'entrée en espace clos.

Cette fiche doit être complétée avant l'entrée et affichée à l'entrée de l'espace clos.

La fiche d'entrée en espace clos est valide pour un seul quart de travail.

Fiche numéro : _____

N° ou description de l'espace clos	Date et heure du début	Date et heure de fin

Analyse de risque disponible sur demande

Localisation et accès des lieux : _____

Travail à effectuer : _____

Risques spécifiques : _____

_____

Se procurer le matériel requis

- ☐ Lunette de sécurité
- ☐ Lumière ou lampe de poche intrinsèque
- ☐ Casque de soudeur
- ☐ Système de filtration au casque
- ☐ Protection respiratoire : _____
- ☐ Gants
- ☐ Visière
- ☐ Harnais de sécurité
- ☐ Treuils à l'extérieur de l'espace clos
- ☐ Dispositif antichute
- ☐ Trépied à l'extérieur de l'espace clos
- ☐ Ligne de vie
- ☐ Matériel de cadenassage
- ☐ Bottes de sécurité avec semelles isolantes
- ☐ Protection auditive
- ☐ Ventilation (extraction, soufflage)
- ☐ Détecteur de gaz
- ☐ Salopette ou survêtement en coton
- ☐ Tapis isolant

Faire une vérification avant l'entrée en espace clos	
☐ Vérifier le fonctionnement du détecteur de gaz (test de fonctionnalité) ☐ Vidange et purge de l'espace clos effectués ☐ Moyens de communication vérifiés ☐ Surveillant en place	☐ Procédure de sauvetage connue Ventilation permanente en fonction : ☐ Aspiration ☐ Souffleuse Temps minimum avant l'entrée (min. 15 min)

Analyser l'atmosphère et inscrire les résultats			
Numéro du détecteur	**Avant l'entrée**	**À l'intérieur**	**Autres** (en cas d'alarme)
Taux d'oxygène (viser 20,9%)			
Gaz et vapeurs inflammables (viser 0%)			
Monoxyde de carbone (viser 0%)			

Note : Pour des activités de soudage, porter un détecteur de gaz continu.

En cas d'urgence appeler : _____

Je soussigné, affirme avoir pris connaissance du contenu de cette fiche et accepte les responsabilités qui en découlent.			
Représentant	**Nom (lettres moulées)**	**Signature**	**Date**
Travailleur # 1			
Travailleur # 2			
Surveillant			
Superviseur			

Pour en savoir plus

Articles 297 à 312 inclusivement du Règlement sur la santé et la sécurité du travail (RSST), dernière modification du 4 janvier 2007.

Gestion du travail dans les espaces clos, CSA Z1006-10.

Complete confined spaces handbook, John F. Rekus, MS, CIH, CSP, Safety and Health Consultant, Riderwood, Maryland, Lewis Publishers.
Numéro au Centre de documentation de la CNESST : MO 017171.

Les espaces clos : Pour en sortir sain et sauf, Guide de prévention, 2e édition, Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur des affaires municipales, 2004.

Safety requirements for confined spaces, American National Standard, ANSI/ASSE Z117.1-2009.

2 Travail sur un petit réservoir ayant contenu un produit dangereux

Ce genre d'activité présente des risques supplémentaires pour la santé et la sécurité par rapport aux tâches de soudure habituelles. Le travail à chaud sur réservoirs contenant ou ayant contenu une substance inflammable, telle que de l'essence, pose en effet de graves dangers. Les informations qui suivent ne sont qu'une entrée en la matière, et nous vous recommandons d'établir une procédure claire et sécuritaire avant d'entreprendre toute forme de soudage ou de coupage sur un réservoir ayant contenu des produits dangereux, souvent inflammables.

Sources de danger

Le danger peut provenir de la toxicité du contenu ou de la présence possible de poussières explosives. Un réservoir ou un contenant peut aussi ne jamais avoir renfermé de matières dangereuses et présenter tout de même un danger important. En effet, le soudage de récipients recouverts d'un enduit qui peut être toxique ou inflammable doit également être réalisé avec précaution.

Avant d'effectuer des travaux de soudage ou de coupage sur des réservoirs et des contenants, il faut respecter les étapes suivantes.

Personne qualifiée

Il est important de désigner une personne qualifiée pour gérer ce type de travail. Choisie par l'employeur ou par l'entrepreneur, elle doit avoir fait des études ou avoir reçu une formation particulière, ou les deux. Elle doit être en mesure d'anticiper, reconnaître et évaluer les conditions de travail non sécuritaires et l'exposition à des substances dangereuses. Cette personne doit aussi pouvoir spécifier les mesures de contrôle et les actions à faire pour que les travailleurs puissent effectuer la tâche en toute sécurité.

Nature des substances

Il faut savoir quelle substance a été entreposée dans le contenant ou le réservoir. Il faut obtenir sa fiche signalétique pour pouvoir choisir les mesures de sécurité appropriées. Il est également essentiel de bien connaître la configuration interne du contenant afin de déterminer les endroits où le nettoyage pourrait être difficile ou même impossible.

Préparation pour le nettoyage

- Le réservoir doit être transporté à l'extérieur si cela est possible. S'il faut absolument le nettoyer à l'intérieur, il faut prévoir une ventilation adéquate pour évacuer efficacement les vapeurs dangereuses en toute sécurité.
- Le travailleur chargé du nettoyage doit porter un équipement de protection individuelle approprié à la substance dangereuse. Il ne doit pas entrer à l'intérieur.
- La technique de nettoyage doit être choisie en fonction des propriétés des substances à déloger ainsi que des risques que la tâche présente.

Préparation avant le soudage ou le coupage

L'intérieur du récipient ou du réservoir doit être analysé à l'aide d'un détecteur de gaz approprié pour déterminer si le niveau de vapeur et de gaz est suffisamment bas. S'il est encore trop élevé, il faut recommencer les étapes du nettoyage. Des tests doivent également être réalisés immédiatement au début des opérations de soudage et pendant toute leur durée.

