

Guide de prévention



soudage
coupage



guide de prévention
soudage-coupage



guide de prévention soudage-coupage

Auteure

Caroline Godin

Rédaction technique

Marc St-Marseille

Serge Simoneau

Raymond Dignard

Conception graphique

Hélène Camirand

Mise en pages

Marc St-Marseille

Illustrations

Caroline Merola

Correction

Francine Noël

Impression

JALAC

On peut se procurer des exemplaires du présent document en s'adressant à :

ASPHME

2271, rue Fernand-Lafontaine

Bureau 301

Longueuil (Québec) J4G 2R7

Tél.: (450) 442-7763

Télec.: (450) 442-2332

Reproduction

La reproduction des textes est autorisée pourvu que la source soit mentionnée et qu'un exemplaire nous soit envoyé.

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

Tous droits de traduction réservés.

© 2000 Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail

Secteur fabrication de produits en métal et de produits électriques

ISBN 978-2-923831-07-7 (PDF)

(Publié précédemment par l'ASP Métal Électrique, ISBN 2-921360-10-1)

Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Québec, 2000, 2010

Dépôt légal - Bibliothèque nationale du Canada, 2000, 2010

Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes suivantes de leurs commentaires et de leurs suggestions:

- M. Normand April, Air Liquide;
- M. Robert Bergeron, Robert Mitchell;
- M. James Brown, Métal Tech Amérique du Nord;
- M. Jean-François Desmarais, CSST;
- M. Michel Desrocher, Robert Mitchell;
- M. Mario Duhaime, Centre de formation professionnelle de la Pointe-du-Lac;
- M. Marc Fontaine, BOC Gaz;
- 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;

Reproduction des 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.

guide de prévention **soudage-coupage**

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.

Ce guide a été réalisé pour le bénéfice des entreprises du secteur de la fabrication de produits en métal et de produits électriques. Il 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; nous nous sommes limités aux procédés les plus courants.

Dans le même esprit, nous ne traiterons pas d'un certain nombre de risques auxquels est exposé le soudeur, notamment aux risques de lésions musculo-squelettiques comme les maux de dos et les tendinites. Ces questions, associées aux caractéristiques hautement variables de l'activité de travail comme la posture et l'effort, sont trop complexes pour être traitées ici. Nous nous sommes surtout attachés à décrire les risques physiques et chimiques présents dans l'environnement du soudeur et du coupeur.

Nous avons avant tout pour objectif de sensibiliser le lecteur à ces risques et aux moyens de prévention à mettre en place afin de les éliminer, de les diminuer ou de les contrôler.

avant - propos

table des matières

Avant-propos 3

Comment utiliser ce guide de prévention 6

Les procédés de soudage et de coupage les plus courants **chapitre 1** 8

Introduction 10

Lexique des procédés de soudage et de coupage 12

1 Le soudage et le coupage à l'arc électrique 13

2 Le soudage par résistance 24

3 Les procédés oxygaz 25

4 Le soudage et le coupage par faisceau laser 26

Tableau synthèse des procédés 27

Les risques liés aux fumées et aux gaz **chapitre 2** 28

1 Identification des risques 30

2 Normes d'exposition 38

3 Méthodes de prévention 39

Les risques d'incendie et d'explosion **chapitre 3** 44

1 Risques d'incendie et d'explosion 46

2 Méthodes de prévention 50

Les risques d'électrisation **chapitre 4** 60

1 Identification des risques 62

2 Effets sur la santé 65

3 Méthodes de prévention 67

Les risques pour la peau et les yeux	72	5
1 Identification des risques	74	
2 Méthodes de prévention	77	
Les risques liés à l'exposition au bruit	84	6
1 Risques liés au bruit	86	
2 Méthodes de prévention	87	
Les risques liés aux contraintes thermiques	88	7
1 Identification des risques	90	
2 Méthodes de prévention	92	
La ventilation appliquée aux opérations de soudage	94	8
1 Ventilation générale	96	
2 Aspiration locale	99	
3 Filtration des fumées et des gaz	108	
Les procédures de travail particulières	110	9
1 Travail dans un espace confiné	112	
2 Travail sur un contenant ayant renfermé des produits dangereux	114	
3 Permis pour le travail à chaud	116	
Bibliographie	119	
Normes	120	


Comment utiliser ce guide de prévention

Incendie (3) Choc électrique (4) Rayonnement (5)

Explosion (3) Étincelles (5)

Fumées (2) Bruit (6)

Gaz (2) Chaleur trop intense (7)



Procédés à l'arc électrique

Detailed description: This section illustrates the hazards of arc welding. A central illustration shows a welder in protective gear working on a table. Surrounding this are seven circular icons representing different risks: a fire (Incendie), a lightning bolt (Choc électrique), a hand being burned (Rayonnement), an explosion (Explosion), sparks (Étincelles), an ear with sound waves (Bruit), and a thermometer (Chaleur trop intense). Each icon is accompanied by a label and a number in parentheses indicating the number of associated prevention measures.

Choc électrique (4) Rayonnement (5)

Fumées (2) Étincelles (5)



Soudage par résistance

Detailed description: This section illustrates the hazards of resistance welding. A central illustration shows a worker in protective gear working on an electrical cabinet. Surrounding this are four circular icons representing different risks: a lightning bolt (Choc électrique), a hand being burned (Rayonnement), a cloud of smoke (Fumées), and sparks (Étincelles). Each icon is accompanied by a label and a number in parentheses indicating the number of associated prevention measures.

Afin de faciliter la consultation de ce guide, voici les risques spécifiques à chacune des quatre classes de procédés définis au chapitre 1. Vous trouverez pour chacun de ces risques l'information pertinente au chapitre correspondant indiqué par le chiffre entre parenthèses.

Explosion (3)

Incendie (3)

Rayonnement (5)


Étincelles (5)

Fumées (2)

Bruit (6)

Gaz (2)

Chaleur trop intense (7)



Procédés oxygaz

Explosion (3)


Incendie (3)

Fumées (2)

Choc électrique (4)

Gaz (2)

Rayonnement (5)



Procédés par faisceau laser



ch a p i t r e 1



Contenu

Introduction

Lexique des procédés de soudage et de coupage

- 1 Le soudage et le coupage à l'arc électrique
- 2 Le soudage par résistance
- 3 Les procédés oxygaz
- 4 Le soudage et le coupage par faisceau laser

Tableau synthèse des procédés

Les procédés

de soudage et de coupage les plus courants

Introduction

Il existe près de 140 procédés différents de soudage et de coupage. Nous traiterons dans ce guide des procédés les plus couramment utilisés dans le secteur de la fabrication de produits en métal et de produits électriques. On peut également 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 le cordon de soudure.

Exemple : 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 addition de métal d'apport complémentaire, généralement de nature différente des pièces à joindre. On peut également braser par couches successives afin de rebâtir une pièce de métal. Il existe plusieurs procédés de brasage et on les 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 couramment utilisé.

Exemple : application de métal en couche pour refaire une dent d'embrayage.



Le coupage

Le coupage consiste à faire fondre le métal afin d'en provoquer la scission (coupure).

Exemple : 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.

Exemple : creusage manuel pour faire un sillon de préparation pour la soudure.



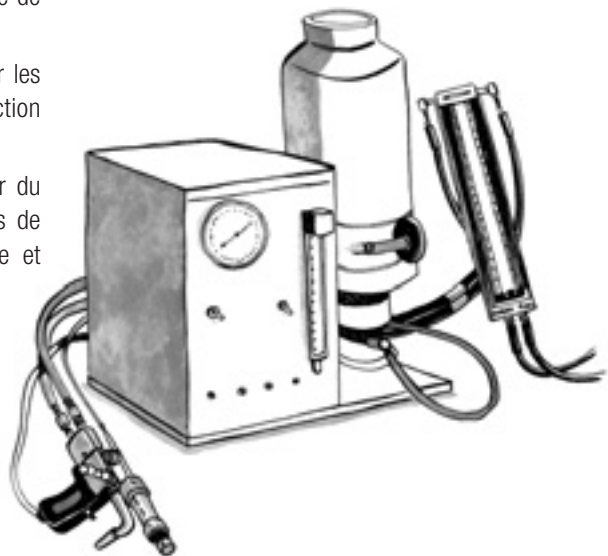
La projection thermique ou « métallisation »

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

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

La projection thermique est utilisée, entre autres, pour effectuer du renforcement de surface et on la retrouve dans divers secteurs de l'industrie: 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 bouteilles de gaz.



Lexique des procédés de soudage et de coupage

Voici les 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

Le soudage et le 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 grandes guerres mondiales a permis le développement du soudage électrique et la réalisation de grands progrès dans ce domaine. De nos jours, le soudage électrique est souvent utilisé dans la réparation d'équipements, dans l'assemblage de structures métalliques et dans la fabrication de multiples produits en métal.

Avant de traiter des caractéristiques propres à chacun des procédés, il est utile de présenter des particularités générales qui s'appliquent aux procédés à l'arc électrique. Voici donc certaines notions de base qui caractérisent la plupart des procédés à l'arc électrique.

Principe

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

Amorce de l'arc

On peut réaliser l'amorce de 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 à ce moment que la soudure débute. La pointe de l'électrode atteint une température très élevée qui fait fondre l'électrode si elle est fusible, ainsi qu'une partie du métal de base et le métal d'apport s'il y a lieu.



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

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

FONDANT (FLUX): portion de l'électrode, cœur pour le fil ou enrobage pour la baguette, qui, sous l'effet de la combustion, produit des gaz afin de protéger 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.

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 que le bain de fusion n'entre en contact avec l'azote, l'oxygène ou l'humidité contenus 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 de protection. Ce gaz protecteur est acheminé à travers le pistolet de soudage ou est produit par la combustion du fondant. Le fondant peut provenir de la baguette, du fil-électrode ou peut être déposé à la surface du métal à souder.

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.

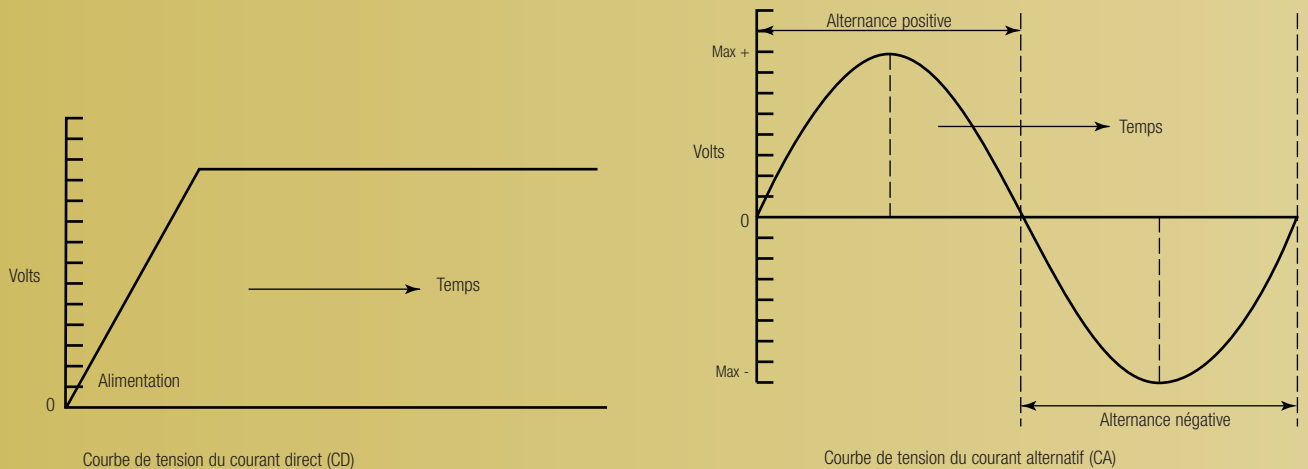


Figure 1.1 Comparaison entre une courbe de tension CD et une courbe de tension CA

Caractéristiques électriques

Pour souder, il est nécessaire d'abaisser la tension fournie par le réseau d'alimentation électrique. C'est pourquoi deux types de tension sont présents dans un poste de soudage/coupage: la tension primaire et la tension secondaire. La tension primaire ou tension du secteur est la tension disponible dans l'atelier; elle permet l'alimentation électrique de l'équipement de soudage. Au Québec, les tensions primaires sont habituellement de 347 volts 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 localisé dans le poste de soudage, qu'on nomme également la soudeuse. C'est la tension réduite qui alimente le pistolet et qu'on appelle la tension secondaire.

Pour produire le courant direct, des redresseurs sont utilisés 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 du procédé utilisé.

La plupart des procédés électriques fonctionnent sur du courant direct (CD), sauf certains procédés tels que le GTAW, le SMAW et le SAW qui peuvent fonctionner tant sur le courant direct que sur le courant alternatif (CA).

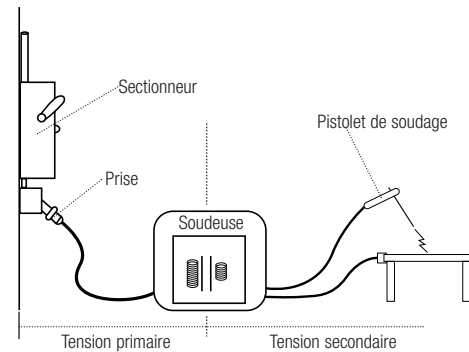


Figure 1.2 Tension secondaire produite par la soudeuse à partir de la tension primaire d'alimentation

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.

Figure 1.3 Répartition de la chaleur de l'arc avec le courant continu.

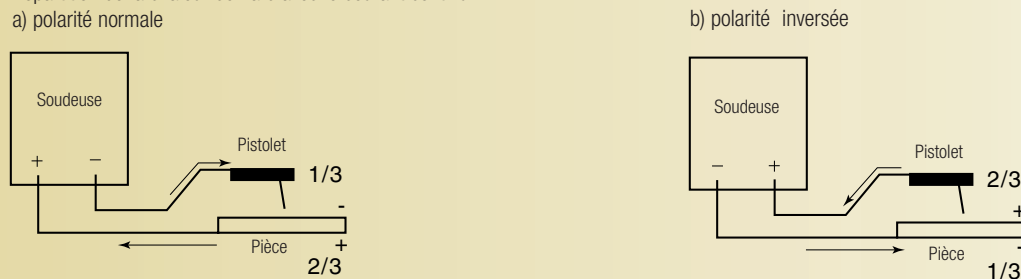
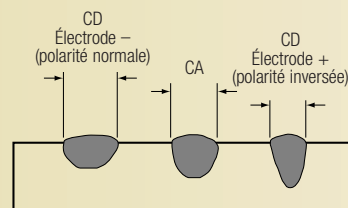


Figure 1.4 Influence du courant et de la polarité utilisée sur la forme du cordon de soudure.



GAZ CHIMIQUEMENT ACTIF (MAG) :
 gaz qui agit en produisant une réaction chimique au niveau du bain de fusion; cette réaction aide à contrôler les effets nuisibles pour la soudure.

Ex. : Bioxyde de carbone.

GAZ INERTE (MIG) :
 gaz qui agit en enveloppant la soudure; il constitue ainsi une barrière physique empêchant la contamination par l'air. Ce gaz ne réagit pas chimiquement.

Ex. : Hélium, argon.

Soudage à l'arc sous gaz protecteur avec fil plein (GMAW)

Application

Le procédé de 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 utilisé. Rapide et efficace, ce procédé permet de souder des pièces de différentes épaisseurs. On l'utilise, par exemple, dans la fabrication de charpentes métalliques et dans plusieurs autres applications où les pièces sont plus légères. On peut utiliser ce procédé sur tous les alliages commerciaux.

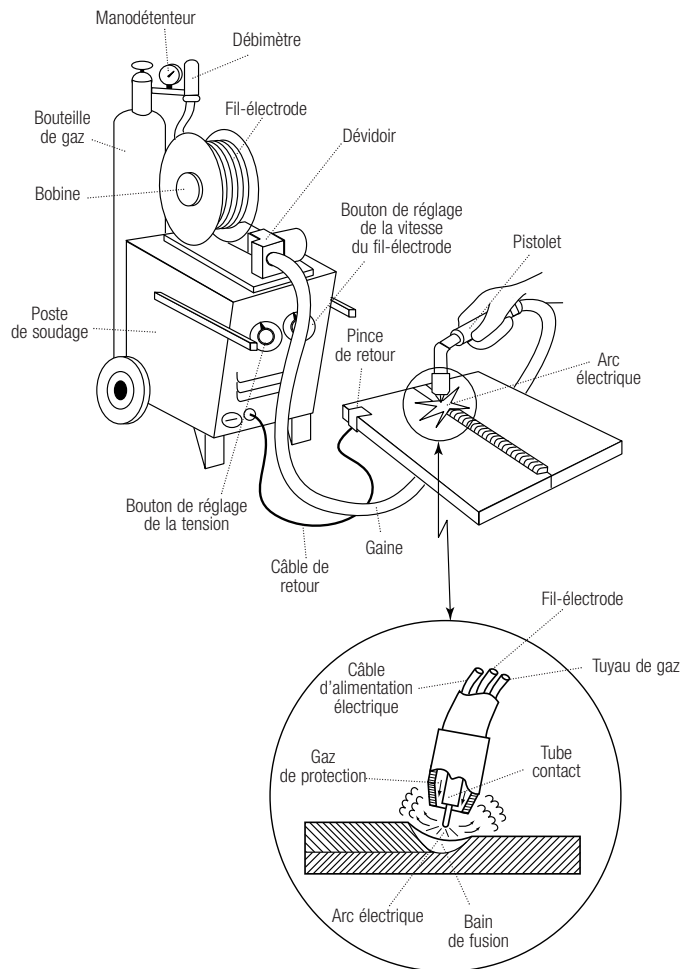


Figure 1.5 Arrangement typique de soudage semi-automatique GMAW

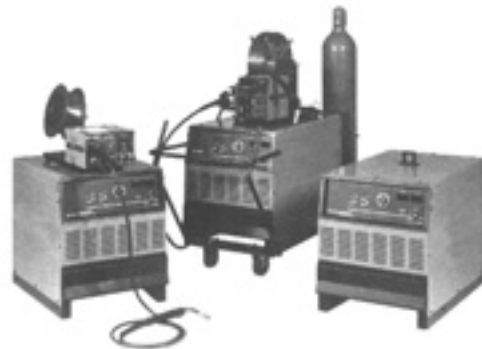


Figure 1.6 Exemples de postes de soudage GMAW

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. L'avancement du fil-électrode est contrôlé par une gachette fixée au pistolet de soudage. Une fois l'arc amorcé, la fusion peut atteindre des températures de l'ordre de 6 650 degrés Celsius (12 000 °F).

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 du soudage sont configurés dans la programmation du robot.

Le mode automatique implique que le soudage se réalise en continu à l'aide d'un positionneur. Ce positionneur est en fait 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.

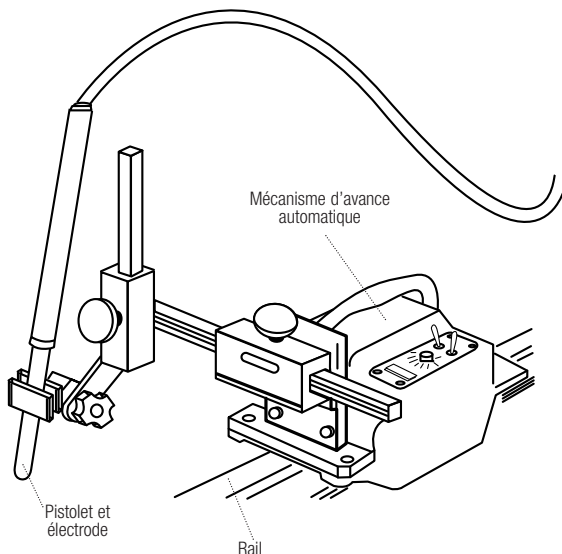


Figure 1.7 Tortue pour soudure longitudinale

Un gaz de protection, de type chimiquement actif (MAG) ou de type 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. Pour ce qui est des gaz inertes, on utilise souvent l'argon, l'hélium ou un mélange de ces deux gaz.

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.

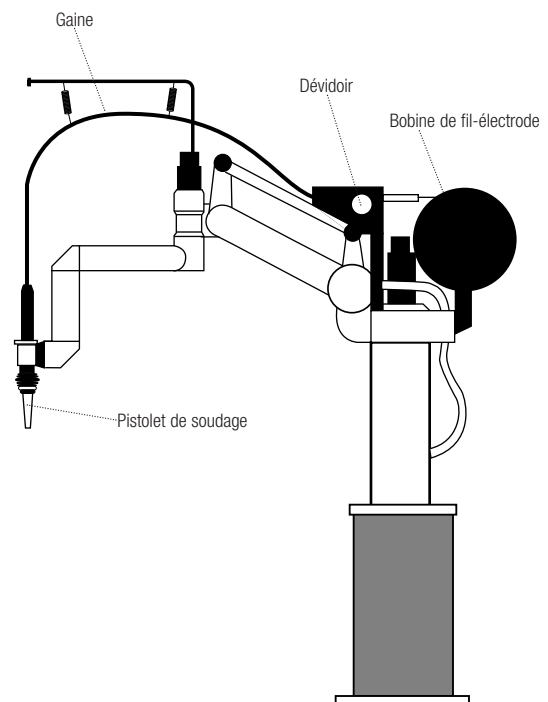


Figure 1.8 Robot de soudage

Soudage à l'arc avec fil fourré (FCAW)

Application

Ce procédé se retrouve souvent dans les usines de charpente, au niveau de l'assemblage mécanique de divers produits tels que convoyeurs, réservoirs sous pression, ou encore pour la maintenance générale. On utilise souvent ce procédé pour 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. La principale différence réside dans le fait que le centre de l'électrode utilisée dans le procédé FCAW contient du fondant (ou flux) tandis que l'électrode utilisée dans le procédé GMAW n'en contient pas.

Le principal inconvénient du procédé FCAW est qu'il 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 le laitier produit par un autre procédé utilisant du fondant comme le SMAW ou le SAW. 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 bioxyde de carbone et argon ou aucun gaz).

L'équipement utilisé pour ce procédé est le même que pour le procédé GMAW.

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.

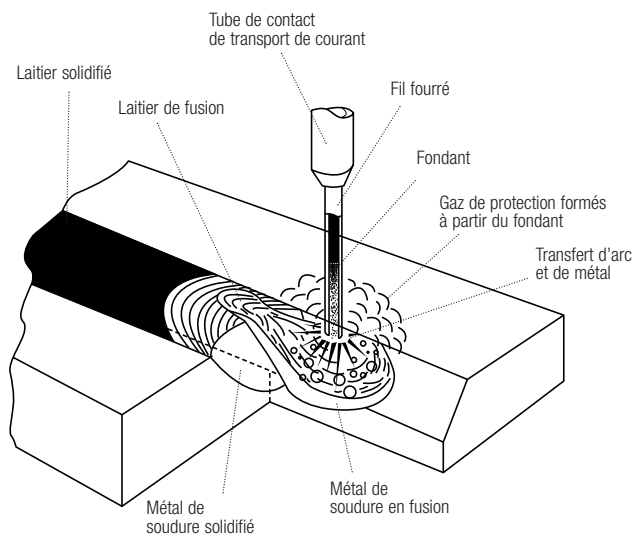


Figure 1.9 Arrangement de soudage à l'arc avec fil fourré (FCAW)

Soudage/coupage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW/SMAC)

Application

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée a été le premier procédé à utiliser l'électricité ; toutefois il est de moins en moins employé pour le soudage de production. On utilise ce procédé sur de l'acier au carbone, de l'acier inoxydable ou plus rarement sur de l'aluminium ou du cuivre. Ce procédé est surtout utilisé par les services d'entretien, pour les réparations générales et les 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 (de 5 500 à 6 650 °C ou 9 990 à 12 000 °F) fait fondre l'électrode et une partie du métal de base. Le remplacement de l'électrode se fait manuellement, la soudeuse toujours sous tension.

L'électrode servant au procédé SMAW diffère de celle qui est utilisée dans le procédé FCAW. Dans le procédé SMAW, le métal d'apport qui forme l'intérieur de l'électrode est enrobé de flux. En fondant, le flux de l'électrode libère des gaz de protection qui isolent le bain de fusion.

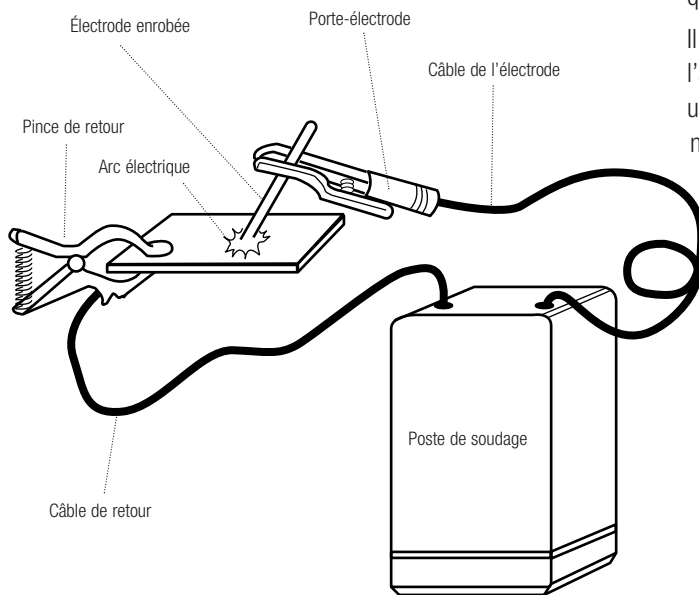


Figure 1.10 Circuit électrique du soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW)

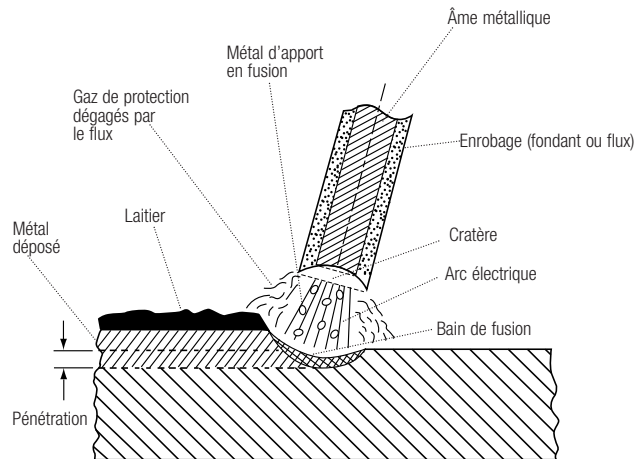


Figure 1.11 Principe du procédé SMAW

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.

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.

Il est à remarquer que le procédé SMAW ne se prête pas à l'automatisation et que les gaz de protection ne sont jamais utilisés, car la combustion du fondant produit les gaz nécessaires à la protection du bain de fusion.

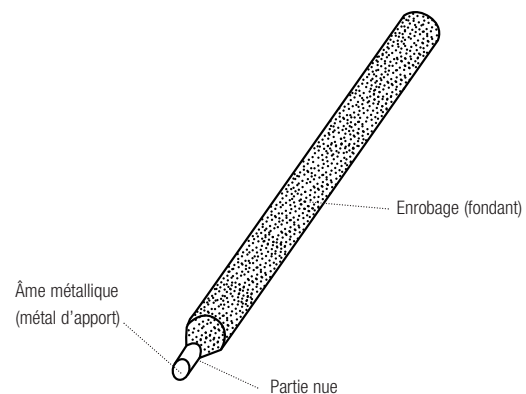


Figure 1.12 Électrode enrobée

RÉFRAC TAIRE : qui résiste à de très hautes températures.

NON FUSIBLE : qui ne fond pas sous l'effet de la chaleur.

PLASMA : gaz qui, porté à une haute température, est riche en ions et en électrons libres; un gaz qui est ionisé est électriquement conducteur.

Application

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

Principe

Dans le soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène GTAW (communément appelé TIG), le soudeur utilise une torche munie d'une électrode réfractaire non fusible en tungstène. L'ionisation du gaz de protection qui devient

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

conducteur se réalise lorsqu'on court-circuite l'électrode et la pièce à souder ou encore lorsqu'on utilise la méthode de haute fréquence. Le gaz ainsi ionisé, nommé plasma, permet le passage de l'arc électrique jusqu'à la pièce à souder.

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

Pour ajouter le métal d'apport, le soudeur tient d'une main la baguette de métal d'apport et de l'autre la torche. 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 soudeurs optent pour une amorce par 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 d'électrode bien aiguisée permet une plus grande précision et une soudure de meilleure qualité.

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.

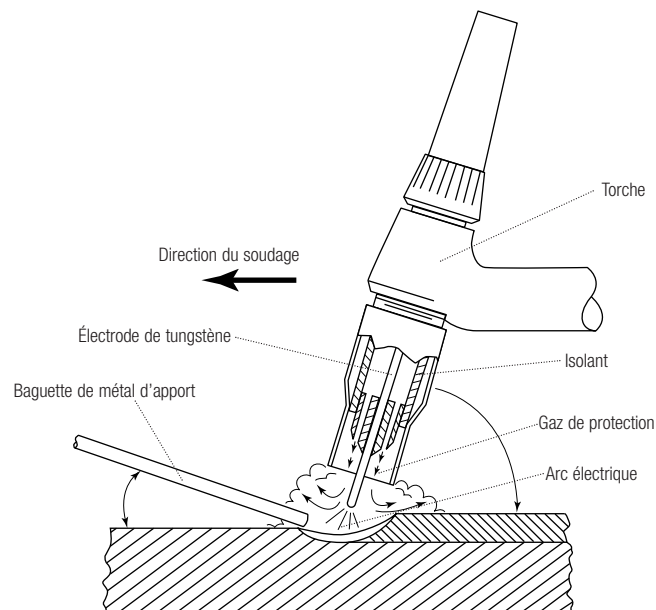


Figure 1.13 Torche GTAW

Soudage/coupage à l'arc au plasma (PAW/PAC)

Application

Le coupage au plasma est beaucoup plus fréquent que le soudage au plasma. Il sert pour la coupe de métaux tels l'acier inoxydable, l'aluminium et l'acier doux, mais aussi les 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 utiliser certains alliages. La zone de chaleur est très étroite, bien définie et peut atteindre des températures excédant 24 000 degrés Celsius (43 230 °F) dans la colonne de plasma.

Dans le soudage au plasma, l'électrode est en retrait à l'intérieur de l'orifice. L'électrode de tungstène dirige l'arc électrique qui fait croître la température du gaz, lequel est ionisé et constitue le plasma. Le plasma qui sort de l'orifice sous forme de jet est habituellement composé d'argon; c'est ce que l'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.

Ce procédé peut être utilisé 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.

Comme l'électrode réfractaire est 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. L'arc pilote est d'abord provoqué entre l'électrode et la buse avec la méthode de 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.

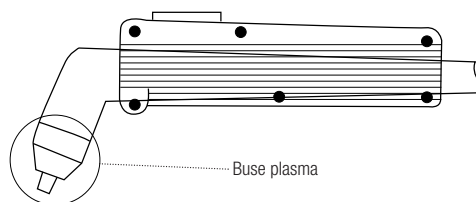


Figure 1.14 Torche PAW

Principe du coupage

La torche servant au coupage au plasma est presque identique à celle utilisée en soudage, sauf que l'ouverture au bout de la torche est plus petite et permet une vitesse plus élevée du jet de plasma. La zone de chaleur est très étroite, bien définie et peut atteindre des températures supérieures à 28 000 degrés Celsius (50 432 °F).

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

La tension de l'arc est aussi plus élevée que pour le soudage et elle peut atteindre 280 volts contre environ 70 volts pour le soudage. Pour la coupe au plasma, l'intensité du courant secondaire est plus élevée que pour le 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.

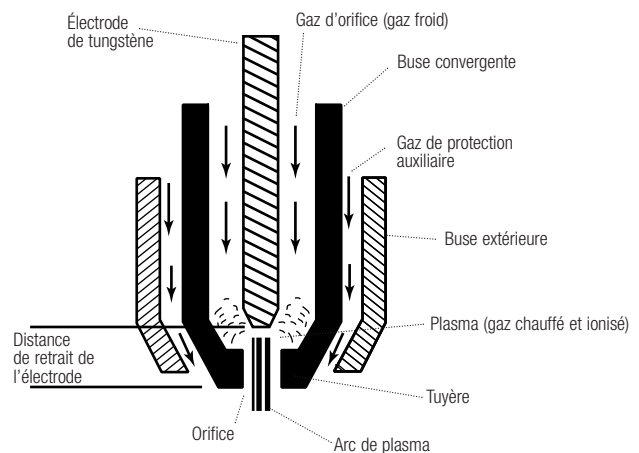


Figure 1.15 Buse plasma (PAW)

Soudage à l'arc submergé (SAW)

Application

Le procédé de soudage à l'arc submergé est souvent utilisé pour le rechargement de surface, notamment pour recouvrir des tuyaux ayant besoin d'une excellente solidité et d'une bonne résistance à l'abrasion. Il sert également à l'application de couches épaisses de métal dans les tuyaux destinés au secteur des mines où des milliers de tonnes de minerais devront circuler. Ce procédé est cependant limité à l'application horizontale à plat. Le soudage par le procédé SAW est très utilisé dans le domaine de la charpente 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 est ainsi submergé par le

fondant et 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, en utilisant un système d'aspiration à la source, de récupérer et de réutiliser la majeure partie du fondant. 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.

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. Le fondant est déposé selon le réglage effectué par le soudeur. Dans ce procédé de soudage, 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).

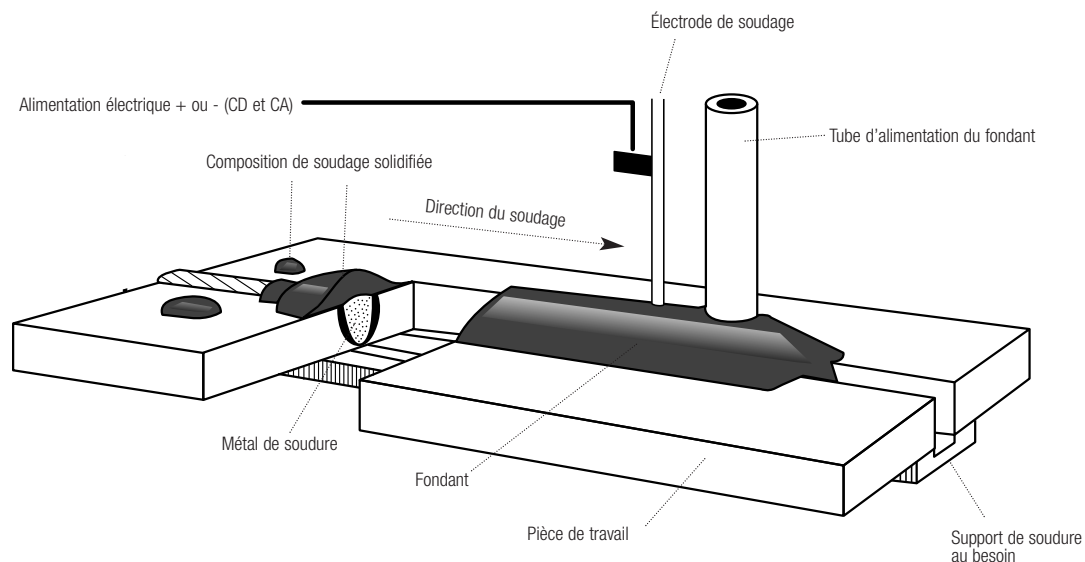


Figure 1.16 Arrangement de soudage à l'arc submergé (SAW)

TRAVAIL MANUEL À LA GOUGE

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

Coupage et travail manuel à la gouge avec électrode de carbone et jet d'air (AAC/AAG)

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. Ce procédé est surtout utilisé pour préparer les pièces avant le soudage. On n'utilise pas ce procédé 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.

Principe du procédé

Le travail avec 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 en insérer une nouvelle à l'intérieur de celle qui est usée ou tout simplement la remplacer quand elle est trop courte. Le remplacement de l'électrode se fait manuellement, le poste de soudage reste sous tension, tout comme dans le cas d'une électrode enrobée.

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.

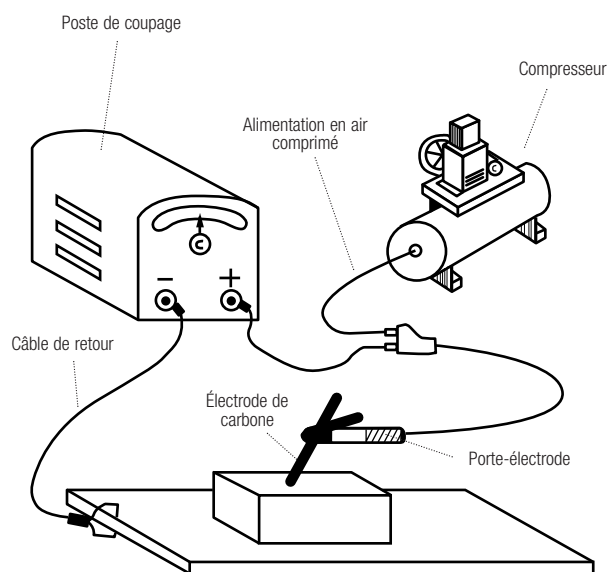


Figure 1.17 Arrangement typique pour la coupe à l'arc avec électrode de carbone et jet d'air (AAC)

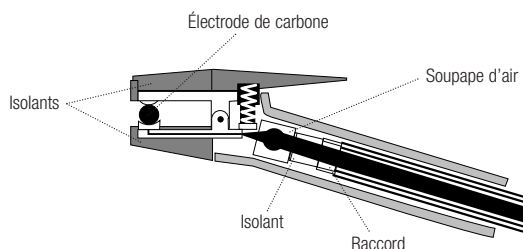


Figure 1.18 Porte-électrode AAC

Un véhicule automobile requiert entre 10 000 et 15 000 points de soudure par résistance pour l'assemblage des éléments qui la constituent.

2 Le soudage par résistance

On retrouve 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 procédés. On le retrouve dans l'assemblage de tôles minces pour la fabrication de meubles en métal, de boîtiers métalliques, de casiers, d'étagères ainsi que pour l'assemblage de treillis à partir de tiges métalliques (paniers d'épicerie, grilles, présentoirs, etc.).

L'industrie de l'automobile fait souvent appel à des robots pour le soudage par résistance par point.

Principe

Le procédé de soudage par résistance consiste à faire passer un courant électrique entre deux électrodes sans produire d'arc électrique. Les électrodes, placées de chaque côté des deux pièces minces à fusionner, laissent passer le courant, ce qui a pour effet d'élever la température et d'amorcer la fusion du métal. Le soudage se produit sous l'effet de la chaleur, du temps et de la pression exercée par les électrodes.

Le poste de soudage par résistance est 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.

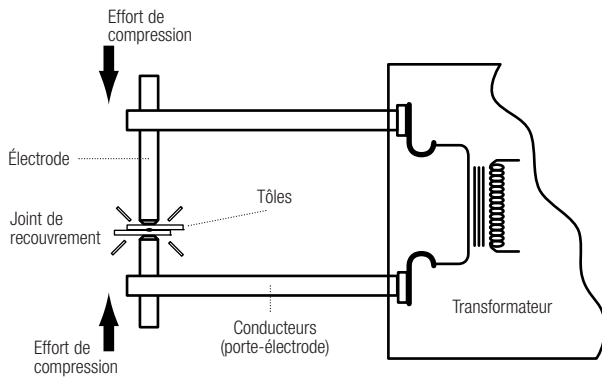


Figure 1.19 Soudage par résistance par point (RSW)

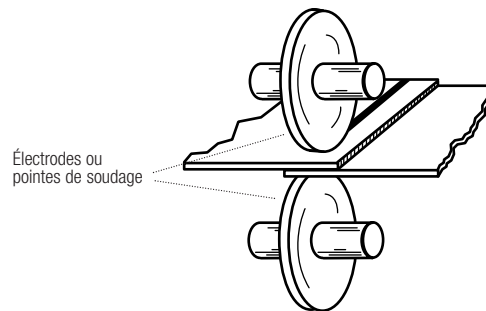


Figure 1.20 Soudage par résistance à la molette (RSEW)

3 Les procédés oxygaz

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

Principe

Dans ces procédés, on utilise deux gaz: l'oxygène et un gaz combustible, le plus souvent l'acétylène ou le propane. L'énergie qui assure le fonctionnement du procédé est produite par la combustion des gaz qui sortent du mélangeur du chalumeau. La flamme produite peut atteindre des températures de 3 100 à 3 500 degrés Celsius (5 600 à 6 330 °F).

Soudage (OFW)

Le soudage s'effectue par la fusion des parois métalliques des pièces à souder. La fusion est rendue possible par les températures élevées de la flamme. Au besoin, 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 il est remplacé par des procédés beaucoup plus performants.

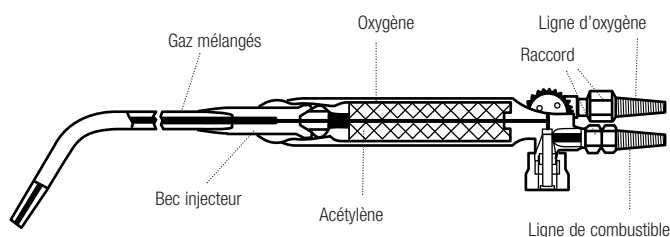


Figure 1.21 Chalumeau soudeur OFW

Brasage (TS et TB)

Pour le brasage, il n'est pas nécessaire de fondre le métal de base, il suffit de fondre le métal d'apport. Le point de fusion du métal d'apport est inférieur à celui du métal de base. Il s'agit de chauffer le métal de base en faisant fondre le métal d'apport et en le laissant 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. Le brasage au gaz est couramment utilisé dans le domaine de la plomberie pour réaliser des joints entre deux canalisations. On l'utilise également pour la réparation d'outils et d'équipements.

CHALUMEAU ou TORCHE:
appareil qui produit et dirige un jet de gaz enflammé. Il reçoit les gaz et les mélange selon la proportion voulue.

BUSE:
extrémité du chalumeau qui dirige les gaz.

Coupage (OFC)

Le troisième 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 couplant à cette flamme un jet d'oxygène pur, ce qui a pour effet de dégager le métal fondu et de séparer les pièces à découper. Le chalumeau coupeur diffère du chalumeau soudeur en ce qu'une ouverture placée au centre de la buse laisse passer le jet d'oxygène.