Voici quelques techniques pour permettre le déplacement ou l'enlèvement des vapeurs inflammables de petits réservoirs **qui ne nécessitent pas l'entrée d'un travailleur**. D'autres documents doivent être consultés pour pouvoir établir la meilleure procédure selon le cas.

Purge avec de l'eau

On peut utiliser cette technique lorsque la substance dangereuse est soluble dans l'eau ou qu'elle peut facilement être déplacée par de l'eau. Dans ce cas, on peut aisément enlever le résidu en remplissant complètement le contenant ou le réservoir d'eau et en le vidant à plusieurs reprises. Par exemple, des réservoirs contenant des acides solubles dans l'eau ou des substances alcalines peuvent ainsi être nettoyés efficacement. Il faut s'assurer que toute trace de l'acide ou de la substance alcaline a été éliminée, car il peut arriver qu'un acide dilué réagisse avec le métal pour former de l'hydrogène, là où un acide concentré n'aurait peut-être pas réagi.

Il est également possible de remplir le réservoir ou le contenant avec de l'eau ou du sable plutôt qu'avec un gaz inerte. Dans ce cas, le niveau d'eau ou de sable doit se trouver à quelques centimètres seulement du point de soudure. Le haut de la surface de l'eau ou du sable doit être ventilé efficacement pour que les gaz chauds puissent s'échapper par le dessus.

Purge avec de l'air

Il est possible de purger un contenant avec de l'air. Si les ouvertures sont assez grandes, on peut y installer des ventilateurs ne causant pas d'ignition de part et d'autre pour pousser le contenu d'un côté et pour l'aspirer de l'autre. Si l'ouverture est trop petite, on peut y mettre un tuyau de façon à ce que l'air contaminé soit évacué dans un lieu sûr. Il faut prendre des précautions pour éviter toutes les sources d'ignition à proximité lorsqu'on procède à ce genre d'opération. Il faut aussi maintenir une mise à la masse entre les ventilateurs et le contenant à nettoyer.

Purge à l'aide d'un gaz inerte

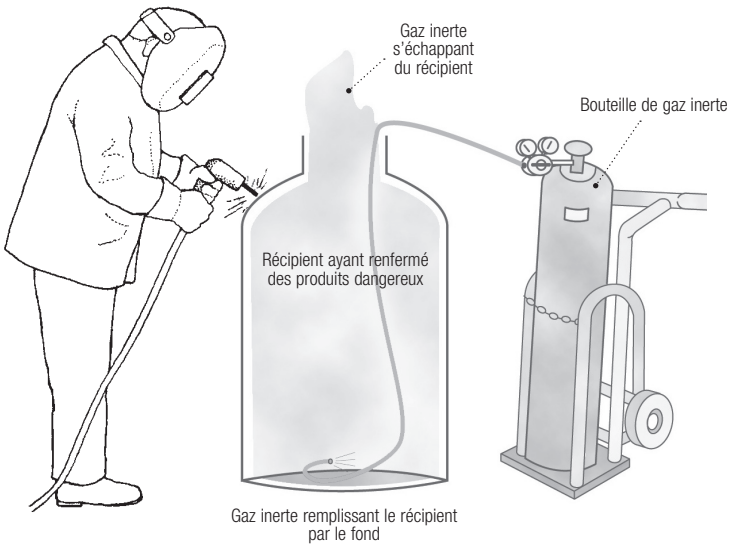
Pour minimiser la possibilité qu'un travailleur se trouve en présence de concentrations de vapeurs inflammables explosibles, le contenant peut subir une première purge à l'aide d'un gaz inerte, puis être ventilé avec de l'air.

Purge à l'aide de vapeur d'eau

Cette technique consiste à utiliser de la vapeur à basse pression pour déloger les matières dangereuses des parois d'un contenant. L'utilisation d'équipements de protection appropriés est également essentielle pour protéger de la vapeur le responsable du nettoyage. Si l'on emploie une buse de pulvérisation et si l'atmosphère est explosive, le contenant doit être mis à la terre pendant le nettoyage pour minimiser le potentiel de décharges statiques.

Inertage

S'il est impossible d'enlever la totalité des substances dangereuses d'un contenant, on peut faire une purge de l'oxygène qui s'y trouve en le remplissant d'un gaz inerte. Cette procédure est tout indiquée dans les cas où les matières dangereuses peuvent s'enflammer ou exploser.



Remplissage d'un contenant avec un gaz inerte

Quand on envisage de remplir un contenant avec un gaz inerte, tel que le dioxyde de carbone ou l'azote, il faut prendre des précautions extrêmes :

- Toutes les ouvertures du réservoir doivent être fermées, à l'exception des orifices de remplissage du gaz et de sortie à l'air libre (vent).
- Il faut remplir le réservoir ou le contenant par le bas au moyen d'un tuyau approprié de façon à bâtir une atmosphère relative sans oxygène. Toutes les pièces métalliques de l'équipement de remplissage doivent être reliées au réservoir par continuité des masses.
- Si l'on emploie du dioxyde de carbone (CO_2), il faut choisir une basse pression de remplissage pour éviter la formation d'électricité statique. Il ne faut donc pas utiliser des extincteurs portatifs au CO_2, mais bien des bouteilles de gaz munies d'un manodétendeur.
- Il faut maintenir le débit du gaz inerte durant l'exécution des travaux de soudure.
- Il faut faire des tests au commencement des travaux et pendant toute leur durée pour vérifier la concentration d'oxygène à l'intérieur du réservoir. Cette concentration doit être le plus près possible de zéro.

Enlèvement de résidus liquides ou solides

Nettoyage à la vapeur d'eau

Cette technique consiste à introduire de la vapeur dans le contenant par une de ses ouvertures. La continuité des masses doit être effectuée entre le conduit de vapeur avec le contenant à nettoyer, car de l'électricité statique peut se produire. L'apport de vapeur doit être suffisant pour que le contenant soit chauffé à une température proche du point d'ébullition de l'eau. L'opération doit durer assez longtemps pour que les résidus des parois se soit vaporisés. Le test de gaz doit être effectué avec une pompe et un tube de prélèvement muni d'un agent qui assèche l'air humide avant d'arriver au détecteur de gaz.