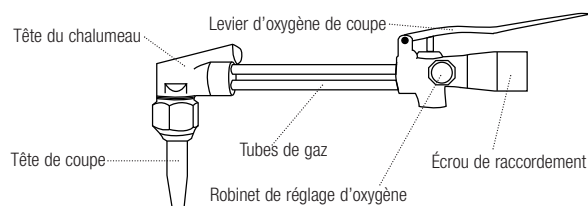


Figure 1.22 Chalumeau coupeur OFC

Métallisation (FLSP)

La métallisation des surfaces est une autre application du procédé oxycombustible. Ce procédé consiste à introduire dans le gaz de combustion une poudre métallique qui sera fondue et entraînée sur la pièce de métal. Par ce procédé, il est possible de fusionner de minces couches d'alliage de métal pour regarnir une surface ou pour y appliquer un revêtement. La température atteinte lors de la métallisation permet de fondre les poussières métalliques contenues dans le gaz sans toutefois fondre le métal de base. Ce genre d'application, plutôt rare, se retrouve surtout dans les ateliers d'entretien où seules de petites surfaces ont besoin d'être retravaillées.

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

4

Le soudage et le coupage par faisceau laser

Application

Le coupage par faisceau laser (LBC) est un procédé très efficace qui permet une très grande précision de coupe. Ce procédé très polyvalent permet de couper divers matériaux, allant du tissu au métal. Encore peu répandu dans l'industrie, le soudage par faisceau laser (LBW) sert dans l'industrie automobile pour souder des pièces de précision avec une soudure très étanche, par exemple des composantes d'engrenages de transmission. Le soudage au laser à arc pulsé (YAG ou *yttrium aluminium garnet*) pourrait également remplacer le soudage par résistance par point pour certaines applications où les pièces soudées sont sensibles à la chaleur, par exemple les piles au lithium et les détonateurs pour coussins gonflables.

Principe

Dans le procédé de coupage et de soudage par faisceau laser, la chaleur générée par un faisceau de lumière cohérente très intense sert à réchauffer, à fondre ou à vaporiser un solide.

Dans le cas du soudage, le faisceau laser est convenablement focalisé sur le joint à souder. Pour le coupage, on utilise la chaleur fournie par le faisceau laser, avec ou sans application d'un jet de gaz, pour augmenter la quantité de matière enlevée.

Deux procédés sont couramment utilisés pour le coupage au laser, soit le coupage au CO₂ qui utilise un courant direct pouvant aller jusqu'à 10 000 volts et le coupage au YAG qui fonctionne avec un courant pulsé. La différence majeure entre ces deux procédés réside dans la façon de produire le rayon laser : pour le coupage au CO₂, c'est le gaz qui produit le rayon tandis que le coupage YAG utilise un cristal pour produire le rayon laser. On utilise également dans ces procédés un gaz de protection.

Classes

La norme ANSI Z136.1 distingue cinq classes de laser: les classes 1, 2, 3A, 3B et 4. La différence majeure entre les classes est la puissance du laser utilisé.

Les lasers de classe 3B fonctionnent dans la gamme complète des longueurs d'onde (200 nm à 1mm) avec une puissance de sortie de 0,5 watt. Il est dangereux de regarder le faisceau directement.

Les lasers de classe 4 sont de forte puissance et peuvent produire des réflexions diffuses dangereuses. Leur utilisation exige une grande prudence et des règles de sécurité strictes. Les coupeuses de métaux au laser sont de classe 4. Les lasers de classe 4 peuvent également présenter des risques d'incendie en raison des poussières générées et de la puissance impliquée.



Tableau synthèse des procédés

Procédés	Applications	Source d'énergie	Gaz(G) de protection, fondant (F) ou décupant (D)	Type d'électrode ou baguette	Courant alternatif CA ou direct CD	Circuit secondaire (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

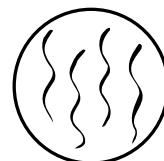
Contenu

- 1 Identification des risques
- 2 Normes d'exposition
- 3 Méthodes de prévention

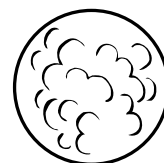
Les risques

reliés aux fumées et aux gaz

Gaz



Fumées



1 Identification des risques

Les fumées et les gaz de soudage et de coupage

Nature

Les produits générés lors du soudage et du coupage sont de deux natures: les fumées et les gaz.

La présence d'un métal en fusion libère dans l'air des molécules de métal qui, très rapidement, se combinent à l'oxygène de l'air et forment des oxydes métalliques. L'addition de millions de particules d'oxydes métalliques forme un nuage de fumée facilement visible près du soudeur. À ces oxydes métalliques se rajoutent des substances complexes produites par la combustion de solvant, d'huile ou d'autres matières recouvrant les pièces à souder. Les particules du nuage de fumée sont très fines et 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 ne se déposeront jamais.

Provenance

Les fumées et les gaz produits lors du soudage et du coupage ont plusieurs origines.

Métal de base

Le métal de base est le métal sur lequel un travail de soudage ou de coupage est effectué. La fusion du métal de base produit des fumées (oxydes métalliques).

Métal d'apport

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

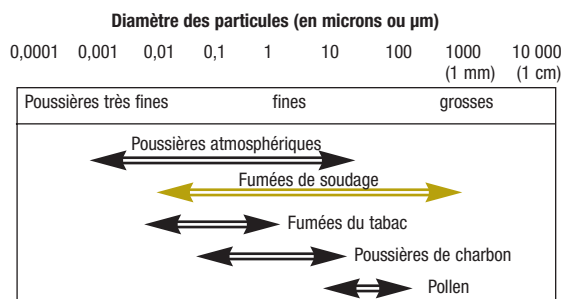


Figure 2.1 Grosseur type des particules en suspension dans l'air

Fondant (flux)

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

Gaz de protection

Les gaz de protection acheminés auprès de la soudure se répandent après coup dans l'environnement du soudeur.

Solvants

Les soudeurs ont souvent besoin d'enlever l'huile et la graisse qui recouvrent une pièce avant de pouvoir la souder. Lorsque les solvants résiduels 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. Certains solvants contenant du chlore, tels 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). Même si le travail de dégraissage s'effectue loin du lieu de soudage, il pourrait y avoir formation de gaz nocif si le système de ventilation entraîne les contaminants vers le lieu de soudage.

Matières recouvrant le métal à souder

Le métal à souder peut être recouvert de peinture, d'antirouille, de produits de finition ou d'autres substances susceptibles de générer des gaz et des fumées lors de la combustion sous l'effet de la chaleur. Les produits de combustion peuvent être particulièrement toxiques s'il s'agit, par exemple, de peintures contenant du plomb ou des isocyanates. Les revêtements de polyuréthane peuvent produire du formaldéhyde et du diisocyanate de toluène. Les résines d'époxydes peuvent produire du cyanure d'hydrogène et du monoxyde de carbone. Le vinyle peut dégager du chlorure d'hydrogène et les peintures antirouilles peuvent dégager de la phosphine.

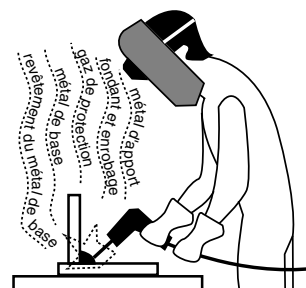


Figure 2.2 Sources des fumées et des gaz lors du soudage

Plus l'ampérage est grand, plus il y a formation de fumées puisque la température du bain de fusion augmente.

Concentrations des fumées selon le procédé

Le graphique suivant indique les taux de production de fumées générées par différentes combinaisons de procédés et de métaux soudés.

Les taux de production de fumées s'expriment en grammes par minute de temps de soudage. Le graphique illustre des plages de taux, car de nombreux facteurs influencent la production de fumées pour un même procédé. Les valeurs dépendent, entre autres, de l'intensité du courant, de la composition du métal d'apport, des gaz de protection, etc.

Dans le coupage au laser (LBC), la puissance utilisée et la pression du gaz de coupe sont également des facteurs de très grande importance.

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

Il ne faut pas oublier qu'un procédé produisant moins de fumées n'est pas nécessairement moins toxique.

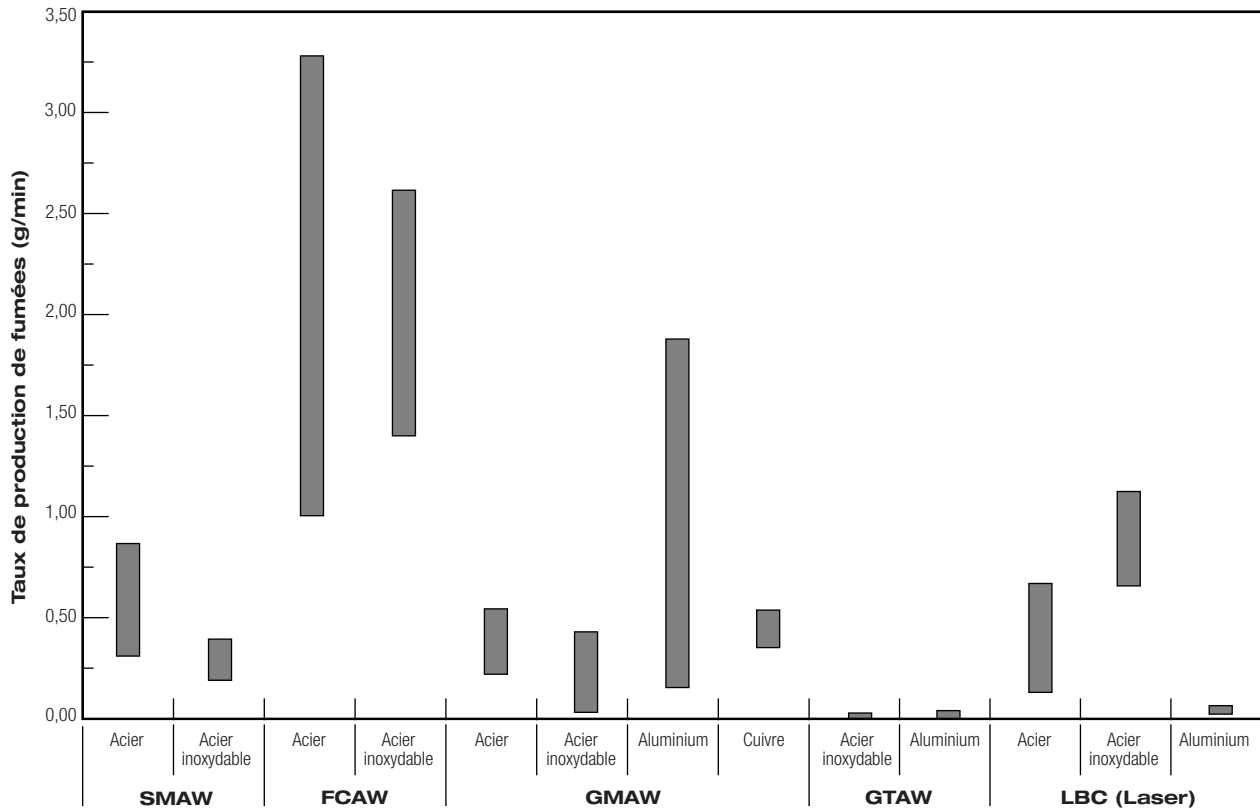


Figure 2.3 Taux de production de fumées de divers procédés appliqués à différents métaux

Les mécanismes de défense du poumon

Les fumées et les gaz ont comme première cible les poumons. Le rôle du poumon est de distribuer l'oxygène dans le sang et d'évacuer le bioxyde de carbone 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, on trouve de petits sacs à paroi très mince qu'on appelle alvéoles. C'est à travers cette membrane très mince que l'échange gazeux se produit (échange de l'oxygène et du bioxyde de carbone).

Le système respiratoire possède des mécanismes de défense qui aident à éliminer certaines substances indésirables. Avec le

temps, si la concentration et la toxicité des produits sont élevés, les mécanismes de défense peuvent s'user et devenir beaucoup moins efficaces.

Mucus

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

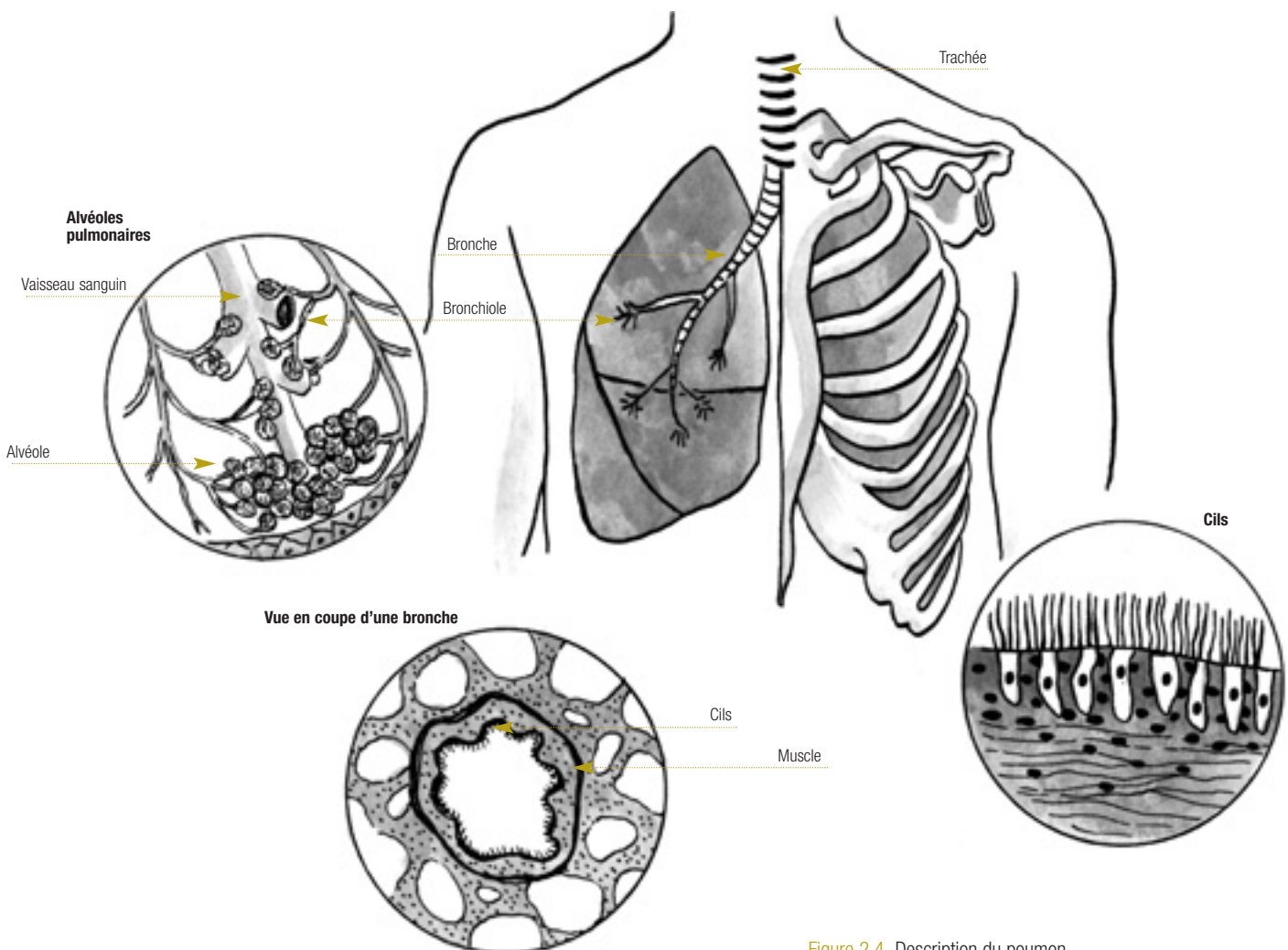
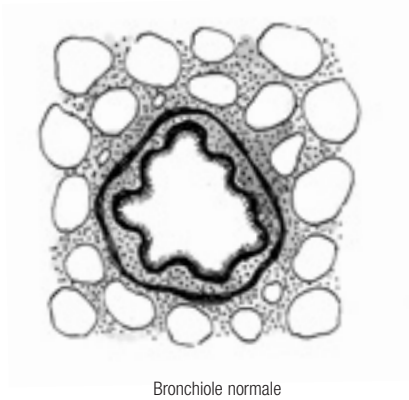
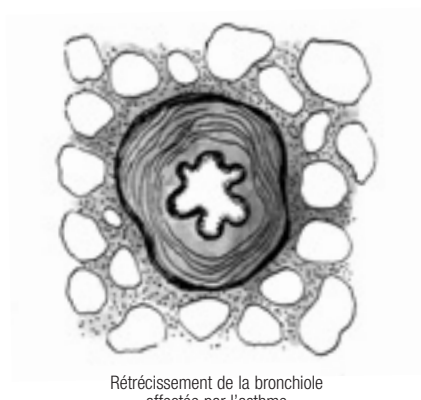


Figure 2.4 Description du poumon



Bronchiole normale



Rétrécissement de la bronchiole affectée par l'asthme

à faire remonter les parties agglutinées (poussières et mucus). Ce mécanisme permet de débarrasser les voies respiratoires des plus grosses particules par la toux et les crachats.

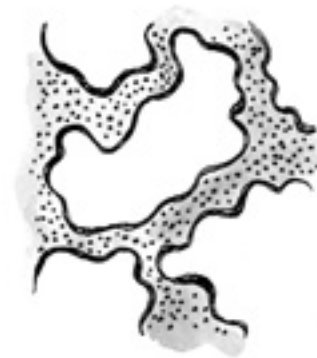
Lorsque les particules sont relativement petites, comme c'est le cas pour les gaz et les fumées, elles peuvent se rendre jusqu'au niveau des alvéoles sans être arrêtées par le mécanisme de défense des cils et du mucus. Ces particules peuvent se déposer sur place et provoquer des effets nuisibles.

La toux

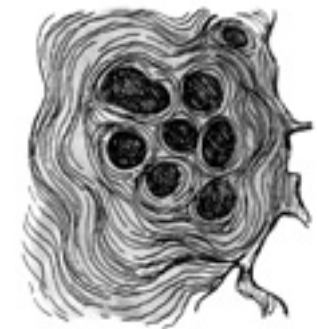
Les muscles sollicités par la toux provoquent le rétrécissement du diamètre des bronches et des bronchioles, ce qui a pour effet de chasser l'air violemment et d'entraîner l'agent agresseur. C'est ce qui se produit lorsqu'on s'étouffe en mangeant.

Autres mécanismes de défense

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



Coupe d'une alvéole normale



Coupe d'une alvéole affectée par la fibrose

Figure 2.5 Effets de certaines maladies sur les parties du poumon affecté

Les effets des fumées et des gaz sur la santé

Les fumées et les gaz peuvent avoir des effets nocifs sur les voies respiratoires du soudeur à divers niveaux, selon leur concentration et leur toxicité.

On regroupe les contaminants en six catégories selon les effets qu'ils ont sur la santé des travailleurs. Le tableau suivant présente ces catégories et des exemples d'agresseurs.

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 une réaction chimique, réduisent la capacité de l'organisme à utiliser l'oxygène qui est disponible.	Acétylène, argon, ... Monoxyde de carbone (CO)
Allergisants	Déclenchent des réactions de type allergique au contact des parois des bronches et des bronchioles (par exemple, le rétrécissement des bronchioles dans le cas de l'asthme).	Chrome et zinc
Fibrosants	Se rendent jusqu'aux alvéoles et provoquent une réaction de défense qui produira un épaississement de la paroi et une réduction des échanges gazeux.	Amiante, béryllium, fer et silice
Irritants	Créent une inflammation au niveau des yeux, des muqueuses nasales et des voies respiratoires. Certains irritants pourront, après des expositions répétées, avoir des effets fibrosants.	Ozone, oxyde d'azote, phosgène, phosphine, cadmium, chrome, cuivre, manganèse, magnésium, molybdène, zinc et tungstène
Cancérogènes	Sont susceptibles de causer des cancers.	Chrome, cadmium et nickel
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

Les agresseurs et leur toxicité

Les tableaux qui suivent présentent les principaux agresseurs que l'on trouve dans les activités de soudage et de coupage. Pour chacun des agresseurs, on décrit les risques en fonction d'une toxicité aiguë et d'une toxicité chronique. On fait alors référence aux maladies professionnelles le plus documentées dans la littérature.

Les maladies aiguës se produisent en quelques mois, en quelques jours ou même en quelques heures comme la fièvre du fondeur. Les maladies chroniques, comme les pneumoconioses, apparaissent après plusieurs années d'exposition (10 à 20 ans).

Les maladies marquées d'un astérisque seront définies à la suite des tableaux.

Pour identifier les agresseurs potentiels dans le milieu de travail, il faut d'abord se référer aux fiches signalétiques du métal d'apport utilisé. Comme ces matériaux sont des combinaisons de plusieurs produits, il faut en connaître la composition ainsi que les concentrations présentes afin de déterminer les risques possibles à la santé. Si les pièces sont recouvertes de peinture ou d'un revêtement quelconque, il faudrait idéalement en connaître la composition.

Les tableaux suivants permettent également d'identifier certains agresseurs en fonction de leurs sources d'émission les plus courantes. Ces sources peuvent être le métal d'apport, le procédé utilisé, le gaz de protection, le métal de base ou le revêtement de surface.

Métaux

Agresseurs	Sources	Toxicité aiguë	Toxicité chronique
Argent	Brasage tendre à l'argent.		Argyrie (pigmentation de la peau et des yeux causée par des dépôts d'argent métallique).
Arsenic	Électrodes de soudure. Meulage de composantes de semi-conducteurs.	Dermatites, symptômes gastro-intestinaux (nausées, vomissements et diarrhée).	Cancers (poumon, peau, système lymphatique), anémie, leucémie, effets toxiques sur le cœur, le foie et les nerfs.
Béryllium	Soudage au béryllium. Les alliages de cuivre peuvent contenir du béryllium. Outils non producteurs d'étincelles, contacts électriques.	Dermatites, ulcères de la peau, conjonctivite, rhinite, pharyngite trachéo-bronchite, pneumonite chimique*.	Cancer du poumon, symptômes pulmonaires (toux, douleurs thoraciques, cyanose, faiblesse générale), effets toxiques sur le foie et la rate.
Cadmium, oxyde de	Soudage ou coupage sur des métaux contenant du cadmium ou aciers galvanisés. Brasage de pièces d'argent au moyen d'un apport argent-cadmium.	Irritation et perforations nasales, irritation des voies respiratoires (pneumonite chimique*, œdème pulmonaire*).	Cancers du poumon et de la prostate, fibrose* et œdème pulmonaire*, atteinte rénale, anémie.
Chrome (VI)	Soudage ou coupage sur acier galvanisé ou inoxydable, surtout lors d'opérations de soudage fait à l'arc (GMAW).	Irritation de la peau (dermatite, ulcère), conjonctivite, irritation des voies respiratoires, asthme*.	Cancer du poumon, perforation nasale et du tympan, effets toxiques suspectés sur les reins et le foie.
Cobalt	Électrodes de soudure. Brasage avec carbure de tungstène.	Allergies au niveau de la peau et des poumons (asthme*), irritation de la peau.	Fibrose pulmonaire*.
Cuivre, oxyde de	Travail sur cuivre ou alliage de cuivre. Électrodes de soudure.	Fièvre du fondeur*, irritation des muqueuses nasales.	Non documentée chez les soudeurs.
Fer, oxyde de	Travail sur fer et acier doux. Électrodes de soudure.	Fièvre du fondeur*, irritation des muqueuses nasales.	Sidérose (dépôt de fer dans les poumons).
Magnésium, oxyde de	Découpage du magnésium. Baguettes de soudure.	Irritation des muqueuses nasales, conjonctivite, fièvre du fondeur*.	Non documentée chez les soudeurs.
Manganèse	Fonte et nombreux aciers et alliages au cuivre, à l'aluminium et au magnésium. Enrobage d'électrodes.	Pneumonite chimique*.	Atteinte au système nerveux (irritabilité, somnolence, rigidité musculaire).
Molybdène	Certains alliages d'acier et alliages de rechargement.	Irritation des muqueuses nasales, conjonctivite.	
Nickel	Soudage ou coupage sur acier galvanisé, inoxydable ou contenant des alliages cuivre-nickel. Surtout lors d'opérations de soudage à l'arc (GMAW). Électrodes de soudure.	Dermatite, asthme*.	Cancers (nez, larynx et poumons), irritation des voies respiratoires (saignements du nez, ulcère et perforation nasale), problèmes rénaux.
Plomb	Métaux recouverts de plomb. Peintures contenant des pigments de plomb (de plus en plus rare).		Effets toxiques sur le système nerveux (perte d'appétit, constipation, douleurs abdominales) et les reins, anémie, diminution de la fertilité, atteinte du fœtus.

Métaux (suite)

Agresseurs	Sources	Toxicité aiguë	Toxicité chronique
Titane, dioxyde de	Certains alliages d'acier. Enrobage d'électrodes.		Pneumoconiose*.
Tungstène	Électrodes (TIG et plasma).	Conjonctivite, irritation des voies respiratoires, toux et dyspnée (respiration irrégulière).	Asthme*, pneumoconiose*, pneumonie diffuse et fibrose.
Vanadium, pentoxyde de	Certains types de fil de métal d'apport. Certains enrobages d'électrodes. Certains aciers.	Conjonctivite, irritation des voies respiratoires (saignements de nez, toux), dermatite.	
Zinc, oxyde de	Soudage et coupage sur métal galvanisé et métal peint.	Fièvre du fondeur*, éruptions cutanées.	Cancer du poumon possible par les chromates.

Gaz

Agresseurs	Sources	Toxicité aiguë	Toxicité chronique
Acétylène	Procédés utilisant l'acétylène comme gaz combustible.	Asphyxiant simple.	
Argon	Procédés utilisant l'argon comme gaz de protection.	Asphyxiant simple.	
Monoxyde de carbone (CO)	Combustion incomplète des gaz carburants (oxygaz). Combustion des polymères des peintures et des électrodes de carbone (procédés à l'arc). Décomposition du bioxyde de carbone (gaz de protection).	Asphyxiant chimique (maux de tête, nausées, accélération du rythme respiratoire, évanouissement, mort).	Système cardio-vasculaire.
Oxydes d'azote (NO, NO₂, NO_x)	Soudage à l'arc (MIG, TIG). Les rayons U.V. agissent sur l'azote de l'air pour l'oxyder.	Irritation des yeux et des voies respiratoires (pneumonite chimique*, œdème pulmonaire*).	Bronchite chronique*, emphysème*, fibrose pulmonaire*.
Ozone (O₃)	Soudage à l'arc (MIG, TIG). Les rayons U.V. agissent sur l'oxygène de l'air pour former l'ozone. Pire cas: procédé GMAW sur l'aluminium avec alliage de silicium (ex.: Al 4043) et ampérage élevé.	Irritation des yeux et des voies respiratoires (pneumonite chimique*, œdème pulmonaire*), maux de tête, fatigue, somnolence.	Insuffisance pulmonaire.
Phosgène	Contact d'une flamme ou d'une surface métallique très chaude avec un solvant chloré.	Irritation pulmonaire intense, œdème pulmonaire*.	Emphysème*, fibrose pulmonaire*.
Phosphine	Contact d'une flamme ou d'une surface métallique très chaude avec un revêtement antirouille contenant des phosphates.	Irritation des yeux, du nez et de la peau.	

Minéraux non métalliques

Agresseurs	Sources	Toxicité aiguë	Toxicité chronique
Amiante	Certains enrobages d'électrode.		Amiantose (non documentée chez les soudeurs), mésothéliome (cancer du poumon).
Fluorures	Recouvrement des électrodes. Fondant pour le soudage à l'arc.	Irritation respiratoire, symptômes gastro-intestinaux.	Ostéosclérose, insuffisance respiratoire, problèmes rénaux.
Silice	Utilisation de la silice et alliages à base de silicium.		Silicose.

Principales maladies professionnelles

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

La fièvre du fondeur

Les particules étrangères pénètrent les alvéoles et y exercent des actions inflammatoires (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 (mal 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 développée, mais certains pourront avoir par une nouvelle crise après une absence plus ou moins longue du travail; c'est la « fièvre du lundi matin ».

La pneumonite chimique et l'œdème pulmonaire

Ce sont des phénomènes irritatifs qui 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 4 à 6 heures une fièvre accompagnée de toux qui peut évoluer vers une douleur thoracique et une difficulté à respirer (œdème pulmonaire). Le travailleur récupère habituellement complètement avec un traitement adéquat. Des pneumonites chimiques répétées peuvent occasionner une fibrose pulmonaire (pneumoconiose).

La 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 qui évolue en empirant vers une grande difficulté respiratoire. Plutôt rare chez les soudeurs, ce problème est le plus souvent lié à l'exposition aux isocyanates libérés lors d'un travail sur des métaux peints avec des peintures à base de résine.

L'asthme

L'asthme est caractérisé par des attaques aiguës de contraction des bronchioles, entrecoupées par des périodes où l'individu est plus ou moins libre de tout symptôme. L'individu est sensibilisé ou allergique au produit qui cause son asthme et de très petites quantités de substances sont par la suite suffisantes pour déclencher une crise.

La 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. Chez les soudeurs, des symptômes de difficulté respiratoire sont souvent présents et certains travailleurs vont même faire de l'emphysème. Le tabac est l'agresseur qui causera le plus souvent ce problème, mais on démontre une prévalence des symptômes de bronchite chronique plus élevée chez les soudeurs que dans la population en général.

Les pneumoconioses

Dans les pneumoconioses, on regroupe un ensemble de problèmes pulmonaires ayant en commun l'épaississement des parois pulmonaires, phénomène connu sous le nom de fibrose. Ce phénomène de fibrose a pour conséquence de diminuer la capacité du poumon à apporter au sang l'oxygène nécessaire. Parmi les pneumoconioses spécifiques que pourrait contracter le soudeur, il y a 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) et la pneumoconiose au titane. Les pneumoconioses non spécifiques sont celles dues au phénomène de fibrose qui accompagne l'addition des cicatrices subies lors de pneumonites répétées.

Les cancers

L'Agence internationale de recherche sur le cancer (IARC) considère les fumées de soudure comme potentiellement carcinogènes 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 plus élevé de cancer du poumon que le reste de la population. Certaines études épidémiologiques réalisées chez les soudeurs ont démontré un risque d'environ 30 % plus élevé pour le cancer du poumon. On pourrait expliquer ce risque plus élevé, d'une part par une exposition à des carcinogènes non liés spécifiquement aux procédés de soudage (amiante et contaminants à la surface de pièces à souder), d'autre part par une exposition au chrome hexavalent (chrome VI), au cadmium et au nickel dans certains procédés spécifiques (acier inoxydable).

Le manganisme et le saturnisme

Le travail effectué sur de longues périodes sur des aciers formés d'alliages de manganèse peut donner lieu à une atteinte du système nerveux central appelée manganisme. L'accumulation de plomb chez un travailleur pourrait donner lieu à un ensemble de symptômes appelé saturnisme.

Normes d'exposition

La section précédente traitait en détail des effets des fumées et des gaz sur la santé dans le but de conscientiser les soudeurs et les travailleurs aux maladies qui les guettent si le milieu de travail ne possède pas des méthodes de prévention adéquates. Avant d'exposer ces mesures de prévention, il faut faire le lien avec les valeurs d'exposition permises selon la réglementation applicable.

Les contaminants présents dans le milieu de travail sont régis par le Règlement sur la qualité du milieu de travail (RQMT) qui prescrit des limites d'exposition. Voici un tableau qui présente les valeurs limites d'exposition pour les substances les plus fréquemment échantillonnées en milieu de travail pour des activités de soudage et de coupage.

Ces valeurs limites s'expriment en concentration moyenne pondérée sur 8 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 d'exposition (valeur plafond).

Important

Dans les opérations de soudage et de coupage, la valeur limite correspondant aux fumées totales s'applique toujours. Cependant, si le métal de base ou l'électrode contiennent des substances dont la VEMP est inférieure à 5 mg/m³ (soit celle des fumées totales), il peut être recommandé d'échantillonner spécifiquement cette substance si sa concentration est significative au niveau de la composition du métal de base ou de l'électrode.

C'est pourquoi il est essentiel de bien connaître la nature du métal de base que l'on soude et quel produit d'apport on utilise.

Substances	VEMP	Valeur plafond
Fumées		
Aluminium (fumées de soudage)	5 mg/m ³	
Béryllium	0,002 mg/m ³	
Chrome VI	0,05 mg/m ³	
Cobalt	0,05 mg/m ³	
Nickel	1 mg/m ³	
Fumées de soudage (fumées totales)	5 mg/m ³	
Oxyde de magnésium (fumées)	10 mg/m ³	
Oxyde de cadmium (fumées)		0,05 mg/m ³
Oxyde d'azote (NO ₂)		3 ppm
Ozone (O ₃)		0,1 ppm
Phosgène	0,1 ppm	

Note : ppm signifie partie par million
Tiré de l'annexe A du Règlement sur la qualité du milieu de travail (RQMT)

Méthodes de prévention

La Loi sur la santé et la sécurité du travail a pour objet l'élimination à la source même des dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs. Pour atteindre cet objectif et afin de diminuer l'exposition des travailleurs aux contaminants, quatre grands principes pourront être appliqués, dans l'ordre suivant :

- 1 Diminution du taux de production de fumées et de contaminants
- 2 Captation à la source des fumées et des contaminants
- 3 Dilution des contaminants
- 4 Protection respiratoire individuelle

1 Diminution du taux de production de fumées et de contaminants

Préparation des pièces à souder

Plusieurs contaminants proviennent des matières recouvrant le métal à souder ou des solvants utilisés pour le dégraissage. La norme CSA W117.2-94, « Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes », spécifie d'ailleurs qu'il faut mettre le métal à nu avant de le souder.

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

1. Enlever la peinture, l'huile ou tout autre recouvrement de surface.
2. Éviter d'utiliser des solvants chlorés. Si on doit absolument en utiliser, prévoir la captation à la source des émanations au poste de dégraissage ou assurer une distance minimum de 15 mètres (50 pieds) entre le lieu de soudage et le lieu de dégraissage.
3. S'assurer d'un temps de séchage suffisant des solvants pour éviter qu'il y ait des résidus.

Modifications au procédé

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

1. Peut-on modifier le procédé de soudage? Dans l'industrie, le procédé FCAW est souvent remplacé par le procédé GMAW qui produit moins de fumées.

2. Peut-on modifier la composition de l'enrobage de l'électrode? Une composition différente de l'enrobage de l'électrode peut réduire les émanations de fumées tout en conservant la même qualité de soudure.
3. Peut-on réduire l'intensité du courant? En général, plus l'intensité du courant est élevée, plus il y a émission de fumées.
4. Peut-on modifier le diamètre des électrodes? Plus l'électrode est grosse, plus le courant requis est élevé. Il y a donc plus de production de fumées.
5. Peut-on changer la polarité de l'électrode? Le soudage avec un courant direct positif produit jusqu'à 30 % plus de fumées que le soudage avec un courant direct négatif ou avec un courant alternatif.
6. Peut-on réduire la longueur de l'arc? Plus l'arc est long, plus il y a production de fumées.
7. Peut-on changer le gaz de protection? Le genre de gaz de protection utilisé 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 CO₂ au lieu de l'utiliser à l'état pur. De plus, les concentrations d'ozone sont réduites lorsqu'il y a ajout d'oxyde nitrique au gaz de protection pour le soudage de l'aluminium avec le procédé MIG.

2 Captation à la source des fumées et des contaminants*

Aspiration 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.

Composantes d'un système de captation

1. Le capteur : dispositif permettant de capter l'air contaminé.
2. Les conduits d'évacuation : tuyauterie permettant d'acheminer l'air contaminé à l'extérieur du lieu de travail.
3. L'unité de filtration : dispositif permettant de filtrer l'air avant de le rejeter et de le refaire circuler.
4. L'unité d'aspiration : évacuateur permettant l'aspiration de l'air contaminé à travers le réseau de tuyauterie.

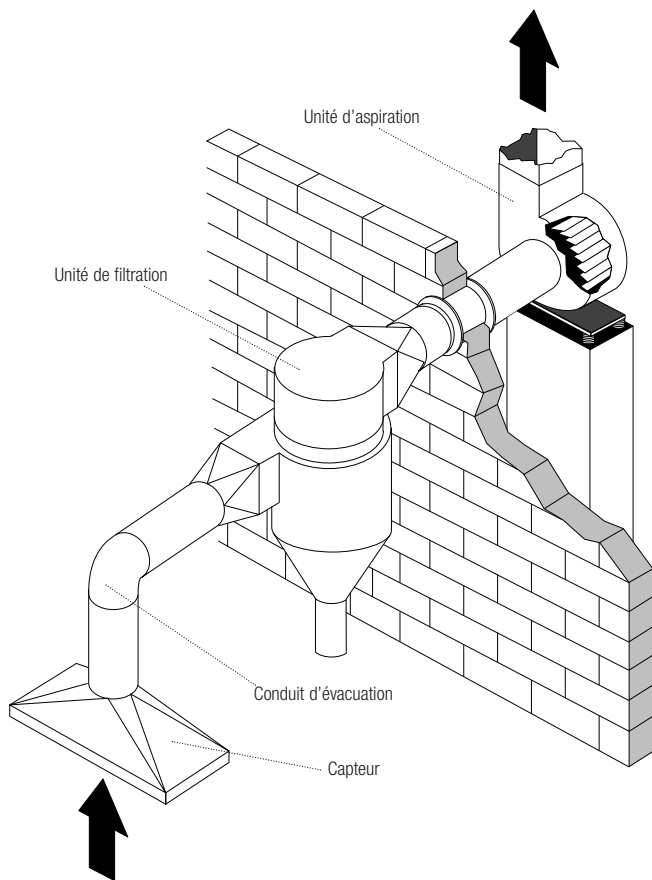


Figure 2.5 Composantes d'un système de captation
Source: L'aspiration à la source, UQAM-CSN-FTQ

Réglementation

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

Le RQMT définit comme poste de travail fixe tout poste de travail qui requiert que le travailleur exerce ses fonctions pendant au moins 4 heures de sa journée de travail sur une surface habituelle de travail de 30 mètres carrés (323 pieds carrés) ou moins.

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 distingue ces trois principes par les pressions requises de l'unité d'aspiration ainsi que par les débits d'air fournis par le système.

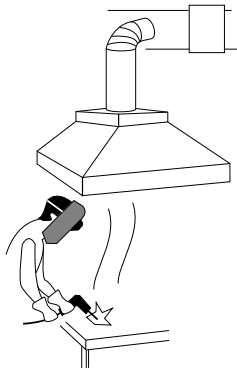
Le chapitre 8 traite plus en détail de ces concepts ainsi que des avantages, des contraintes et des applications de chacun d'eux.

Plusieurs facteurs peuvent influencer le choix et la configuration du système de ventilation:

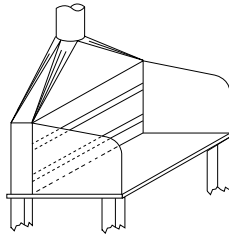
- forme, dimensions et poids des pièces;
- nature du métal soudé;
- toxicité des fumées et des gaz émis;
- gabarit de positionnement des pièces et table de travail;
- type de soudure et position de soudage requise;
- procédé utilisé;
- nombre de postes de travail;
- environnement de travail et espace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

La figure de la page suivante présente les systèmes d'aspiration à la source les plus courants.

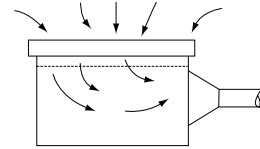
* Cette section ne présente qu'un résumé des principes d'aspiration à la source. Le chapitre 8 traite plus en détail de la ventilation appliquée aux opérations de soudage.



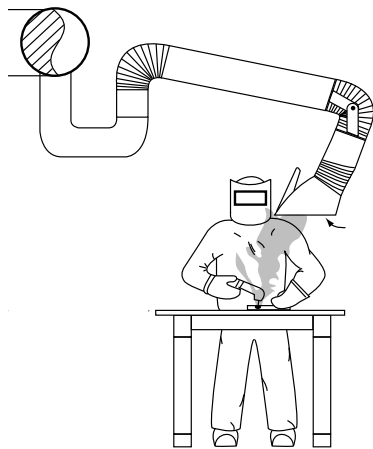
a) Hotte fixe au-dessus du poste de travail



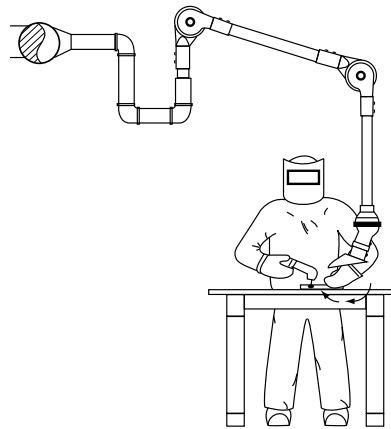
b) Table aspirante avec fentes d'aspiration face au travailleur



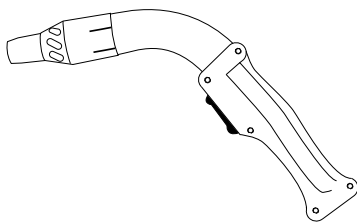
c) Table avec aspiration verticale descendante



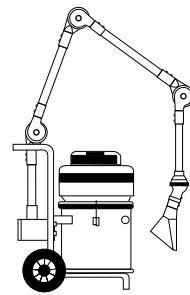
d) Bras de captation à haut débit avec conduit flexible de 20 cm (8 pouces) de diamètre



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



f) Pistolet de soudage à captation intégrée



g) Unité mobile de filtration

Figure 2.6 Exemples de systèmes de captation à la source

3 Dilution des contaminants*

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 refaire circuler une partie de cet air vicié dans certaines conditions.

La ventilation générale n'est pas une façon de capter les contaminants. En principe, elle ne devrait servir qu'à diluer le faible pourcentage de contaminants qui n'a pas été aspiré par le système de captation à la source et à renouveler l'oxygène. Dans les situations où la captation à la source n'est pas possible, on doit utiliser la ventilation générale pour diluer le plus possible les contaminants. Dans ces cas, il faut avoir recours à la protection respiratoire individuelle.

Ventilation adéquate

Les principales exigences concernant la ventilation se retrouvent dans le Règlement sur la qualité du milieu de travail (RQMT). Pour que la ventilation soit adéquate, il faut que :

- les concentrations de contaminants dans la zone respiratoire du travailleur soient sous les limites permises (annexe A du RQMT);
- la concentration des gaz combustibles soit inférieure à 25 % de la limite inférieure d'explosivité;
- la concentration d'oxygène soit maintenue entre 19,5 % et 23 %.

Techniques de ventilation générale

Il existe deux techniques de ventilation générale :

Ventilation naturelle

La ventilation naturelle permet une circulation de l'air par l'entremise 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 la surface du plancher. Toutefois, cette technique ne permet pas de ventiler adéquatement les bâtiments en hiver; c'est pourquoi on doit la plupart du temps se tourner vers la ventilation mécanique.