Nettoyage avec un agent chimique

Cette technique utilise habituellement un composé tel que le phosphate de sodium tribasique, ou une autre substance basique dissoute dans de l'eau chaude, comme agent chimique. Avant de l'appliquer, il faut évidemment prévoir des équipements de protection adéquats pour le travail avec des substances basiques ainsi qu'une bonne ventilation.

Nettoyage mécanique de solides

Cette technique consiste à introduire une chaîne à l'intérieur d'un contenant pour ensuite le faire rouler. La chaîne frappera sur les parois (d'un contenant de 55 gallons, par exemple), décrochant du coup le solide qui y est déposé. Cette méthode doit être utilisée seulement avec des solides non combustibles qui ne dégagent pas de vapeurs inflammables ou de poussières combustibles.

D'autres techniques de nettoyage peuvent être utilisées, selon le type de produit présent dans le réservoir. Le fabricant du produit peut également contribuer à proposer la plus efficace et la moins coûteuse des techniques.

Pour en savoir plus

Avant de procéder au nettoyage d'un réservoir ou d'un contenant, nous vous invitons à consulter les documents suivants :

Safe Practices for the Preparation of Containers and Piping for Welding and Cutting (ANSI/AWS F4.1 : 2007)

Control of Gas Hazards on Vessels to be Repaired (NFPA 306)

Safegarding of tanks and containers for entry, cleaning, or repair (NFPA 326)

Cleaning or Safeguarding Small Tanks and Containers (NFPA 327).

3

Travail à chaud

Le travail à chaud est l'une des principales causes des incendies qui surviennent chaque année dans le milieu industriel. Il n'y a cependant aucune excuse pour de tels incidents, car on peut toujours les prévenir. Les enquêtes d'accidents pointent la plupart du temps le laxisme des entreprises à prendre les mesures qui s'imposent lorsque leurs travailleurs ou sous-traitants exécutent du travail à chaud.

Qu'est-ce que le travail à chaud?

On appelle travail à chaud une tâche qui produit de la chaleur, des flammes nues ou des étincelles. Le soudage et le coupage constituent donc évidemment du travail à chaud, mais il peut aussi s'agir de meulage, de brasage, ou encore d'une manoeuvre de dégel de tuyaux ou de l'application d'un revêtement de toitures à la torche.

Si le travail à chaud s'effectue à un poste de travail spécialement aménagé à cette fin - un poste de soudage par exemple - on peut s'attendre à ce que les risques présents soient connus et que les mesures adéquates aient été prises. Mais si le travail à chaud est effectué, de manière occasionnelle, ailleurs dans l'usine, une démarche rigoureuse d'analyse des risques doit être appliquée pour que des mesures suffisantes soient envisagées avant même le début des opérations. C'est le rôle de la fiche de travail à chaud.

Objectifs de la fiche

Instaurer un système de fiche de travail à chaud permet de s'assurer que l'analyse rigoureuse des risques potentiels a été faite et que les mesures appropriées ont été prises avant d'entreprendre les travaux. L'utilisation obligatoire de la fiche de travail à chaud doit être encadrée par une politique claire.

Politique d'entreprise

Il est essentiel que l'entreprise se dote d'une politique écrite concernant le travail à chaud et qu'elle l'applique. Cette politique doit souligner l'importance accordée à ce type de travaux et aux mesures de sécurité à prendre. Elle peut énumérer les règles de base à suivre ainsi que les lieux désignés où ces activités devraient normalement être exécutées. Elle doit être claire et désigner les responsables de son application, tant à l'interne que chez les entrepreneurs externes et sous-traitants. On devrait toujours s'assurer que ces derniers comprennent cette politique et y adhèrent, avant même le début des travaux.

Le système de fiche de travail à chaud permet de s'assurer que les activités de soudure sont réalisées dans un environnement sécuritaire. Il faut notamment vérifier les éléments suivants :

Produits dangereux

- Retirer les produits dangereux qui se trouvent à proximité ou protéger adéquatement les lieux en leur présence : par exemple, des liquides combustibles ou inflammables, des gaz comprimés, des poussières ou des fibres combustibles et des matières comburantes ou corrosives.
- Retirer les produits combustibles comme le papier, le bois, les fibres textiles, etc.
- Les matières combustibles ou inflammables doivent être enlevés dans un rayon de 15 m (50 pi) de la zone de travail. Les exigences de distances peuvent varier selon les normes. Par exemple, CSA W117. 2-06 et le CNPI exigent tous deux 15 m (50 pi), tandis que NFPA 51B-2009 exige 11 m (35 pi). S'il est impossible de déplacer ces matières, on peut les recouvrir d'un écran résistant au feu fabriqué d'un matériau incombustible (toile ignifuge, métal, etc.).
- Il faut recouvrir les fentes et toutes les autres ouvertures où des étincelles peuvent s'infiltrer dans un rayon de 11 m (35 pi).

Murs, plafond et plancher

- Lorsque le soudage ou le coupage doit être effectué près de murs ou de cloisons, d'un plancher ou d'un plafond fait d'une matière combustible, des écrans ignifuges doivent être installés pour empêcher que ces surfaces s'enflamment.
- Si le travail doit être effectué sur un mur, une cloison, un plancher ou un plafond en métal, il faut prendre des précautions pour prévenir l'allumage par conduction d'un incendie de l'autre côté de cette surface. Il est préférable de déplacer les matières combustibles qui s'y trouvent. Si cela est impossible, une personne doit être chargée de surveiller le côté opposé des travaux pour détecter un éventuel début d'incendie.
- Les mêmes précautions doivent être prises pour la soudure et le coupage de tout autre métal conducteur situé près de substances combustibles.