Ventilation mécanique

La ventilation mécanique implique l'utilisation de ventilateurs fixés aux murs ou au toit afin d'évacuer l'air vicié. On installe les ventilateurs d'extraction dans la zone la plus contaminée. L'entrée d'air devrait être localisée dans la zone la moins contaminée de façon à permettre un écoulement d'air de la section la plus saine vers la section la plus contaminée.

Mouvements de l'air

La figure suivante donne quelques indications sur la qualité du mouvement de l'air selon différentes techniques de ventilation générale mécanisée.

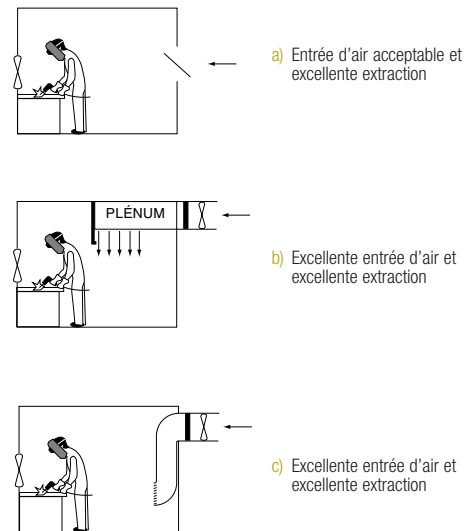


Figure 2.7 Ventilation appliquée à une pièce ou à un local

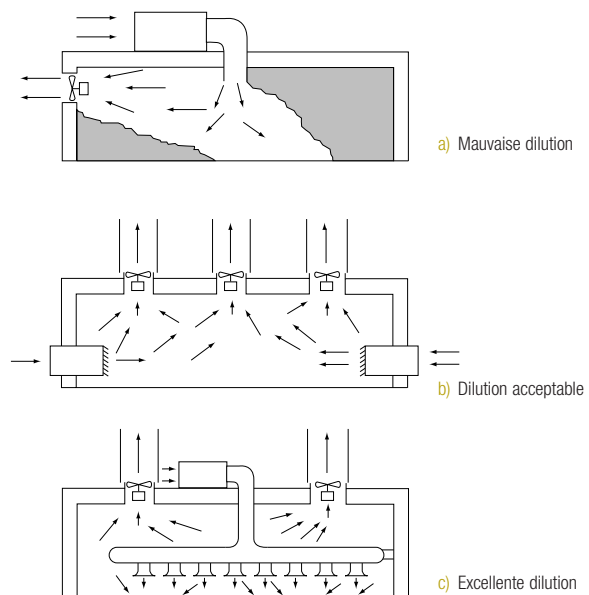


Figure 2.8 Ventilation appliquée à un atelier ou à un bâtiment

* Cette section ne présente qu'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.

4 Protection respiratoire

Application

Lorsque la quantité de fumées et de gaz de soudage dépasse la moitié de la norme d'exposition admissible, il est généralement recommandé de mettre en place des moyens pour réduire ces émanations à la source. Parfois la situation exige une protection respiratoire, car aucune solution de captation à la source ne peut être utilisée. La réglementation admet cette possibilité dans le cas où la technologie existante ne permet pas à l'employeur de respecter les normes d'exposition permises et dans le cas des travaux d'entretien ou de réparation hors atelier ou encore, en attendant de mettre en oeuvre les mesures requises pour respecter ces normes.

Normes

La norme CSA Z94.4 « Choix, entretien et utilisation des appareils respiratoires » et le guide du NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) peuvent faciliter le choix de l'appareil respiratoire selon l'application.

Une nouvelle norme modifie maintenant la classification des filtres: la norme NIOSH 42 CFR partie 84, juillet 1998, remplace dorénavant la norme NIOSH 30 CFR partie 11. Auparavant classés par type de contaminants tels que poussières, brouillards, fumées, radionucléides ainsi que vaporisation de peintures, laques et pesticides, les filtres sont maintenant classés en neuf catégories, soit trois niveaux d'efficacité de filtration (95 %, 99 % et 99,97 %) pour chacune des trois classes de résistance aux effets des huiles du milieu de travail. Cette norme concerne les masques jetables ainsi que le préfiltre des masques à cartouches.

Masques filtrants

L'étanchéité des masques filtrants doit être vérifiée avant leur utilisation. Lorsqu'une personne porte un masque bien ajusté, au moment d'inhaler, l'air inspiré traverse le filtre et le matériel filtrant retient le contaminant. S'il y a des infiltrations par les côtés, le dessus ou le dessous du masque, à travers une valve brisée ou des fissures, l'utilisateur respirera de l'air contaminé. Le respirateur doit donc être en bon état et former un lien étanche avec le visage pour s'assurer que l'air respiré passe par le filtre. Le port de la barbe réduit ainsi nettement l'efficacité du masque.

Masques jetables

Les masques jetables peuvent convenir pour les fumées de soudage, les particules et les poussières de meulage, mais ils n'offrent généralement pas de protection contre les gaz.



Certains offrent une protection contre l'ozone à l'aide d'une mince couche de charbon activé; la concentration en ozone doit cependant être sous la norme. Le masque jetable se porte facilement sous un masque de soudeur et certains modèles sont munis d'une soupape d'expiration qui facilite la respiration et améliore le confort.

Masques à cartouches

Ces masques sont munis d'un préfiltre, qui protège contre les fumées et les poussières, et d'un filtre pour certains gaz. L'utilisation de ce type de masque est à proscrire lorsque le seuil olfactif est supérieur à la norme d'exposition. Certains modèles surbaissés facilitent le port de lunettes de sécurité.



Masques à ventilation assistée

Ce masque motorisé est constitué d'un casque ou d'une cagoule où est acheminée une pression positive d'air. L'air est soutiré dans l'environnement du travailleur et transite d'abord par un bloc aspirant. Ces masques filtrent gaz et fumées selon le préfiltre choisi. Certains modèles de casques et de cagoules peuvent être munis d'une lentille photosensible au lieu d'un écran de protection ordinaire pour soudeur.



Restrictions

Certaines restrictions s'appliquent cependant : il ne faut pas utiliser les masques filtrants dans un environnement pauvre en oxygène (moins de 19,5 % d'oxygène), lorsque les concentrations ou la toxicité présentent un danger immédiat pour la vie ou bien lorsque les concentrations de fumées ou de gaz dépassent 10 fois la norme d'exposition permise.

Masques à adduction d'air

Ces masques diffèrent principalement des précédents du fait qu'ils sont directement alimentés en air respirable. L'air arrive au masque par l'entremise d'un tuyau. L'air provient habituellement d'un compresseur ou de réservoirs (appareils autonomes). Les masques à adduction d'air sont utilisés lorsqu'il y a manque d'oxygène, lorsque la toxicité du produit est élevée ou encore lorsque la concentration de contaminants excède 10 fois la norme.

Il faut s'assurer que le compresseur utilisé possède différents stades de filtration afin d'assurer une qualité d'air adéquate. Selon la réglementation, il faut faire analyser l'air respirable deux fois par année.



ch a p i t r e 3

Contenu

1 Risques d'incendie et d'explosion

2 Méthodes de prévention

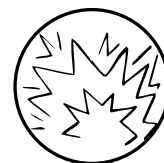
Les risques

d'incendie et d'explosion

Incendie



Explosion



Risques d'incendie et d'explosion

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 bien des incidents impliquant des contenants de gaz sous pression.

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 couvrir plusieurs heures avant d'être détectés.

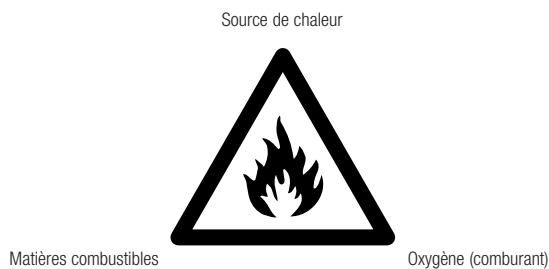


Figure 3.1 Triangle de feu

Sources de chaleur

Voici les principales sources de chaleur présentes dans les activités de soudage et de coupage:

- **La flamme d'un chalumeau.** Dans le procédé oxygaz, la flamme du chalumeau peut facilement atteindre plusieurs milliers de degrés, ce qui en fait une source de température élevée à redouter.
- **La flamme secondaire (procédé oxygaz).** Dans certaines circonstances, il peut y avoir une flamme secondaire, c'est-à-dire une flamme produite à l'extrémité d'un tuyau; cette flamme n'est pas visible à travers les lunettes de protection d'un oxycoupeur.

Comment se produit la flamme secondaire ?

Pour brûler, la flamme d'un chalumeau a besoin de l'oxygène de l'air ambiant. Lorsque le soudeur doit travailler sur un tuyau, la combustion des gaz est incomplète étant donné le peu d'oxygène à l'intérieur de celui-ci. 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.

Figure 3.2 Flamme secondaire produite à l'extrémité d'un tuyau ouvert



- **Les 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 °Celsius) 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 parcourue par les particules chaudes ou les étincelles. Ce problème est particulièrement aigu dans le coupage à l'oxygaz.
- **La température des pièces soudées.** Les pièces fraîchement soudées peuvent atteindre des températures assez élevées pour enflammer des matières combustibles situées à proximité.
- **L'oxygène sous pression en présence de graisse ou d'huile (procédé oxygaz).** Si l'oxygène sous pression entre en contact avec de la graisse ou de l'huile (joints de tuyau ou de détendeur), il tend à provoquer une réaction

violente pouvant élever la température à un degré suffisant pour enflammer un combustible placé à proximité.

- **Les rebuts d'électrodes chaudes jetés au sol.** La température des électrodes peut être suffisante pour déclencher un incendie en présence de matières combustibles.
- **L'utilisation d'électricité.** Il peut y avoir échauffement du câblage lorsqu'il y a surcharge de courant ou présence de câbles dénudés ou de mauvaises connexions.
- **Le retour de flamme et de gaz dans un chalumeau (procédé oxygaz).** Le retour d'une flamme peut causer l'explosion des tuyaux ou, même, de la bouteille de gaz comprimé. 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 grave si les détendeurs explosent. Une section est d'ailleurs consacrée à cette problématique un peu plus loin dans le présent chapitre.

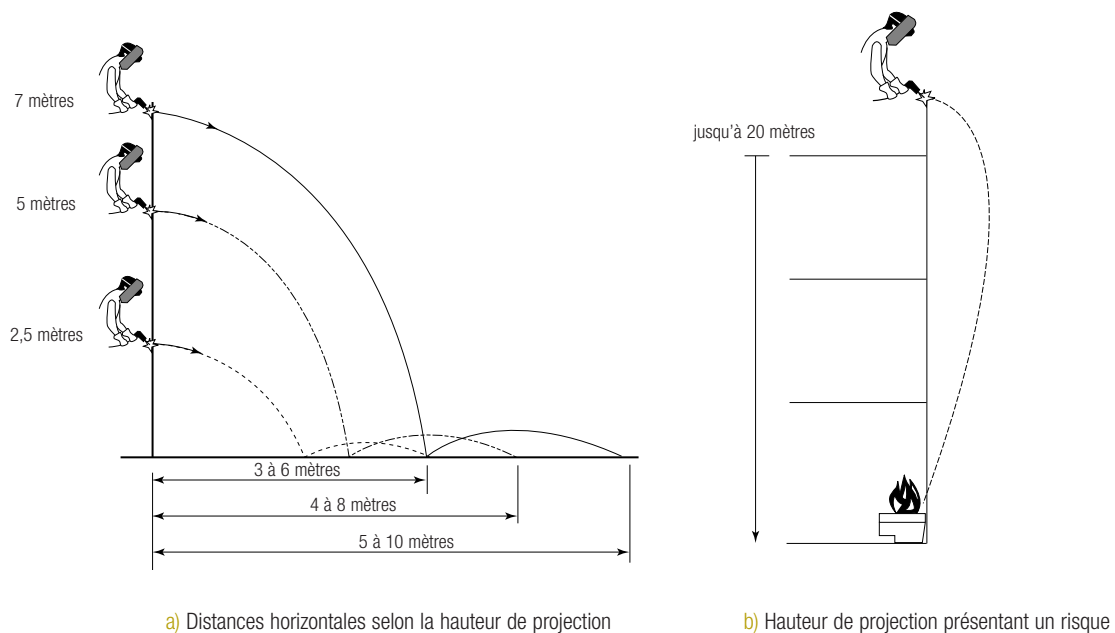


Figure 3.3 Distances parcourues par les étincelles et les particules métalliques chaudes lors du soudage et du coupage

ATTENTION

L'acétylène est un gaz comprimé qu'on doit dissoudre dans l'acétone pour le stabiliser. Près de 2,5 kilogrammes (de 5 à 6 livres) d'acétone imbibent une matière poreuse placée à l'intérieur d'une bouteille à paroi épaisse. Il faut éviter d'entrechoquer les bouteilles, car la garniture poreuse pourrait être endommagée et provoquer la décomposition soudaine du produit (explosion).

Matières combustibles

Les matières combustibles peuvent être présentes dans les milieux de travail 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, les vêtements, etc. sont des exemples de matières combustibles pouvant s'enflammer dans certaines circonstances.
- **Vapeurs et gaz combustibles ou inflammables.** Les espaces confinés mal ventilés, par exemple un réservoir de produits dangereux mal nettoyé, augmentent grandement les risques d'incendie en raison de la concentration élevée de vapeurs inflammables qui peuvent s'y accumuler. Pour les procédés oxygaz, il pourrait se produire des fuites de gaz autour du régulateur, des tuyaux et des raccords. Ces fuites peuvent entraîner une forte concentration de gaz et provoquer un incendie.
- **Poussières combustibles.** Une matière combustible solide s'enflamme beaucoup plus facilement lorsqu'elle est sous forme de copeaux, de poussières ou de poudre. Plus la poussière est fine, plus le danger croît. Le meulage, en particulier, produit un grand nombre de fines particules métalliques qui peuvent être dangereuses; par exemple, la poussière d'aluminium réagit particulièrement fortement et s'enflamme rapidement au contact d'une source de chaleur. Le procédé de coupage au laser génère également une grande quantité de fines poussières métalliques.

Contenants sous pression

Les explosions résultent parfois de la mauvaise manipulation ou de l'utilisation inadéquate des gaz sous pression. Par exemple, si la bouteille tombe par terre ou est heurtée accidentellement, le bris d'un robinet peut libérer la pression assez violemment pour soulever la bouteille et la propulser contre un travailleur ou provoquer des dégâts considérables.

Acétylène

La manipulation de l'acétylène est particulièrement dangereuse, car la garniture poreuse à l'intérieur des bouteilles peut provoquer une forte réaction de décomposition du gaz. De plus, il peut se produire une décomposition explosive lorsque l'acétylène circule dans une tuyauterie à une pression supérieure à 103 kPa ou 1 bar (15 psi ou 15 lbs/po²).

L'acétylène forme également des composés explosifs en présence du cuivre, de l'argent et du mercure. On doit donc utiliser des tuyaux, des raccords et des manomètres en acier, inoxydable ou non. Tout alliage de cuivre utilisé doit contenir moins de 65 % de cuivre.



Retour de gaz et retour de flamme

Le tableau suivant montre certaines défaillances propres au procédé oxygaz. On y 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 qui se produit dans le mélangeur du chalumeau. C'est pourquoi il est important d'entretenir avec soin son équipement. Avec le temps, le mélangeur du chalumeau s'use et il doit être remplacé. Certains fabricants incorporent maintenant le mélangeur au chalumeau. Dans ce cas, le nettoyage du mélangeur doit être effectué par des spécialistes.

Avant de rallumer le chalumeau, suite à une entrée de flamme soutenue, le matériel devrait être examiné, la pression réglée et les pertes de charge absentes (pertes de pression).

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 pour 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 de gaz presque vide représente 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 au reste de l'oxygène. En raison de la baisse de pression, la flamme du chalumeau peut entrer jusqu'au tuyau où les deux gaz se trouvent mélangés. La chaleur produite par la flamme à l'intérieur du tuyau risque de faire éclater celui-ci. La flamme pourrait même se rendre jusqu'à la bouteille; il s'agit alors d'un retour de flamme explosive.

À noter que le retour d'une flamme explosive peut survenir également sur 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 chauffée.	<ul style="list-style-type: none"> 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 claquements tendent à réduire le débit de gaz et les claquements se produisent plus souvent.
Entrée de flamme soutenue	Flamme qui se rend jusqu'au niveau du mélangeur et entretient une combustion à l'intérieur de ce dernier. 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.	<ul style="list-style-type: none"> L'accumulation de suie à l'intérieur du mélangeur par suite des claquements répétés augmente les risques de retour de flamme. Des pressions d'utilisation trop basses (mauvais réglage) augmentent les risques de retours de gaz et ultimement les risques de retours de flamme. Une grande perte de charge 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 détendeur 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.	<ul style="list-style-type: none"> Des gaz (oxygène et combustible) sont mélangés dans un des deux tuyaux qui raccordent le chalumeau aux détendeurs. Le rallumage sans purge préalable de chacun des tuyaux déclenche ce phénomène, mais la purge élimine les gaz mélangés à l'intérieur des tuyaux.

Méthodes de prévention

Cette section présente des mesures de prévention qui aideront à réduire les risques d'incendie et d'explosion.

Ces mesures de prévention sont principalement des bonnes méthodes de travail, des précautions particulières et des mesures de contrôle spécifiques qu'il est important de connaître pour diminuer les risques.

Ces méthodes de prévention sont classées sous les catégories suivantes :

- 1 Contrôle des sources de chaleur
- 2 Contrôle des matières combustibles
- 3 Prévention des retours de flamme et de gaz (procédés oxygaz)
- 4 Mesures de sécurité concernant les contenants sous pression

1 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:

Aménagement des lieux de soudage-coupage

- S'assurer que les extrémités des tuyaux sur lesquels on soude avec un chalumeau oxygaz sont bien dégagées ou éloignées des matières combustibles pour éviter les incendies en cas de production de flammes secondaires.
- Inspecter les lieux de soudage afin de détecter tout début d'incendie qui aurait pu couvrir par suite des travaux. Il est recommandé de poursuivre cette surveillance jusqu'à 30 minutes après la fin des travaux de soudage.

Méthodes de travail

- Ne jamais orienter le chalumeau d'un procédé oxygaz vers les 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.
- Nettoyer l'orifice de sortie du robinet d'une bouteille d'oxygène à l'aide d'un linge propre exempt d'huile.
- 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 ceux-ci peuvent prendre feu au contact de projections ou de la flamme du chalumeau et causer des brûlures graves.

Équipement

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



Figure 3.4 Support approprié lors du travail avec un chalumeau

2 Contrôle des matières combustibles

Voici quelques précautions à prendre en présence de matières combustibles:

Matières combustibles

- S'assurer qu'aucune matière combustible ne se trouve à moins de 15 mètres (50 pieds) du lieu de soudage.
- S'il est impossible de déplacer les matières combustibles, placer des tôles ou des écrans afin de les protéger des projections.

Détection des fuites

- Vérifier l'étanchéité des régulateurs, des tuyaux et des raccords (procédés oxygaz). Seuls les détecteurs de fuite homologués devraient être utilisés; une eau savonneuse peut contenir des corps gras susceptibles de réagir avec l'oxygène sous pression.
- Transporter à l'extérieur le plus rapidement possible les bouteilles de gaz qui fuient.

Aménagement des lieux de travail

- Toujours avoir l'extincteur approprié sur les lieux de soudage.
- Éviter d'entreposer les accessoires de soudage ou d'oxycoupage (raccords ou détendeurs) près des contenants d'huile ou de graisse.
- Vérifier quotidiennement et au besoin nettoyer les zones où les poussières peuvent s'accumuler (par exemple, la zone d'aspiration du procédé de coupe au laser).
- Protéger les planchers combustibles. Balayer le plancher puis mouiller à grande eau ou recouvrir le plancher de terre humide ou encore y placer un écran résistant au feu. Si le plancher est mouillé, les câbles électriques doivent être soutenus au-dessus du sol et les travailleurs doivent porter des bottes de caoutchouc et s'isoler adéquatement.

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 à celles déjà énoncées. Des procédures plus complètes sont présentées au chapitre 9.

En tout premier lieu, il faut éliminer toute trace de vapeurs toxiques ou inflammables générées par les résidus fixés aux parois des récipients. Avant de procéder au nettoyage d'un récipient, il faut absolument savoir quel produit il a contenu. La méthode de nettoyage appropriée sera déterminée en fonction du produit ayant été contenu dans le récipient. 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 on veut réduire le risque d'accumulation des vapeurs, on peut remplir le réservoir de gaz inerte ou d'eau avant d'entreprendre le soudage. Si on choisit de remplir le réservoir d'eau, le niveau d'eau devrait être 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.

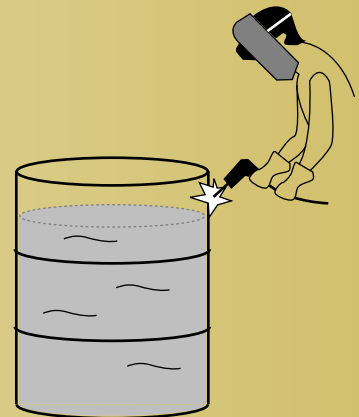


Figure 3.5 Remplissage d'un réservoir avec de l'eau: le niveau d'eau est sous la soudure

3 Prévention des retours de flamme et de gaz (procédés oxygaz)

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

Méthodes de travail

- *Pression des gaz.* La vitesse à l'intérieur de la buse d'un chalumeau doit toujours être supérieure à la vitesse de propagation de la flamme, sinon la flamme rentre dans le chalumeau. Cela signifie que la pression des gaz doit être bien ajustée. S'assurer d'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. Cette opération consiste à laisser sortir du gaz par chacun des tuyaux tour à tour, de manière à chasser tout mélange inflammable qui pourrait s'y être accumulé. Dans le cas où une bouteille devrait 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 toute forme de débris de métal. Des instruments de nettoyage spéciaux devraient être utilisés.
- *Procédure de fin de travaux.* À la fin des travaux, fermer les robinets du chalumeau, puis le robinet de chaque bouteille. Réouvrir les robinets du chalumeau pour baisser la pression des conduites et les refermer (la purge des tuyaux évitera la présence de gaz au moment de la réouverture de l'appareil). Ensuite, desserrer la vis de réglage de la pression sur les détendeurs (tourner vers la gauche). S'assurer que l'aiguille du manomètre haute pression indique « zéro » et que le robinet de la bouteille est fermé.

Pour augmenter la sécurité des équipements oxygaz, il existe des clapets antiretours de gaz ainsi que des clapets antiretours de gaz et de flamme.

Clapet antiretour de gaz

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

Les clapets antiretours de gaz sont conçus pour arrêter le gaz; en cas de défaillance, ils ne pourront arrêter le retour de flamme. Les clapets antiretours de gaz sont de plus en plus remplacés par des clapets antiretours de gaz et de flamme, qui sont plus efficaces pour limiter les risques.

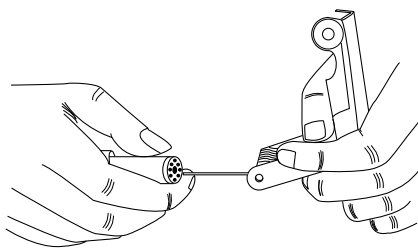


Figure 3.6 Utilisation d'un outil spécialement conçu pour nettoyer une buse de chalumeau

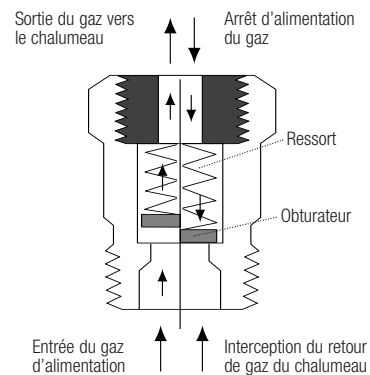


Figure 3.7 Clapet antiretour de gaz

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

Le clapet antiretour de gaz et de flamme est un dispositif qui empêche à la fois le gaz et la flamme de remonter et d'atteindre le tuyau, le détendeur ou même la bouteille de gaz.

En cas de retour de flamme, une température élevée à 104 °Celsius (220 °F) actionnera un dispositif (arrêt thermique) qui arrêtera le débit de gaz. Le clapet antiretour de gaz et de flamme doit être remplacé après son déclenchement, car l'arrêt thermique fond de façon permanente.

On recommande d'installer les clapets antiretours de gaz et de flamme au niveau de la poignée du chalumeau sur les canalisations de gaz (oxygène et combustible).

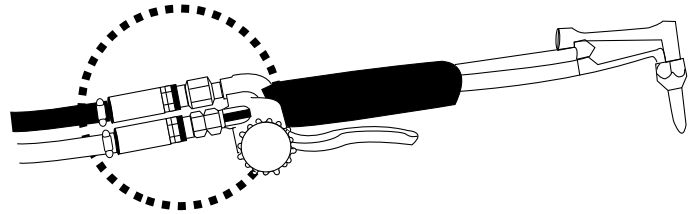


Figure 3.9 Installation de deux clapets antiretours de gaz et de flamme à la poignée d'un chalumeau coupeur

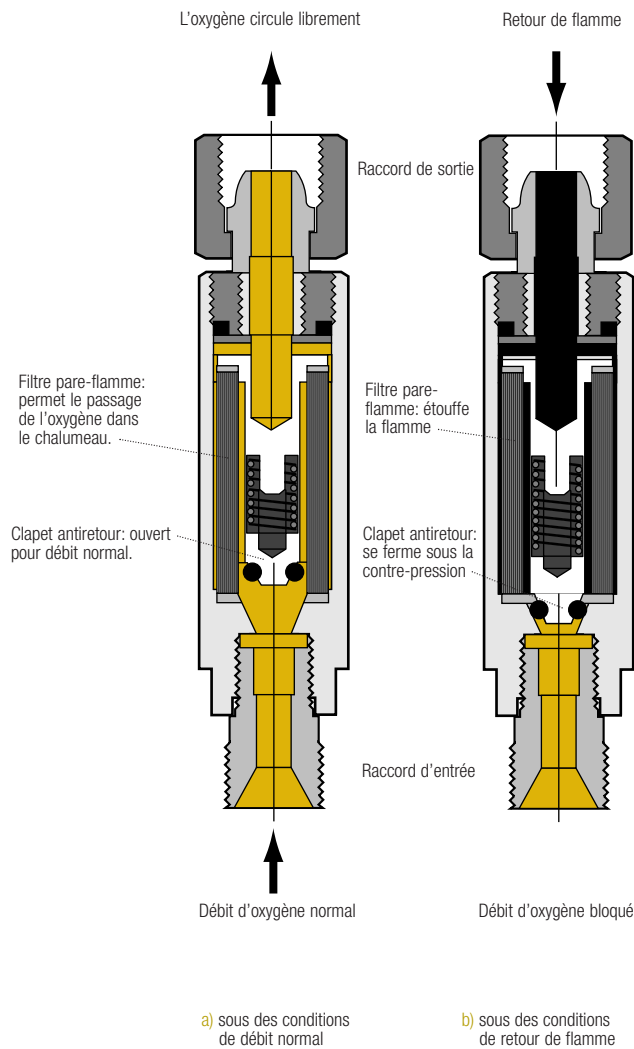


Figure 3.8 Clapet antiretour de gaz et de flamme

L'utilisation de tels clapets entraîne une perte de charge supplémentaire dans les conduits et on doit compenser cette perte en augmentant la pression des gaz. Dans le cas où on utilise 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 au niveau du détendeur. Ces derniers seront également utilisés pour des installations en canalisations rigides (métalliques) permanentes.

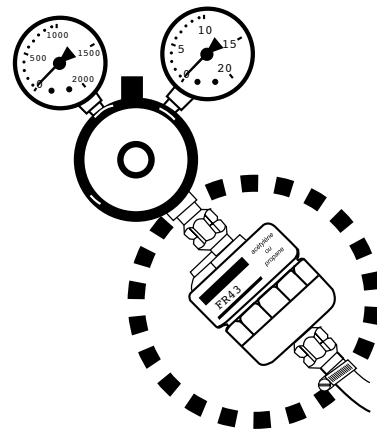


Figure 3.10 Installation d'un clapet antiretour de gaz et de flamme au niveau de la sortie du détendeur d'une bouteille avant le raccordement au tuyau

4 Mesures de sécurité concernant les contenants sous pression

Les mesures de sécurité relatives aux contenants sous pression sont tirées de la réglementation en vigueur, de normes de sécurité (CSA W117.2-94 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 ainsi que l'inspection des équipements de gaz sous pression.

Entreposage

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

À la livraison

- S'assurer que toutes les bouteilles de gaz portent l'étiquette S.I.M.D.U.T., sinon refuser leur livraison.

Lieu

- Installer une affiche dans les aires de rangement de gaz sous pression avec la mention «Défense de fumer».

- Entreposer les bouteilles dans un endroit bien ventilé et limiter l'accès aux personnes autorisées.
- Ne jamais entreposer les bouteilles de gaz dans une armoire ou dans un casier.
- Entreposer les bouteilles loin des escaliers, des ascenseurs, des ponts-roulants, des monte-charges, des couloirs et des portes afin de ne pas bloquer les voies d'accès en cas d'urgence.
- Les bouteilles vides doivent être identifiées (par exemple, marquées des lettres «VIDE» à la craie), rangées à l'écart des bouteilles pleines avec leur robinet fermé et leur chapeau de protection en place, puis retournées sans délai au fournisseur.
- Entreposer les bouteilles et les accessoires dans un endroit où ils ne pourront être souillés par l'huile ou la graisse.

Étiquette

Une étiquette identifiant le produit doit être apposée par le fournisseur sur chaque cylindre, conformément aux exigences du S.I.M.D.U.T. (Système d'information sur les matières dangereuses utilisées au travail). Si l'étiquette est absente, il faut retourner la bouteille à son fournisseur.

L'étiquette du fournisseur comporte les informations suivantes :

- Identification du produit (nom commercial, marque, code, etc.)
- Signaux de danger (reproduction exacte du ou des pictogrammes correspondant à la catégorie de danger selon le S.I.M.D.U.T.)
- Énoncés de risques (nature du danger et conséquences d'une mauvaise utilisation)
- Mesures de prévention (précautions à prendre pour une utilisation normale du produit et pour les cas d'urgence)
- Premiers soins (soins à apporter en cas d'exposition au produit)
- Renvoi à la fiche signalétique
- Identification du fournisseur (nom et adresse)


AZOTE

Risques:

- gaz sous pression
- peut provoquer des engelures
- peut causer l'asphyxie

Mesures de prévention:

- Garder le contenant fermé
- Ouvrir et manipuler avec prudence
- Éviter le contact avec la peau
- Éviter le contact avec les yeux
- En cas de fuite, porter un équipement de protection approprié
- En cas de malaise, faire appel à un médecin



Premiers soins et premiers secours:

- En cas d'engelure, recouvrir la partie exposée avec des compresses de gaze stériles sèches. Couvrir la personne.
- Si il y a incommodation par le gaz, amener la personne dans un endroit aéré.
- Si il y a arrêt respiratoire, donner la respiration artificielle.
- Appeler un médecin.

Pour plus d'information consulter la fiche signalétique

**Les produits chimiques inc.
100, rue des Fabricants
Montréal (Québec) HOH OHO**

Température

- Ne jamais dépasser une température ambiante de 55 °Celsius (130 °F) lors de l'entreposage ou de l'utilisation, car la température élevée fait augmenter la pression des gaz et peut provoquer une explosion.
- Protéger les bouteilles des températures extrêmes (glace, rayons de soleil, source de chaleur, étincelles, etc.).

Attache et chapeau de protection

- Placer les bouteilles debout et les attacher avec une chaîne pour éviter qu'elles ne se renversent.
- Fermer le robinet et installer le chapeau de protection.

Quantité

- Le Code national de prévention des incendies (Canada, 1995) spécifie les exigences applicables aux quantités maximales de gaz à entreposer dans un bâtiment. On y fait une distinction entre les gaz plus lourds que l'air (propane, propylène), généralement des gaz liquéfiés, et les gaz plus légers que l'air (acétylène, gaz naturel), généralement non liquéfiés.
- Au-delà de ces quantités maximales, les gaz combustibles doivent être entreposés dans des locaux spécialement aménagés et conformes aux normes spécifiques. Les gaz combustibles peuvent également être stockés à l'extérieur en quantités illimitées, sous réserve de la réglementation en vigueur (provinciale, municipale, etc.).
- Le Code d'installation du propane limite cependant les quantités à 45 kilogrammes (100 lbs) de propane pour des bouteilles raccordées à des opérations de soudage et de coupage. Ainsi, les bouteilles non raccordées devraient normalement être entreposées à l'extérieur.
- Le tableau suivant présente les quantités maximales de gaz pouvant être entreposés dans un compartiment résistant au feu, soit un local ou une aire d'entreposage isolée du reste

du bâtiment par des séparations coupe-feu ayant un degré de résistance au feu d'au moins 2 heures.

Distance ou écran

- Une distance d'au moins 6 mètres (20 pieds) doit séparer les bouteilles de gaz des matières inflammables ou combustibles: papier, bois, huile, graisse, solvant, peinture, etc. Sinon, placer un écran d'au moins 1,5 mètre (5 pieds) de hauteur conçu pour résister au feu pendant au moins une demi-heure.
- Les bouteilles d'oxygène doivent être séparées de 6 mètres (20 pieds) des gaz combustibles ou séparées par un écran tel qu'il est stipulé au paragraphe précédent.
- Par contre, la distance séparant le propane de récipients contenant des gaz comprimés inflammables, tel l'acétylène, a été réduite à 1 mètre (3 pieds) selon le Code d'installation du propane (CAN/CGA B149.2-M95).

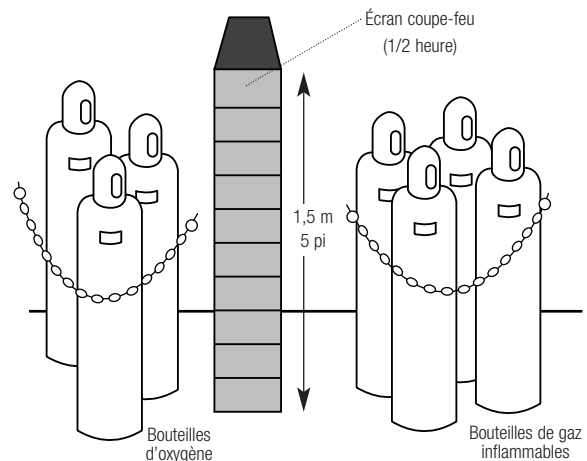


Figure 3.11 Entreposer les bouteilles à la verticale, les enchaîner et séparer les bouteilles d'oxygène des gaz combustibles

Quantité maximale de gaz pouvant être entreposés* (selon le Code national de prévention des incendies, 1995)		
Catégorie de bâtiment	Quantité maximale totale	Nombre de bouteilles
Non protégé par gicleurs	Gaz non liquéfiés: 60 m ³ (2 120 pi ³)	≈ 17 petites (Ø 6" ou 15 cm) ou 6 grosses (Ø 12" ou 30 cm) selon le format
	Gaz liquéfiés: 25 kg (55 lbs)	
	Propane: à l'extérieur	aucune
	Oxygène: 150 kg (330 lbs)	≈ 11 bouteilles (Ø 9" ou 23 cm)
Protégé par gicleurs	Gaz non liquéfiés: 170 m ³ (6 000 pi ³)	≈ 48 petites (Ø 6" ou 15 cm) ou 17 grosses (Ø 12" ou 30 cm) selon le format
	Gaz liquéfiés: 25 kg (55 lbs)	
	Propane: à l'extérieur	aucune
	Oxygène: 150 kg (330 lbs)	≈ 11 bouteilles (Ø 9" ou 23 cm)

*Note: Quantités applicables pour chaque compartiment résistant au feu et isolé du reste du bâtiment par des séparations coupe-feu d'au moins 2 heures.

Manutention et transport

- Les cylindres de gaz devraient être manipulés avec précaution afin d'éviter les accidents.
- Avant de déplacer une bouteille, il faut toujours s'assurer que le robinet est fermé et le chapeau de protection bien en place.
- Il ne faut pas soulever la bouteille par le chapeau de protection. Utiliser des chariots appropriés ou encore pencher la bouteille puis la rouler sur sa base. Ne pas faire glisser ou traîner la bouteille sur le sol afin d'éviter toute perte de contrôle de la bouteille de gaz.
- Pour le transport des bouteilles à la verticale, il faut utiliser une nacelle ou une plate-forme. Les aimants et les élingues sont à proscrire, car ils ne sont pas conçus pour cette application.
- Ne pas laisser tomber ni s'entrechoquer les cylindres de gaz surtout pour l'acétylène, car le choc pourrait endommager la garniture poreuse.
- Pour transporter des bouteilles dans des véhicules automobiles, il faut les placer debout et les attacher. Les robinets doivent être fermés et les chapeaux de protection en place.
- Pour transporter des bouteilles de gaz munies d'un détendeur, il faut les amarrer debout et s'assurer que le robinet est fermé.

Attendre au moins une heure avant d'utiliser une bouteille d'acétylène qui aurait été transportée à l'horizontale ou qui aurait été renversée, car l'acétone (solvant) pourrait perturber la flamme.



Figure 3.12 Faire rouler une bouteille de gaz en position verticale sur sa base afin de la déplacer ou utiliser un chariot

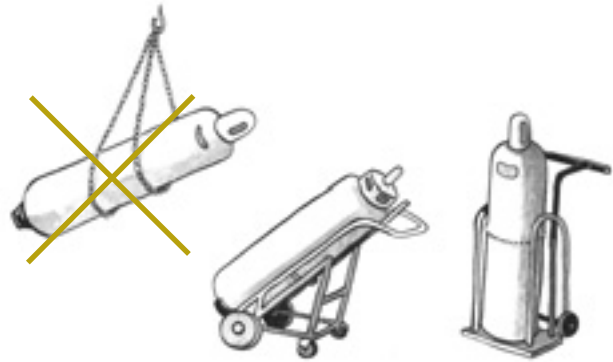


Figure 3.13 Utiliser un diable pour le transport des bouteilles, jamais d'élingues ni de chaînes

Utilisation

L'utilisation de gaz comprimés devrait se faire avec prudence. Vous trouverez dans les lignes qui suivent les précautions d'usage à prendre quand on utilise des cylindres de gaz.

Détendeur

- Utiliser un détendeur propre (sans graisse) et approprié au format de la bouteille et au type de gaz utilisé. Le filtre du raccord d'entrée doit être propre.

Fixation

- S'assurer que le cylindre est fixé à la verticale au mur ou attaché dans un chariot conçu à cette fin.
- Éloigner suffisamment la bouteille 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 facilement accessible afin que l'on puisse aisément fermer le robinet en cas d'urgence.

Ouverture du robinet

- L'opérateur ne doit pas se tenir devant ni derrière le détendeur pour ouvrir le robinet d'arrêt (robinet de la bouteille de gaz), car des poussières pourraient être projetées et le blesser. Il ne faut pas non plus effectuer cette étape près d'un lieu où l'on fait du soudage-coupage, car le gaz s'échappant près d'une flamme pourrait prendre feu.

Dégel

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

Inspection des tuyaux et des raccords

Chaque semaine, l'opérateur devrait effectuer l'examen visuel des tuyaux et des raccords pour détecter toute défectuosité. Voici les points importants à vérifier:

Longueur et qualité des tuyaux

- S'assurer d'abord d'avoir le bon type de tuyau. Le code de couleur réfère aux produits qui circulent dans le tuyau alors que le code de nuance réfère à l'usage qu'on en fait. Les tuyaux d'oxygène sont généralement verts et le raccord fileté est à droite. Les tuyaux de combustible sont rouges et le raccord fileté est à gauche. La rainure ou l'encoche placée sur l'écrou indique qu'il s'agit d'un filetage à gauche.

Code de couleur des tuyaux (en Amérique du Nord)	
Produits	Couleur
Oxygène	Vert (bleu selon ISO)
Acétylène, hydrogène et gaz de pétrole liquéfié	Rouge
Gaz inertes, eau et air comprimé	Noir

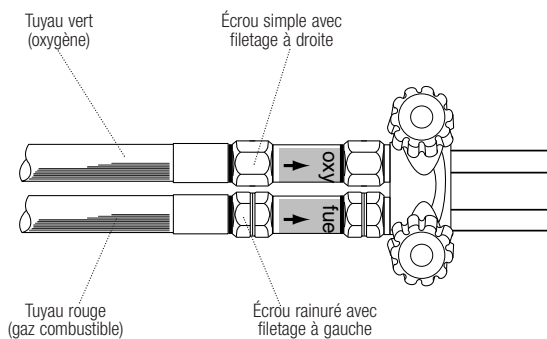


Figure 3.14 Raccords et tuyaux d'oxygène et de gaz combustible

- S'assurer d'utiliser les tuyaux de la nuance qui convient à l'usage qu'on en fait. Le code de nuance du tableau suivant fait référence à la présence d'huile ou de graisses dans le milieu de travail ainsi qu'au type de produit utilisé dans les tuyaux.

Nuance des tuyaux (selon les normes RMA et CGA)	
Nuance	Usage
R	Tube interne avec gaine externe en caoutchouc non résistants à l'huile. Ne pas utiliser en présence d'huile ou de graisse ni avec des gaz de pétrole liquéfiés.
RM	Tube interne en caoutchouc non résistant à l'huile et gaine externe en caoutchouc résistante à l'huile.
M	N'est plus fabriqué, remplacé par T.
T	Tube interne et gaine externe en caoutchouc résistants à l'huile.

- L'emmêlement des tuyaux (tuyaux en spaghetti) peut réduire l'écoulement des gaz, ce qui risque de causer des claquements et des retours de flamme. Comme les tuyaux ont tendance à s'entremêler lorsqu'ils sont de qualité inférieure, toujours utiliser de bons tuyaux assez souples et éviter qu'ils ne s'emmêlent. Ne jamais utiliser de tuyaux plus longs qu'il ne faut.

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 signe d'usure. Si ces signes sont apparents, il faut remplacer le tuyau. Remplacer immédiatement un tuyau qui fuit. Ne pas utiliser de ruban gommé pour réparer une fuite, mais utiliser des raccords conçus spécialement pour les tuyaux oxygaz afin d'effectuer des réparations étanches.

Ne jamais réparer un tuyau qui fuit avec du ruban gommé car celui-ci n'est pas assez étanche.

Collets

- Il est important d'utiliser des collets appropriés pour les procédés oxygaz lorsque l'on veut rallonger les tuyaux. Ces collets sont faciles à utiliser et ils ont moins tendance à fendiller les tuyaux de gaz. Des collets inadéquats résistent mal aux fortes tensions, ce qui peut entraîner des fuites ou la rupture des raccords.