Visite préalable

Ces vérifications doivent être faites par une personne ayant une bonne connaissance des risques que présente le travail à chaud. Il s'agit habituellement du superviseur des travaux ou du responsable de la santé et de la sécurité de l'entreprise. Le soudeur doit accompagner cette personne lors de son inspection sur les lieux des travaux.

Après s'être assuré que la situation est sécuritaire, le responsable de l'entreprise (*PAI ou Permit Autorizing Individual*) peut délivrer une fiche de travail à chaud autorisant les travaux. Une fois cette fiche dûment remplie, elle devrait être affichée à un endroit visible, située à proximité de la zone de travail. Si les activités doivent se poursuivre sur un autre quart, une autre fiche doit être délivrée. Il ne faut pas oublier de faire l'inspection finale suivant les travaux, avant de retirer la fiche de la zone de travail.

Une nouvelle fiche doit être délivrée si la nature des tâches décrites dans la section « Description des travaux » est modifiée. Cela permet d'adapter les précautions à prendre en cas de changement (exemple : changement de procédé de soudage, modification de l'emplacement, etc.).

Un travail risqué

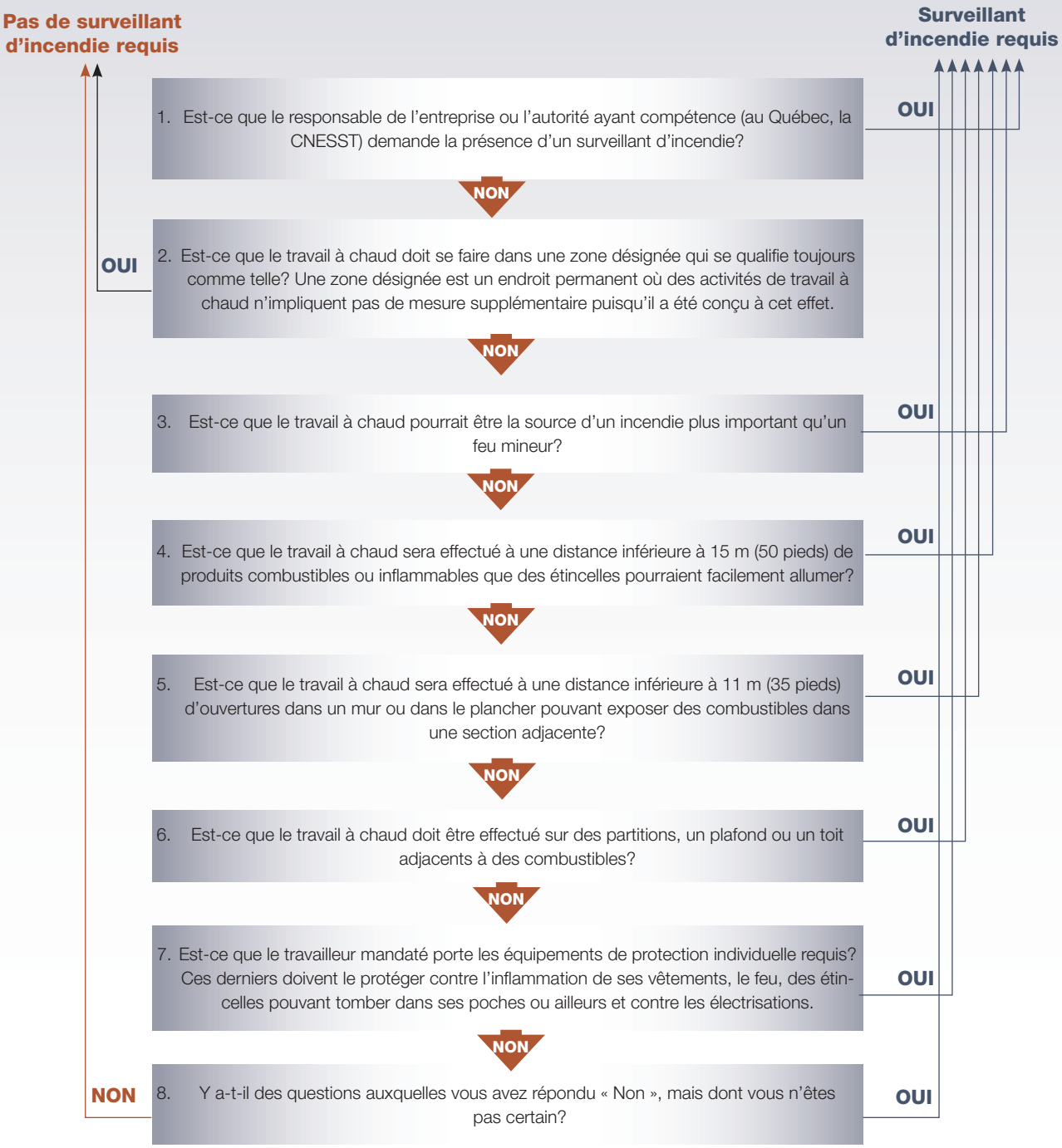
La fiche de travail est obligatoire pour exécuter des travaux à chaud en dehors des zones désignées, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, c'est-à-dire des tâches qui utilisent un procédé à flamme nue ou qui produisent de la chaleur ou des étincelles. Le travail inclut, entre autres, le soudage, le coupage, le brasage, le meulage, le déglaçage de tuyaux et l'application d'une membrane de toiture avec un chalumeau.

Vérification des lieux après les travaux

La norme NFPA 51B exige une visite des lieux 30 minutes après la fin des travaux, ce qui permet de détecter un éventuel incendie latent. Les périmètres de sécurité peuvent ensuite être retirés. Toutefois, le Code national de prévention des incendies (CNPI) stipule qu'il faut poursuivre cette visite durant tout le temps des travaux ainsi que 60 minutes suivant leur achèvement. Une inspection finale de l'aire des travaux doit être prévue quatre heures après leur fin.