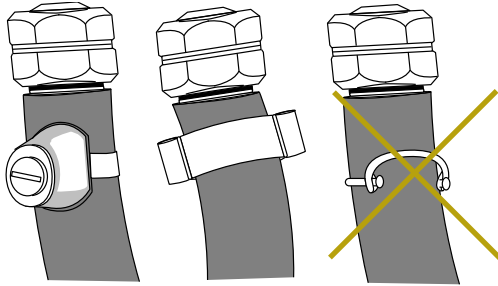


Figure 3.15 Bons et mauvais types de collets

Détendeurs

- 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. Il faut également s'assurer que le filtre interne est propre et bien en place. Une vérification annuelle devrait être effectuée par des personnes qualifiées pour s'assurer que le détendeur fonctionne conformément aux spécifications du fabricant.

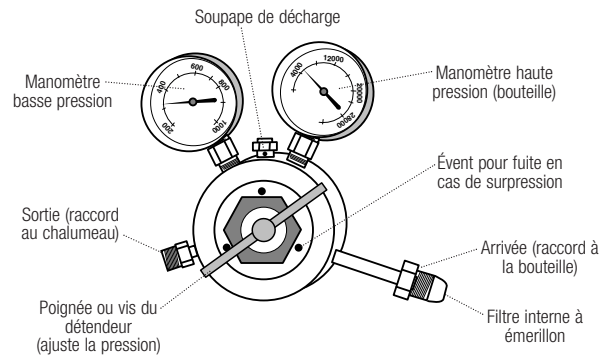


Figure 3.16 Composantes d'un détendeur

Consignes de sécurité pour le démarrage d'un procédé oxygaz

Installation des détendeurs

- Choisir le manodétendeur approprié au type de gaz et à la pression de la bouteille utilisée.
- Fixer le cylindre à la verticale au mur ou l'attacher sur un chariot conçu à cette fin.
- Avant de monter un détendeur sur une bouteille de gaz, nettoyer l'orifice de la bouteille de gaz à raccorder avec un linge propre non pelucheux, sans huile ni graisse. S'assurer que le filtre interne à émerillon est propre et en place.
- Purger le canal de sortie du robinet des bouteilles de gaz en l'ouvrant légèrement et en le refermant immédiatement; cette opération, nommée « décollement », sert à chasser la poussière ou les saletés susceptibles de se trouver dans le robinet, pour éviter qu'elles ne se retrouvent dans le détendeur. Ne jamais procéder à cette opération à proximité de travaux de soudage, d'une flamme, d'étincelles ou d'autres sources de chaleur.
- Fixer le détendeur au robinet de la bouteille de gaz et serrer le raccord fermement avec une clef adéquate.

Ouverture des bouteilles

- Avant d'ouvrir le robinet du cylindre, faire tourner la vis de réglage de la pression du détendeur 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.
- Ouvrir le robinet de la bouteille d'OXYGÈNE très lentement jusqu'à ce que la pression maximale soit atteinte sur le manomètre de haute pression du détendeur. Si le robinet d'une bouteille est ouvert trop rapidement, l'oxygène peut prendre feu dans le détendeur et blesser l'opérateur. Il faut donc se tenir à côté du détendeur et non face à celui-ci. Continuer à ouvrir le robinet complètement pour permettre l'étanchéité totale du raccord de robinet. Dans le cas de l'ACÉTYLÈNE, ne jamais ouvrir le robinet du cylindre de plus d'un tour et demi.

Précautions particulières à prendre pour l'acétylène

- Le robinet de la bouteille d'acétylène devrait être ouvert préférablement de trois quarts de tour (270°) et jamais de plus d'un tour et demi pour qu'on puisse le refermer rapidement en cas d'urgence.
- L'acétylène ne devrait pas être utilisé à une pression manométrique supérieure à 103 kPa (15 lbs/po²).

Règles importantes à propos de l'oxygène

- Ne jamais substituer l'oxygène à l'air. Toujours l'appeler « oxygène ».
- Ne pas l'utiliser dans des conduites d'air comprimé, pour les outils pneumatiques, pour chasser la poussière, pour nettoyer les vêtements ou pour la ventilation.

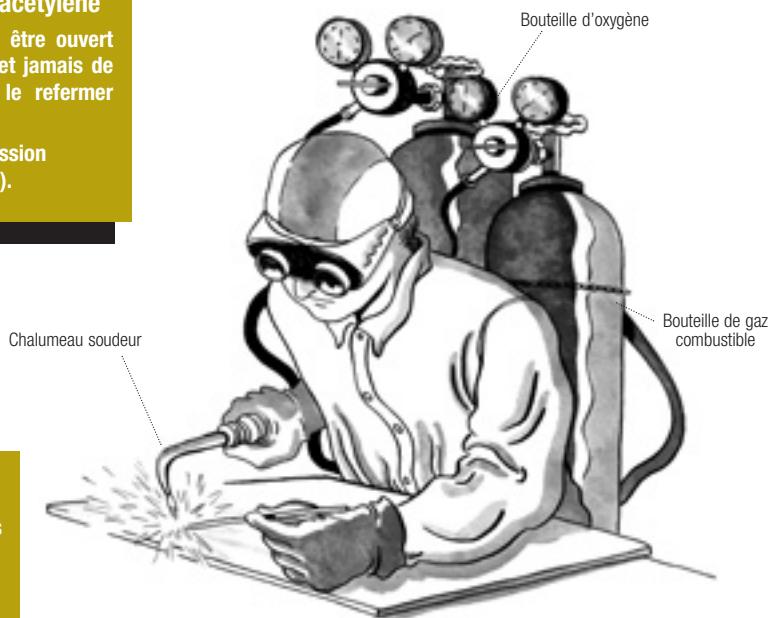


Figure 3.17 Procédé oxygaz

Purge du système

- Ajuster les deux manodétendeurs à environ 70 kPa ou 0,7 bar (10 lbs/po²).
- Ouvrir la soupape de GAZ COMBUSTIBLE pendant 5 secondes par 25 pieds (7,6 m) de tuyau. Ensuite, la refermer.
- Ouvrir la soupape d'OXYGÈNE pendant 5 secondes par 25 pieds (7,6 m) de tuyau. Ensuite, la refermer.
- Toujours effectuer la purge du système dans un endroit bien ventilé et exempt de flammes ou d'autres sources de chaleur.

Réglage des pressions d'utilisation

- Ouvrir le robinet d'OXYGÈNE du chalumeau et régler la pression de sortie à un niveau approprié pour la taille et le type de buse utilisés. Puis refermer le robinet d'oxygène du chalumeau.
- Ouvrir le robinet de GAZ COMBUSTIBLE du chalumeau et régler la pression d'utilisation du gaz combustible entre les limites prescrites (toujours selon la taille et le type de buse utilisés). Puis refermer le robinet de gaz combustible du chalumeau.

Allumage du chalumeau

- Après avoir purgé le système, ouvrir le robinet de GAZ COMBUSTIBLE 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 des matières combustibles.
- Continuer l'ouverture du robinet de GAZ COMBUSTIBLE jusqu'à l'élimination de la fumée et de la suie des flammes.
- Ouvrir lentement le robinet d'OXYGÈNE 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 ou en augmentant la pression. Il ne faut jamais réduire le débit de la flamme, car cela peut faire surchauffer la tête de la buse, ce qui peut provoquer un retour de flamme.



chapitre 4

Contenu

- 1 Identification des risques
- 2 Effets sur la santé
- 3 Méthodes de prévention

Les risques d'électrisation

Choc électrique



Le risque d'électrisation est souvent pris à la légère en soudage-coupage, ce qui ne devrait pourtant pas être le cas ! Si l'équipement est en bonne condition, le soudeur qui touche le bout de l'électrode sous tension ne recevra qu'une simple décharge 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 très basse tension.

Les statistiques de la CSST 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'une décharge électrique, les statistiques feront état d'une chute et non d'une électrisation.

Identification des risques

Le soudage et le coupage à l'arc électrique ou par résistance sont des activités qui présentent des risques d'électrisation notamment parce que le soudeur manipule un porte-électrode sous tension.

L'intensité de la décharge électrique varie selon la résistance du corps humain. Par exemple, si on a les mains mouillées, on donne la possibilité au courant de circuler dans le corps puisque

les mains offrent très peu de résistance. Après son entrée, le courant cherchera à ressortir par l'une ou l'autre des extrémités (mains ou pieds).

Une électrisation même à une tension aussi faible que 80 volts peut avoir des conséquences très graves et même causer la mort. Tout dépend dans quelles conditions survient la décharge électrique.

Notions de base en électricité

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, pression électrique et voltage.

→ Son unité est le volt (V).

RÉSISTANCE (R)

La résistance R permet d'évaluer la propriété conductrice des matériaux. Plus la résistance est faible, meilleure sera la conductivité. Ainsi, le cuivre, dont la résistance est faible, est reconnu comme étant un excellent conducteur.

→ Son unité est le ohm (Ω).

L'eau étant conductrice, le soudeur est un meilleur conducteur lorsqu'il est mouillé.

COURANT (I)

Le courant désigne le nombre de charges électriques débitées chaque seconde dans un circuit électrique par un générateur électrique. L'intensité d'un courant (ou ampérage) est symbolisé par I.

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

Facteurs qui augmentent le risque d'électrisation

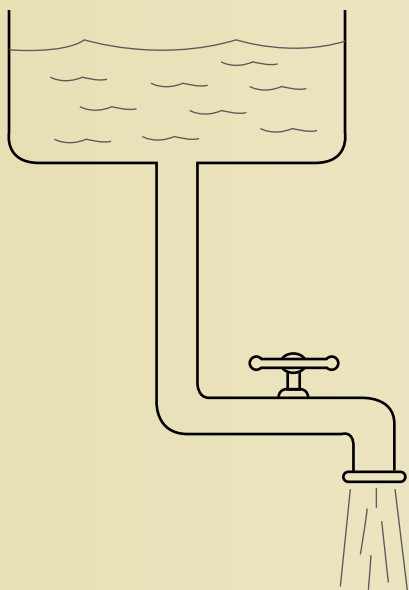
- *La présence d'humidité dans le milieu.* Le soudage en milieu humide, le port de vêtements imbibés de sueur ou la présence d'eau sur le plancher augmentent le risque d'électrisation en réduisant la résistance au passage du courant.
- *Un travail sur une surface conductrice.* Un plancher métallique, 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 électrique dans ces circonstances. Par exemple: monter sur une structure d'acier pour y souder une pièce.
- *Une 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 que procure une bonne mise à la terre.
- *Un mauvais entretien des équipements.* Un porte-électrode défectueux, un câble d'alimentation usé ou une gaine isolante endommagée augmentent le risque d'électrisation.

Quelle différence y a-t-il entre l'électrocution et l'électrisation ?

Les deux termes décrivent les conséquences d'une décharge électrique. On parle d'électrocution lorsque la décharge cause la mort et d'électrisation quand les blessures ne sont pas mortelles. Le terme électrisation est le plus fréquemment utilisé, car il y a toujours électrisation avant l'électrocution.

- *Une méthode de travail non sécuritaire.* Souder sans utiliser les moyens et les équipements de protection et d'isolation appropriés ou ne pas relier adéquatement la pince de retour de courant peuvent constituer des risques supplémentaires.
- *La méconnaissance du risque.* Un manque de formation ou d'information à la suite, par exemple, de l'introduction d'une nouvelle méthode de travail ou de l'implantation d'un nouveau procédé constitue un risque très important.

Pour faire mieux comprendre le concept de tension électrique, on a souvent recours à l'analogie avec un système hydraulique, c'est-à-dire une conduite dans laquelle circule un liquide.



Prenons un tuyau contenant de l'eau, qui est relié à un réservoir surélevé et fermé à l'autre extrémité par un robinet. Bien que, dans le tuyau, l'eau soit sous pression, il ne s'y produit pas d'écoulement. Si on ouvre le robinet, l'eau va s'écouler et un débit d'eau va s'établir. En électricité, un phénomène équivalent se produit. La pression d'eau est comparable à la tension électrique, le débit au courant et le robinet à une résistance ; plus le robinet est ouvert, plus la résistance est faible et, par conséquent, plus le débit augmente.

Loi d'Ohm

La Loi d'Ohm exprime le lien entre la tension, le courant et la résistance. Cette loi s'exprime par la formule suivante: $V = R \times I$ (voltage = résistance multipliée par le courant).

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

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

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

Dans l'équation, pour une même tension électrique, plus la résistance est faible et plus le courant sera élevé et, toujours pour une même tension électrique, plus la résistance est élevée et plus le courant sera faible. Pour une même résistance, plus le voltage est élevé et plus le courant sera élevé et, toujours pour une même résistance, plus le voltage est faible et plus le courant sera faible.

Figure 4.1 Analogie avec un système hydraulique

Causes de l'électrisation

Il y a électrisation quand il y a passage de courant dans une partie du corps. On peut classer les contacts avec un conducteur ou une pièce sous tension en deux catégories:

- les contacts directs;
- les contacts indirects.

Les contacts directs

Une partie du corps entre en contact avec une pièce sous tension, par exemple l'électrode ou un porte-électrode mal isolé.

Dans le soudage à l'arc, on trouve au bout de l'électrode la tension à vide du générateur. Si, par surcroît, une partie du corps offre un passage au courant (pieds dans l'eau, contact avec une pièce mise à la terre, etc.), il y a risque d'électrisation.

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

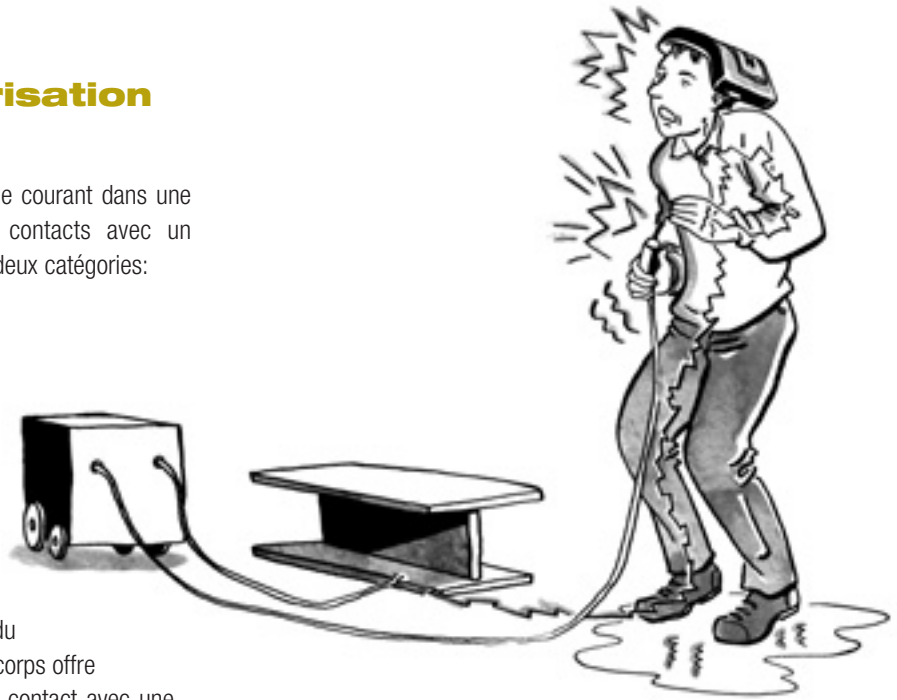


Figure 4.2 **Contact direct**: le courant passe par l'électrode et revient par la pince de retour en passant par le sol humide.

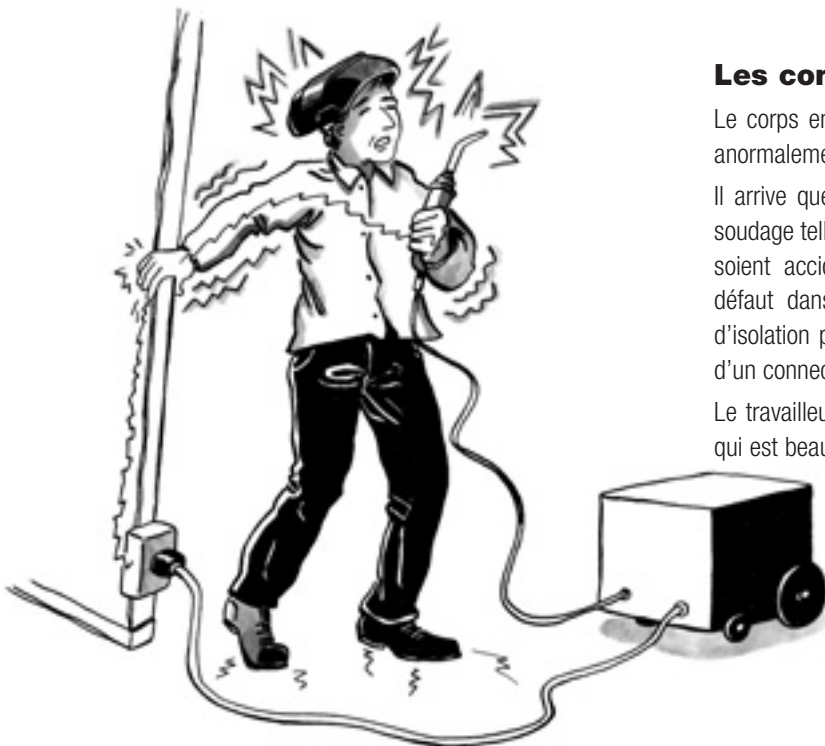


Figure 4.3 **Contact indirect**: utilisation d'un porte-électrode défectueux qui permet le passage du courant d'une main vers l'autre main qui est en contact avec une pièce de structure mise à la terre.

Les contacts indirects

Le corps entre en contact avec une pièce métallique qui est anormalement mise sous tension.

Il arrive que certaines composantes métalliques du poste de soudage telles que le boîtier, le capot ou le volant de manœuvre soient accidentellement mises sous tension par suite d'un défaut dans l'isolation des pièces sous tension. Le défaut d'isolation peut provenir d'un court-circuit ou du relâchement d'un connecteur.

Le travailleur risque alors d'être exposé à la tension primaire, qui est beaucoup plus élevée que la tension secondaire.

Effets ressentis

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

Les dommages aux tissus humains sont occasionnés par le courant qui y circule. L'intensité du courant a donc un effet direct sur les perceptions et la gravité des blessures.

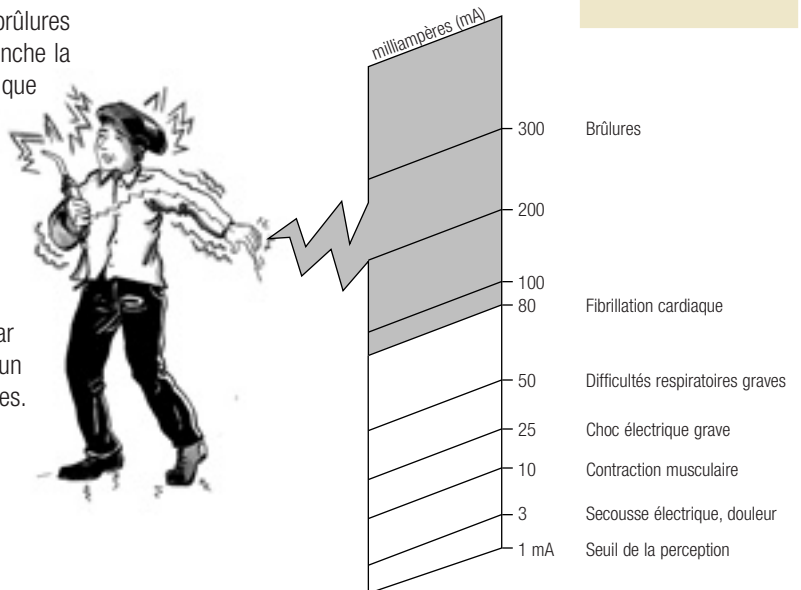


Figure 4.4 Échelle présentant les conséquences du passage du courant dans le corps

Intensité du courant

Application de la loi d'Ohm : $V = R \times I$.

Avec $V = 80$ volts (tension à vide au porte-électrode):

Si la personne ne porte pas de gants et a les deux pieds dans l'eau ($R =$ environ 750 ohms),
 $80 = 750 \times I$
 $I = 0,11$ A (soit 110 mA),
 ce qui est suffisant pour entraîner des lésions mortelles.

Si la personne porte des bottines isolantes et a les mains sèches (supposons que $R = 1$ million d'ohms),
 $80 = 1 \text{ million d'ohms} \times I$
 $I = 0,00008$ A ou 0,08 mA,
 ce qui est nettement sous le seuil de la perception.

Durant le soudage, comme la résistance du contact électrique entre la pièce à souder et l'électrode est faible, le courant qui passe dans le circuit secondaire sera très élevé: 100, 200, 300 ampères ou plus. Même si la différence de voltage est faible, soit de 20 à 40 volts, l'intensité élevée du courant s'explique par la faible résistance du circuit formé par l'électrode, la pièce et le câble de retour.

Ainsi, une personne qui touche au porte-électrode les pieds dans l'eau ou sur une surface métallique sera exposée à une différence de potentiel de 80 ou 100 volts, c'est-à-dire que sa main est à la tension à vide du poste de soudage (80 ou 100 volts) et ses pieds sont au potentiel de la mise à la terre (soit 0 volt). Le courant qui traversera son corps variera en fonction de sa résistance électrique.