••• Surveillant d'incendie

Arbre pour l'aide à la décision justifiant la présence d'un surveillant d'incendie



Fiche de travail à chaud

Voici la traduction libre de la fiche de travail à chaud, inspirée de l'exemple inclus dans la norme NFPA 51B, *Standard for fire prevention during welding, cutting, and other hot work*, édition 2009, et comportant l'ajout d'éléments provenant de la norme CSA W117.2-06 (Annexe K).

Date : Numéro du projet :	Travail à chaud effectué par : Employé ☐ Entrepreneur ☐
Endroit – Établissement et étage :	Nom (en lettres moulées) et signature de la personne qui fera le travail à chaud :
Description des travaux :	J'ai vérifié, dans les sections ci-dessous, que les précautions cochées ont été prises et que la permission a été donnée pour le travail à réaliser.
Heure du début des travaux : _____ Heure de la fin des travaux : _____ **CETTE FICHE N'EST VALIDE QUE POUR UNE JOURNÉE.** Zone où les détecteurs d'incendie sont en dérivation afin d'éviter leur déclenchement inutile : ☐	_____ Nom (en lettres moulées) _____ Signature du responsable de l'entreprise (PAI ou Permit Autorizing Individual) : _____

Généralités

- ☐ Les extincteurs automatiques, les tuyaux d'incendie et les extincteurs portatifs sont prêts à l'emploi.
- ☐ Les équipements pour exécuter le travail à chaud sont en bon état.
- ☐ Une permission spéciale a été obtenue pour effectuer du travail à chaud sur des vaisseaux de métal ou sur des tuyaux de caoutchouc ou de plastique.

Exigences dans un rayon de 50 pi (15 m) (CSA W117.2-06 et NFPA 51B-2009 exigent respectivement 50 pi et 35 pi)

- ☐ Les liquides inflammables, la poussière, les fibres (lint) et les dépôts huileux ont été enlevés.
- ☐ Les atmosphères explosives sont éliminées.
- ☐ Les planchers ont été balayés et les résidus, enlevés.
- ☐ Les planchers combustibles sont mouillés ou recouverts de sable humide ou de bâches résistantes au feu.
- ☐ Le personnel est protégé contre le risque d'électrisation lorsque les planchers sont mouillés. Il est possible d'élever le câble, de couvrir les joints du câble de plastique ou de ruban, ou encore de porter des bottes munies de semelles de caoutchouc.
- ☐ Les combustibles ont été enlevés ou recouverts d'un matériau approuvé, résistant au feu, tel que couvertures, rideaux ou bâches ignifuges et écrans de métal ou d'un matériau non combustible.
- ☐ Toutes les ouvertures des murs ou du plancher ont été obturées.
- ☐ Les conduits et les convoyeurs qui pourraient transporter des étincelles jusqu'à du matériel combustible sont recouverts, protégés ou à l'arrêt.

Travail à faire sur des murs, le plafond ou le toit

- ☐ La construction est non combustible et ne possède pas d'isolant ou de revêtement combustible.
- ☐ Le matériel combustible de l'autre côté du mur, du plafond ou du toit a été enlevé ou protégé.

Travail à faire sur des récipients fermés (enclosed equipement)

- ☐ Les récipients et les conduits ont été vidés de tout combustible et nettoyés.
- ☐ Les récipients ont été purgés de leur liquide ou de leurs vapeurs inflammables. Un explosimètre est utilisé.
- ☐ Les vaisseaux pressurisés, les tuyaux et les équipements ont été enlevés du service, isolés et ventilés.

Surveillance et contrôle de l'aire de travail

- ☐ Le surveillant d'incendie est présent pendant l'opération et pour une durée minimale de 30 minutes après l'arrêt de tout travail à chaud, incluant les pauses.
- ☐ Le surveillant d'incendie possède le matériel d'extinction adéquat.
- ☐ Le surveillant d'incendie est formé pour utiliser le matériel d'extinction et sait où se trouve l'alarme d'incendie la plus proche.
- ☐ La présence du surveillant d'incendie peut être requise dans des sections avoisinantes, au-dessus ou sous la zone en question.

Vérification des lieux après les travaux

Le responsable de l'entreprise (PAI) ou le surveillant d'incendie ont vérifié les lieux au moins 30 minutes après la fin des travaux.
Au Québec, le Code national de prévention des incendies (CNPI) stipule deux inspections, soit 1 heure et 4 heures après la fin des travaux. ☐ OUI ☐ NON

Bibliographie

AGENCE DE DÉVELOPPEMENT DE RÉSEAUX LOCAUX DE SERVICES DE SANTÉ ET DE SERVICES SOCIAUX. 2005. *Brûlures chimiques aux yeux - Pour secouriste seulement.* Québec, Chaudières-Appalaches : Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux, Bulletin d'information pour secouriste en milieu de travail No 24, 8 p.

AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENE (ACGIH). 2010. *Ultraviolet Radiation.* États-Unis : ACGIH, 6 p.

ASFAHL, C. Ray et David W. RIESKE. 2010. *Industrial Safety and Health Management.* États-Unis : Université d'Arkansas, Pearson, 6e Édition, ch. 16.

ASP AFFAIRES MUNICIPALES. 2004. *Guide de prévention : Les espaces clos pour en sortir sain et sauf.* Montréal, Québec : ASP affaires municipales, 2e édition, 37 p.

ASP CONSTRUCTION. 1995. *Guide de prévention – soudage et coupage.* Montréal, Québec : ASP Construction, 107 p.

MULTIPRÉVENTION, Janvier 2018. *Prévenir la contrainte thermique.* Longueuil, Québec : MultiPrévention.

BARLIER, A. et S. SALSI. 1991. *Rayonnements optiques émis lors du soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées, Risques et moyens de prévention.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), ND 1827-143-91, Service Physiologie environnementale, Centre de recherche de l'INRS, Nancy, p. 223-233.

BARLIER-SALSI, Annick et Serge SALSI. 2007. *Cat Rayon 3 : un logiciel pour évaluer l'exposition aux rayonnements optiques dans les locaux de travail et déterminer les moyens de protection.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Les notes scientifiques et techniques de l'INRS, no 265, (voir Annexe A), 57 p.

BARLIER-SALSI, Annick et Serge SALSI. 2007. *Les effets nocifs du rayonnement optique.* France : INRS. NST nº 265, Annexe A, p.55-57.

BEAUDET, Maurice, Louis LAZURRE, Luc MENARD. 1998. *Qualité de l'air en milieu industriel - Guide de ventilation.* Montréal, Québec : Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST), p. 27.

BEAULIER INC. 1996. *Guide d'estimation des coûts de systèmes de ventilation pour l'industrie des matériaux composites.* Montréal, Québec : Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST), p.71-72.

BILODEAU, André, Luc DESNOYERS et Raymonde PELLETIER. 1984. *Gaz poussières fumées vapeurs, l'aspiration à la source.* Protocole d'entente UQAM-CSN-FTQ, 32 p. 32 p.

BRASSEUR, G., Y. GANEM, L. LABORDE, N. LUZEAUX, J.P. MEYER et J.L. POMIAN. 1er trimestre 2004. *Ambiances thermiques : travail en période de fortes chaleurs.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Document pour le médecin du travail, N°97.

CENTRE CANADIEN D'HYGIÈNE ET DE SÉCURITÉ AU TRAVAIL. 1985. *Réduction de l'exposition aux émanations de soudage.* P85-7F, 13 p.

CENTRE DE RECHERCHE DE VEREPPE. 1995. *Fondeurs sous haute protection.* France : Centre de recherche de Vereppe, Rapport technique no 3574 de Pechiney, France.

CHAKOUR, Roger. 1995. *Soudage à l'arc électrique.* Québec : Le Centre d'élaboration des moyens d'enseignement du Québec, édition expérimentale, 200 p.

CHENG-PING, Chang, Ho SHENG-HUEI, Peng CHIUNG-YU, Lan CHENG-HANG. 2008. *Safe Practices for the Preparation of Containers and Piping for Welding and Cutting - Evaluation of Erythemal UV Effects from Shield Metal Arc Welding Processing.* Taiwan : Journal of Occupationnal Safety and Health, 16: 346-357.

CHERON, J., R. FARHI et C. MOREL. 2006. *Matières plastiques & adjuvants - Hygiène et sécurité.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), ED 638, 232 p.

COLLINS, Michael J. et Thomas D. TENKATE. 1997. *Personnal Ultraviolet Radiation Exposure of Workers in a Welding Environment.* États-Unis : American Industrial Hygiene Association Journal, no 58, p. 33-38.

COMITÉ NATIONAL D'ACTION POUR LA SÉCURITÉ ET L'HYGIÈNE DANS LA CONSTRUCTION (CNAC). Publication de avril-mai-juin 2000. *Le soudage oxyacétylénique.* Éditeur : C. Heyrman à Bruxelles, Notes de sécurité construction VADE-MECUM, publication trimestrielle, fascicule 86, 30 p.

COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL DU QUÉBEC (CNESST). 1993. *Cherchez l'erreur - Le soudage.* Montréal, Québec : CNESST, Prévention au travail, direction des communications, vol. 6, no 2, mars-avril 1993.

COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CNESST). 2003. *Travailler à la chaleur*. DC100-1123 (2003-05).

COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CNESST). Document consulté le 22 novembre 2011. *Guide de protection respiratoire.* Montréal, Québec : CNESST. Disponible également par Internet à l'adresse : www.prot.resp.cnesst.qc.ca/GuideTM.shtml

COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL (CNESST). *Répertoire toxicologique (REPTOX).* Montréal, Québec : CNESST. Disponible par Internet à l'adresse : http://www.cnesst.qc.ca/prevention/reptox/pages/repertoire-toxicologique.aspx

CREPY, M.N. 1er trimestre 2002. *Dermatose professionnelles à la colophane.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Document pour le médecin du travail, 89TA65, 8 p.

DE GUIRE, Louise, Denis GAUVIN, Pascal GUENEL et Marc RHAINDS. 2003. *Environnement et santé publique fondements et pratiques.* Montréal, Québec : Université de Montréal, ch. 16 Rayonnements non ionisants, p.442-462.

DEKEYSER, Fabien. Dossier imprimé au 5 janvier 2012. *Les bouteilles d'acétylène, Sapeurs pompiers et risques technologiques.* Disponible également sur Internet à l'adresse : http://sites.googles.com/site/lclfdk/home/les-bouteilles-d-acetylene.

DESMARAIS, Jean-François. 1994. *Risques d'électrocution lors du soudage à l'arc électrique.* Montréal, Québec : Colloque de l'ASP Construction, novembre 1994, 42 p.

DICKINSON, D.-W., J.-C. LIPPOLD, A.-J. RAMIREZ et J.-W. SOWARDS. Avril 2008. *Characterization of Welding Fume from SMAW Electrodes.* États-Unis : Welding Journal, Part I, vol. 87, pages 106-s à 112-s.

DION, René. 1994. *Soudage des différents métaux à l'arc électrique M.I.G. et par points.* Québec : Le Centre d'élaboration des moyens d'enseignement du Québec, édition expérimentale, décembre 1994, 180 p.

DION, René. 1994. *Soudage et coupage des métaux à l'oxyacétylénique et au plasma.* Québec : Le Centre d'élaboration des moyens d'enseignement du Québec, édition expérimentale, 200 p.

DONATI, P. et Herrault J. 2006. *Soudage par résistance - cartographie du champ magnétique et prévention*. France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Note documentaire, ND 2252-204-06.

DUPAS, D. 2008. *Allergie respiratoire professionnelle au nickel.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Document pour le médecin du travail, TR 41. 6 p.

EAGER, T.W. et N.-T. JENKINS. Juin 2005. *Chemical Analysis of Welding Fume Particles.* États-Unis : Welding Journal, 87-s à 93-s.

ENDO, Charles-Anica, Luc MENARD, Claude OSTIGUY et Brigitte ROBERGE. Novembre 2008. *Guide de bonnes pratiques favorisant la gestion des risques reliés aux nanoparticules de synthèse.* Montréal, Québec : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST), guide technique R-586, 63 p.

FABRIES, Jean-François et Olivier WITSCHGER. 2005. *Particules ultra-fines et santé au travail 1 - Caractéristiques et effets potentiels sur la santé.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), ND 2227-199-05, p. 37-54.

FABRIES, Jean-François et Olivier WITSCHGER. 2005. *Particules ultra-fines et santé au travail 2 - Sources et caractérisation de l'exposition.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), ND 2228-199-05, p. 37-54.

FAGGETTER, A. K., V. E. FREEMAN et H. R. HOSEIN. 1983. *Novel Engineering Methods for Ozone Reduction in Gas Arc Welding of Aluminum*. États-Unis : American Industrial Hygiene Association Journal 44(5):316-320, p. 316-320.

FORTIN, Anne, Jacques MAURAIS et René ROBITAILLE. 1974. *Petit lexique du soudage*. Québec : Office de la langue française, 47 p.

FRICKER, Sear et Tuttle. 1989. *Le soudage – méthodes et pratiques courantes.* Montréal, Québec : Maison d'édition Guérin, 372 p.

GROUPE DE TRAVAIL INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ (INRS) ET CAISSE RÉGIONALE D'ASSURANCE MALADIE (CRAM). Juillet 2010. *Opérations de soudage à l'arc et de coupage.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Guide pratique de ventilation No 7, ED 688.

GUIMON, Michèle et Antoine MERCIER. 2005. *Le brasage tendre.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), ED 122, 4 p.

HAGUENAUER, Dominique, Michel JACQUES et Patrice MARCHAL. 2007. *Validation des méthodes d'évaluation des filtres de soudage commutables.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), ND 2273-208-07, Département Ingénierie des équipements de travail, p. 19-32.

HERVE-BAZIN, Benoît (groupe d'auteurs sous la direction de Benoît Hervé-Bazin, INRS). 2007. *Les nanoparticules. Un enjeu majeur pour la santé au travail ?* France : EDP Sciences, Collection Avis d'experts, 704 p.

INDUSTRIAL ACCIDENT PREVENTION ASSOCIATION (IAPA). 1989. Ontario : *Safety and Health in Welding (Oxy-Acetylene & Electric Arc),* 43 p.

INSPECTORAT DE L'ASSOCIATION SUISSE POUR LA TECHNIQUE DU SOUDAGE (ASS). Septembre 2007. *Installations à gaz combustible et oxygène.* Lausanne : SUVAPRO, 11e édition, réf. : SBA128.f., 48 p.

INSTITUT DE SOUDAGE DU CANADA. 1987. *Santé et sécurité en soudage, module 1*, 53 p.

INSTITUT DE SOUDAGE DU CANADA. 1992. *Hygiène et sécurité en soudage, module 1.* 110 p.

INSTITUT INTERNATIONAL DE LA SOUDURE. 1980. *Manuel sur l'hygiène et la sécurité dans le soudage et les techniques connexes.* France, Paris : publications de la soudure autogène, 98 p.

INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES (INERIS). *Fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques.* Disponible sur Internet à l'adresse : www.ineris.fr.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ (INRS). 2010. *Agir sur le risque chimique cancérogène en entreprise.* France : INRS, dossier Web, Fiches d'aide au repérage (FAR) téléchargeables.

INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE ET DE SÉCURITÉ (INRS). Mise à jour au 20 décembre 2004. *Port de lentilles de contact chez les soudeurs : stopper la rumeur.* Disponible sur Internet à l'adresse : www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/INRS-FR/$FILE/fset.html.

JENKINS, N.-T., W.M.-G. PIERCE et T.-W. EAGAR. Octobre, 2005. *Particule Size Distribution of Gaz Metal and Flux Coresd Arc Welding Fumes*. États-Unis : Welding Journal, p. 156-s à 163-s.

KLEIN, R. 4e trimestre 2003. *Filtres électro-optiques de soudage à l'arc.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Département Ingénierie des équipements de travail, Centre de Lorraine, Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail, ND 2198-193-03, 18 p.

LYON, Terry L. Décembre 2002. *Knowing the Dangers of Actinic Ultraviolet Emissions.* États-Unis : Welding Journal, p. 28-30.

MENARD, Luc. 1992. *Connaissance des procédés, des contaminants et des méthodes d'évaluation dans les travaux de soudage.* Jonquière, Québec : Colloque sur la santé et sécurité dans les travaux de soudage, CNESST, 13 p.

MILLER, C.G., C.E. MOSS, D.H. SLINEY et J.B. STEPHENS. Mai 1982. *Transparent Welding Curtains.* États-Unis : Welding Journal, p. 17-24.

MORRISON, T. 1995. Big Danger in Small Space. *Plant Engineering and Maintenance,* février/mars 1995, p. 20-24.

NADEAU, Daniel et Marie ST-AMOUR. Version corrigée du 4 novembre 1999. *Surveillance médicale des travailleurs exposés à l'oxyde de zinc.* Québec : Comité médical provincial en santé au travail du Québec, Guide de pratique professionnelle adopté le 28 octobre 1998, 8 p.

NGUYEN, Van Hiep. Janvier 1989. *Rapport technique sur le masque Speedglas.* Montréal, Québec : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST), 18 p.

OSTIGUY, Claude, Brigitte ROBERGE, Brigitte SOUCY et Catherine WOODS. Mai 2010. *Les nanoparticules de synthèse - Connaissances actuelles sur les risques et les mesures de prévention en SST - 2e édition.* Montréal, Québec : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST), Études et recherches, Rapport R-646, 147 p.

REKUS, John F. *Complete Confined Spaces Handbook*. États-Unis, Maryland : Lewis Publishers Côte.

RESSOURCES HUMAINES ET DÉVELOPPEMENT SOCIAL CANADA. *Guide des risques pour la santé et des mesures de contrôle des risques liés aux procédés de soudage et aux procédés connexes.* Canada : Ressources humaines et développement social Canada : LT-195-07-07. 19 p. Disponible également sur Internet à l'adresse : www.travail.gc.ca/fra/sante_securite/pubs_ss/pdf/grsmcrpspc.pdf.

RICAUD, Myriam et Olivier WITSCHGER. Juin 2008. *Les nanomatériaux. Définitions, risques toxicologiques, caractérisation de l'exposition professionnelle et mesures de prévention.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), ED 6050, 27 p.

ROSENBURG, N. 2e trimestre 2003. *Asthme professionnel à la colophane.* France : Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Document pour le médecin du travail, No 94, 94TR 31, 6 p.

ROSS, Marie-Josée. 2004. *La sécurité reliée aux lasers.* Longueuil, Québec : MultiPrévention, 38 p.

Normes

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE / AMERICAN WELDING SOCIETY. 1988. *Recommended Safe Practices for the Preparation for Welding and Cutting of Containers that have Held Hazardous Substances*. American National Standards Institute : ANSI/AWS F4.1-88.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE / FM APPROVALS. 2007. *Evaluation Welding Pads, Welding Curtains for Hot Work Operations*. American National Standards Institute : ANSI/FM Approvals 4950, 20 p.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. 1986. *Safe Use of Lasers.* American National Standards Institute : ANSI Z136.1-1986.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. 2005. *Safety in Welding and Cutting*. American National Standards Institute : ANSI Z49.1:2005, 56 p.

AMERICAN WELDING SOCIETY. 2011. *Specification for Use and Performance of Transparent Welding Curtains and Screens*. American Welding Society : AWS F2.3M : 2011.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. 1988. *Protecteurs oculaires et faciaux pour l'industrie*. Association canadienne de normalisation : CSA Z94.3-M88.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. 1990. *Code canadien de l'électricité, première partie*. Association canadienne de normalisation : CSA C22.1-1990.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. 1990. *Équipement de soudage à l'arc*. Association canadienne de normalisation : CSA C22.2 #60-M1990.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. 1993. *Choix, entretien et utilisation des appareils respiratoires*. Association canadienne de normalisation : CSA Z94.4-93.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. 1994. *Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes*. Association canadienne de normalisation : W117.2-94.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. 2007. *Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes.* Association canadienne de normalisation : W117.2-06.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. 2010. *Gestion du travail dans les espaces clos*. Association canadienne de normalisation : CSA Z1006-10.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION. 2010. *Management of Work in Confined Spaces*. Association canadienne de normalisation : CSA Z1006-10.

COMPRESSED GAS ASSOCIATION. 1992. *Hose Line Check Valve Standards for Welding and Cutting*. Compressed Gas Association : CGA E-2-1992.

COMPRESSED GAS ASSOCIATION. 1992. *Standard Connections for Regular Outlets, Torches and Fitted Hose for Welding and Cutting Equipment*. Compressed Gas Association : CGA E-1-1992.

COMPRESSED GAS ASSOCIATION. 2009. *Standard for Rubber Welding Hose and Hose Connections for Gas Welding, Cutting, and Allied Processes.* Compressed Gas Association : CGA E-1-2009.

COMPRESSED GAS ASSOCIATION. *Handbook of Compressed Gases.* États-Unis, Arlington, Virginia. Troisième édition. p. 216-217.

COMPRESSED GAS ASSOCIATION. *Safe Handling of Compressed Gases in Containers*. Compressed Gas Association : CGA P-1.

CONSEIL DE RECHERCHES CANADA. 2010. *Code national de prévention des incendies-Canada.*

GOUVERNEMENT DU QUEBEC. 1996. *Règlement sur la qualité de l'atmosphère*. Gouvernement du Québec : Q-2, r.20, 1996.

GOUVERNEMENT DU QUEBEC. 2007 et 2012. *Règlement sur la santé et la sécurité du travail*. Gouvernement du Québec : S-2.1, r.19.01.

GOUVERNEMENT DU QUEBEC. Mise à jour au 1er novembre 2011. *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère*. Gouvernement du Québec : Q-2, r.4.1.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. 1993. *Cleaning or Safeguarding Small Tanks and Containers Without Entry*. National Fire Protection Association : NFPA 327-1993, 9 p.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. 2007. *Design and Installation of Oxygen-fuel Systems for Welding, Cutting, and Other Hot Work*. National Fire Protection Association : NFPA 51-2007.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. 2009. *Control of Gas Hazards on Vessels to be Repaired*. National Fire Protection Association : NFPA 306, 22 p.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION. 2009. *Standard for Fire Prevention during Welding, Cutting, and other Hot Work.* National Fire Protection Association : NFPA 51B-2009, 18 p.

NORME EUROPEENNE. 1997. *Rideaux, lanières et écrans transparents pour les procédés de soudage à l'arc*. Norme Européenne : EN 1598. 9 p.

NORME EUROPEENNE. 2008. *Vêtements de protection utilisés pendant le soudage et les techniques connexes*. NF EN ISO 11611, anciennement NF EN 470-1 (1995).

NORME EUROPEENNE. Août 2006. *Méthode de laboratoire d'échantillonnage des fumées et des gaz émis par le soudage à l'arc.* Norme Européenne : EN ISO 15011-4.

NORME EUROPEENNE. *Sécurité des appareils à laser.* Norme Européenne : NF EN 60825-1.

MULTI PRÉVENTION ASP

2405, boul. Fernand-Lafontaine, bureau 150
Longueuil (Québec) J4N 1N7
Tél. : 450 • 442 • 7763 Téléc. : 450 • 442 • 2332

979, av. de Bourgogne, bureau 570
Québec (Québec) G1W 2L4
Tél. : 418 • 652 • 7682 Téléc. : 418 • 652 • 9348

www.multiprevention.org
Visitez-nous sur Facebook