La résistance du corps humain varie de 750 à 5 000 ohms. Si la personne porte des bottines isolantes, la résistance de son corps peut s'élever à plusieurs millions d'ohms. Donc, selon la résistance du corps de la personne et de son équipement de protection individuelle, le courant qui traversera son corps sera plus ou moins intense.

QUE FAIRE ?

Si la victime d'une électrisation ne peut lâcher prise, la première chose à faire est de repérer le sectionneur ou l'interrupteur du circuit électrique et à couper le courant.

Il ne faut jamais toucher à la victime.

Si on ne peut repérer 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 être transportée immédiatement à l'hôpital.

Facteurs qui influencent les effets de l'électrisation

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

Certains facteurs influencent la résistance au point de contact :

- la moiteur des mains; la résistance offerte par la main varie de 500 ohms quand elle est mouillée jusqu'à 1 000 ohms lorsqu'elle est sèche;

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

Nature du contact

La gravité des blessures dépend également de la surface de contact et de la pression exercée sur le conducteur.

Durée de 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 vrai lorsque le phénomène de contraction musculaire se manifeste et que la victime ne peut lâcher prise. La durée de l'électrisation est alors critique et la gravité des blessures peut en dépendre.

Trajet du courant dans le corps

Le courant circule toujours là où il y a le moins de résistance. Lorsque le courant circule dans le corps, il tend généralement à passer par les veines et les artères, qui offrent moins de résistance que les muscles ou les os. Si le courant 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).

La résistance dépend également du trajet qu'emprunte le courant dans le corps humain.

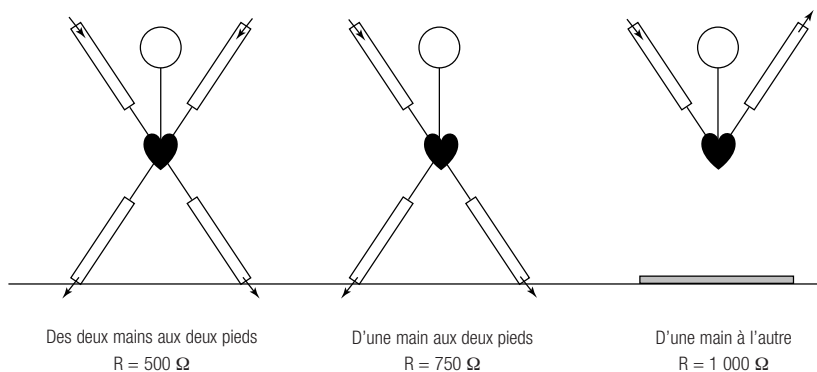


Figure 4.5 Résistance totale du corps humain selon le trajet emprunté par le courant (en ohms)

Méthodes de prévention

Règles de sécurité

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 et les autres types d'équipement servant au déroulement du fil peuvent être sous tension même si l'arc n'est pas encore amorcé ou que le fil ne se déroule pas. L'opérateur est alors exposé à une pleine tension à vide (en général 80 ou 100 volts) de la source de courant. Les risques sont réduits si le travailleur ne peut entrer en contact avec les composantes ou si celles-ci sont isolées.

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

Quand on utilise des pistolets refroidis à l'eau, il faut inspecter attentivement les pistolets et l'équipement de soudage afin de déceler les fuites d'eau. Il faut également porter une attention particulière à la condensation provenant des conduites souples d'eau froide afin d'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.

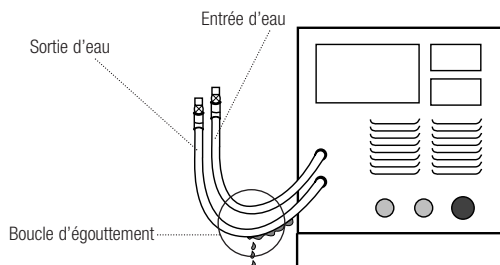


Figure 4.6 Boucle d'égouttement pour empêcher l'eau de condensation de pénétrer dans le poste de soudage

Ne jamais enrouler un câble de soudage autour du corps

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

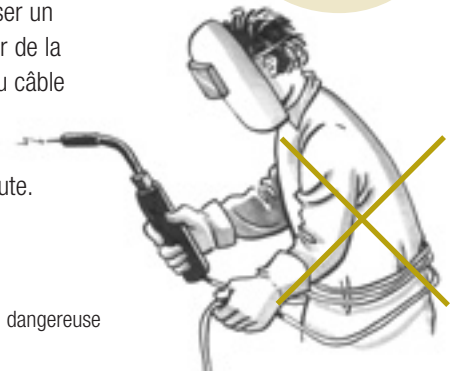


Figure 4.7 Situation dangereuse

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

Si l'équipement n'est pas utilisé, il faut le mettre hors tension pour éviter tout risque de choc électrique.

Protection individuelle

Porter de bons vêtements, des gants, etc.

Le port de gants de cuir à manchettes, d'un tablier de soudeur, de chaussures et d'un masque de soudeur isolants augmentera la résistance aux points de contact et réduira les risques de décharge électrique.

Utiliser un support isolant

Il est préférable d'utiliser un support isolant où le soudeur déposera le porte-électrode en toute sécurité.

Le soudeur doit à tout prix éviter de déposer le porte-électrode sous tension sur une surface métallique, car celle-ci pourrait prendre la tension de l'électrode et donner une décharge électrique à la personne qui la toucherait.

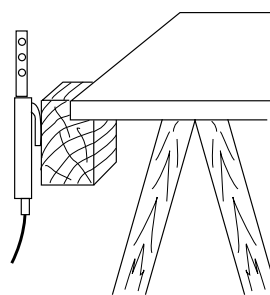


Figure 4.8 Support isolant pour porte-électrode

Porter des 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 décharge électrique. Il est important de s'assurer que les vêtements et les gants du soudeur soient bien secs.

Utiliser un tapis isolant

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

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

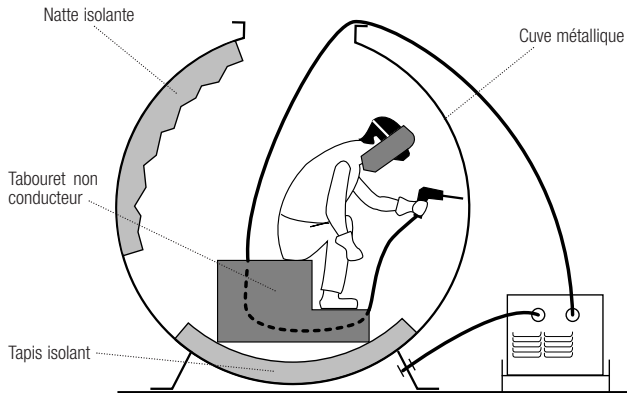


Figure 4.9 Plancher et tapis isolants pour protéger le soudeur des éléments mis à la terre

Précautions à prendre pour le câblage

Fixer adéquatement le câble de retour

Dans le procédé de soudage à l'électricité, le courant passe de la soudeuse au porte-électrode par l'entremise d'un câble électrique. Une fois le courant rendu à l'électrode, l'arc électrique traverse la pièce à souder et revient vers le poste de soudage par le câble de retour. Il ne faut pas confondre le câble de retour 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 sert à établir 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 de branchement du câble de retour doit être propre et la pince du câble de retour doit être solidement fixée, car certaines substances comme la graisse ou la peinture peuvent réduire la qualité du contact électrique. S'il y a mauvais contact, le courant peut revenir à la source par la mise à la terre et endommager la soudeuse.

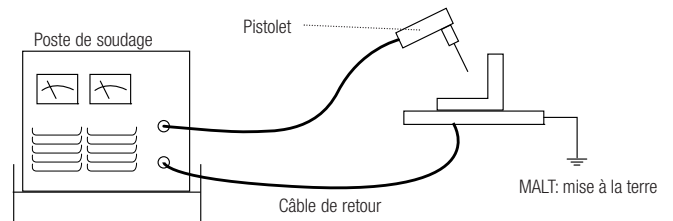


Figure 4.10 Câble de retour et mise à la terre pour le soudage à l'arc

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

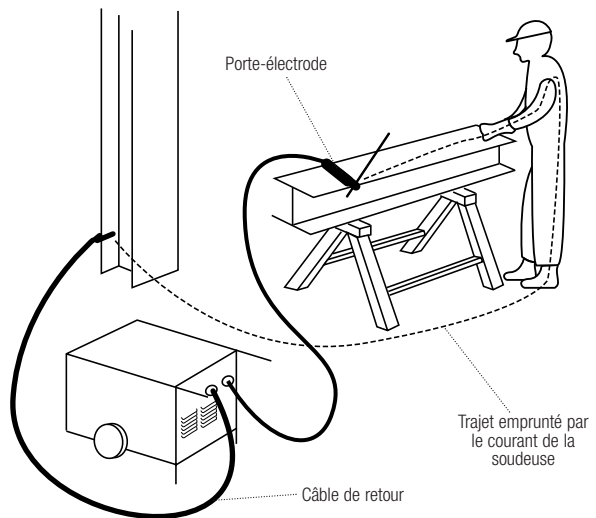


Figure 4.11 Situation dangereuse : le porte-électrode a été déposé directement sur la pièce et le câble de retour n'est pas encore relié à celle-ci

À éviter

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

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

Utiliser adéquatement les câbles d'alimentation

- Disposer les câbles d'alimentation de façon à éviter que l'équipement mobile, chariots élévateurs ou autres, ne les endommage. Un petit pont en bois placé par-dessus les câbles les protégera des équipements devant circuler dans cette région.
- 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 décharge électrique. Changer les câbles 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.

FACTEUR DE MARCHE (DUTY CYCLE)

Le facteur de marche désigne la durée réelle de l'arc par tranche de 10 minutes. On exprime le facteur de marche 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 6 minutes, les 4 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 du câble.

- Utiliser des câbles d'alimentation et des câbles de retour de calibre adéquat. Le choix doit se faire en fonction du courant de soudage et du facteur de marche. Le tableau suivant (tiré de la norme CSA W117.2-94) précise le calibre du conducteur à utiliser selon le courant de soudage et les longueurs de câble pour le procédé SMAW à un facteur de marche moyen (60 %).
- 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 l'électricité du Québec.

Calibre des conducteurs de soudage à l'arc (AWG, kcmil)						
Courant de soudage	18 m	Longueur de câble (câble d'électrode plus câble de retour)			120 m	150 m
	30 m	45 m	60 m	90 m		
100 A	4	4	4	1	1/0 ou 0	2/0 ou 00
200 A	2	2	1	3/0 ou 000	4/0 ou 0000	—
300 A	1	1	2/0 ou 00	—	—	—

Tableau 4a de la norme CSA W117.2-94

Précautions à prendre avec les connexions électriques

Effectuer adéquatement le branchement

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

Avant le branchement ou le débranchement du câble d'alimentation, il faut toujours mettre le circuit hors tension, c'est-à-dire placer l'interrupteur du sectionneur à la position « OFF » afin qu'aucun courant ne circule et que la tension soit nulle. Quand l'interrupteur est à la position « 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 est placé à droite sur le panneau du sectionneur, il faut se tenir à droite du panneau et manipuler l'interrupteur avec la main gauche afin de réduire les risques de blessures si une explosion se produisait par suite d'un court-circuit.

Effectuer une mise à la terre adéquate

Mise à la terre du poste de soudage

Lorsque l'appareil de soudage est défectueux et qu'il y a un défaut d'isolation des composantes sous tension, les pièces métalliques de l'appareil (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).

La source de courant de l'appareil de soudage et les panneaux de contrôle doivent donc être mis à la terre correctement.

De plus, la prise de courant de l'appareil doit comporter une broche de mise à la terre afin d'éviter toute inversion des conducteurs actifs (mauvaise polarité). Cette broche devrait être différente de par sa position, sa forme et sa longueur pour éviter tout risque d'inversion. Ainsi le branchement de la prise du poste de soudage assure aussi la liaison de la mise à la terre de l'équipement.

En établissement, la mise à la terre électrique se fait pour toute l'installation électrique du bâtiment. Par contre, pour les postes de soudage de chantier, qui ne disposent pas d'un réseau d'alimentation électrique mis à la terre, la mise à la terre devrait

être effectuée par l'entremise d'une prise de terre artificielle; celle-ci est généralement réalisée au moyen d'une tige de cuivre plantée dans le sol.

Mise à la terre de la pièce à souder

La pièce à souder doit avoir une mise à la terre distincte de la mise à la terre du poste de soudage. 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.

Procédés au laser

Les machines au laser utilisent un haut voltage pour générer le faisceau de lumière à haute intensité. Avant de procéder à toute opération d'entretien ou de réparation sur une source d'alimentation à haute tension, on doit s'assurer, à l'aide d'une perche de mise à la terre, que tous les éléments de l'appareil sont complètement déchargés. On laissera la perche raccordée à la borne haute tension pour toute la durée des travaux. Toute réparation doit être effectuée par une personne qualifiée.

Utiliser des connecteurs adéquats

Quand l'on doit ajouter des rallonges aux câbles de soudage, il est préférable d'utiliser des connecteurs isolés tels que « Cam-lock », « Joy » ou l'équivalent. Le mieux est d'utiliser des câbles souples le plus courts 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 et les risques de production d'étincelles.

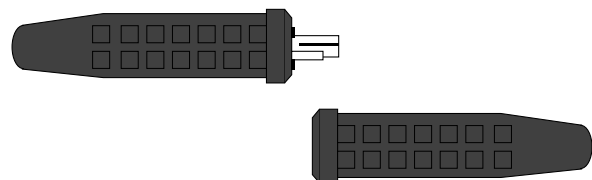


Figure 4.12 Connecteurs isolés, fiches mâle et femelle

Autres précautions

Vérifier les risques reliés au port d'un stimulateur cardiaque

Une décharge électrique, même de faible intensité, peut déstabiliser une prothèse électronique. C'est pourquoi les gens qui portent un stimulateur cardiaque (*pacemaker*) ou une autre prothèse électronique vitale devraient s'adresser à leur médecin ou au fabricant de la prothèse afin de vérifier les risques auxquels ils s'exposent.

Tension à vide

Pour diminuer les risques d'électrisation, on a réglementé la tension à vide pour certains procédés. Ces procédés sont le GMAW, le FCAW, le SMAW et le GTAW. Dans le cas du procédé de soudage-coupage au plasma, les niveaux de tension à vide peuvent être jusqu'à 10 fois plus élevés que les niveaux requis pour le soudage à l'arc.

La tension à vide ou tension en circuit ouvert est la tension mesurée au porte-électrode avant l'amorce de l'arc électrique, c'est-à-dire au moment où il n'y a pas de courant en circulation dans l'appareil.

Tous les postes de soudage semi-automatique et manuel requièrent une tension à vide de 80 ou 100 V pour amorcer

l'arc. Une fois l'arc électrique amorcé, la tension de soudage est réduite entre 12 et 40 volts, ce qui est suffisant pour maintenir l'arc électrique.

Le tableau suivant indique les tensions à vide maximales des procédés de soudage et coupage à l'arc électrique telles que les prescrit le Code canadien de l'électricité, 2^e partie (CSA C22.2, No 60).

	Manuel	Semi-automatique
Courant alternatif C.A.	80 volts	100 volts
Courant direct C.C.	100 volts	100 volts

CSA C22.2 No 60

La tension à vide est située à 80 V maximum dans le cas du courant alternatif et à 100 V maximum pour le courant continu; pour certains autres procédés, on remarque des tensions à vide plus faible de l'ordre de 38 V. Évidemment, plus la tension à vide est faible, plus les risques d'électrisation sont réduits.



ch a p i t r e 5

Contenu

- 1 Identification des risques
- 2 Méthodes de prévention

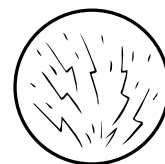
Les risques

pour la peau et les yeux

Rayonnement



Étincelles



1 Identification des risques

Les principaux risques pour la peau et les yeux proviennent de l'émission de rayonnements et de particules, de la projection d'étincelles et du maniement de l'électrode. On traitera séparément de ces risques, en accordant une place prépondérante aux rayonnements en raison de la complexité du phénomène et de la gravité des risques.

Exposition aux rayonnements

Rayonnements émis

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. Les rayonnements sont caractérisés par leur longueur d'onde. La panoplie de ces rayonnements compose ce qu'on appelle le spectre électromagnétique.

Les procédés à l'arc électrique produisent surtout les trois types de rayonnements suivants: infrarouges, visibles et ultraviolets. Dans le cas des procédés au laser, les rayonnements sont plus intenses en raison de la puissance du rayon émis et de la concentration du faisceau de lumière produit par l'appareil qui permet de fusionner le métal.

Procédés concernés

Les types de rayonnements émis et leur intensité dépendent du procédé de soudage-coupage, de l'énergie et du métal utilisés. Les rayonnements ultraviolets (UV) et infrarouges (IR) peuvent tout particulièrement se réfléchir lors du soudage sur l'aluminium et l'acier inoxydable avec les procédés GTAW et GMAW.

Le procédé à l'arc électrique qui présente le moins de danger pour les yeux est le procédé à l'arc submergé (SAW). Toutefois

si l'arc devient visible pendant les moments où il ne reste plus de fondant (flux), il est préférable de ne pas le regarder. Le port de lunettes de sécurité est habituellement suffisant pour s'en protéger.

Coup d'arc (éblouissement du soudeur ou « flash »)

Une exposition de quelques secondes suffit pour provoquer un coup d'arc. Le coup d'arc (ou «flash» du soudeur) est une lésion photochimique de la cornée (photokératite) due aux radiations ultraviolettes et à la partie bleue de la lumière visible (400 à 550 nanomètre). Ce type de lésion peut aussi atteindre la conjonctive de l'œil (blanc de l'œil); il n'est donc pas nécessaire de regarder directement l'arc pour être atteint. Les symptômes peuvent apparaître de 6 à 12 heures après l'exposition. L'œil est très sensible à la lumière, et la victime éprouve la sensation d'avoir du sable dans les yeux. Cette lésion guérit spontanément dans les 24 à 48 heures. Le bandage des yeux soulage la personne en atténuant les symptômes. Selon le type de procédé et l'intensité du courant, il est possible d'être atteint jusqu'à une distance de 25 mètres (80 pieds).

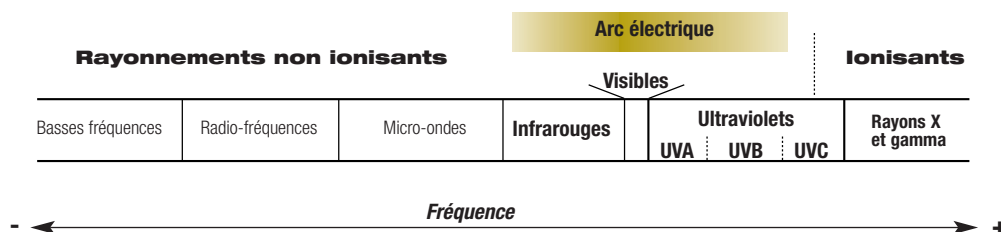


Figure 5.1 Spectre électromagnétique des rayonnements

VERRES DE CONTACT

Le port de verres de contact ne présente pas de risque particulier pour les soudeurs, sauf dans le cas de l'utilisation de certains produits chimiques.

Brûlures et autres effets des rayonnements

La gravité des effets sur la santé croît avec la durée et l'intensité du rayonnement. Dans le cas des brûlures par rayonnement, l'effet majeur est dû à la hausse de température créée au sein des cellules atteintes. Dans un premier temps, un rougissement de la peau survient, tel un coup de soleil. Dans certains cas, la température augmente tellement qu'elle vaporise l'eau située dans les cellules de la peau ou des yeux, ce qui provoque une augmentation de la pression et l'éclatement des cellules: c'est la brûlure.

Les rayonnements peuvent également avoir d'autres effets. Par exemple, les rayons UV provoquent une augmentation de la pigmentation de la peau (bronzage). L'exposition répétée aux rayons infrarouges sur de longues périodes peut provoquer l'opacification du cristallin de l'œil (cataracte). On connaît bien les effets cancérigènes des rayons UV sur la peau (les UVB seraient la cause première du cancer de la peau), mais ces effets sont peu documentés chez les soudeurs.

Rayons X et gamma

Ce type de rayonnement peut endommager le matériel

génétique des cellules vivantes et provoquer des mutations et des cancers. On ne retrouve pas ces types de rayons directement dans les procédés de soudage courants; cependant, le soudage par faisceau d'électrons peut en émettre.

Les rayons X sont utilisés habituellement pour le contrôle de la qualité des alliages légers coulés et des soudures d'acier et d'aluminium. Le contrôle par rayons gamma dont la source est l'iridium 192 est utilisé pour les moulages métalliques, les pièces forgées et les soudures ne dépassant pas 6 cm d'épaisseur (2 1/2 pouces). Par contre, les rayons gamma provenant du cobalt 60 permettent d'inspecter des soudures d'une épaisseur variant de 6 à 19 cm d'épaisseur (2 1/2 à 7 1/2 pouces).

Les rayons X ne sont présents que lorsque l'appareil est en fonction, alors que les rayons gamma sont émis par des substances radioactives qui doivent demeurer confinées dans un contenant blindé en tout temps.

Lors du réglage d'un appareil laser, les couvercles étant enlevés et la source d'alimentation du laser connectée, il peut y avoir émission de rayons X.

Types de rayonnements et principaux effets associés

Rayonnements	Provenance et caractéristiques	Effets sur la peau	Effets sur les yeux
Rayons ultraviolets	Proviennent de l'arc électrique de soudage. Augmentent fortement avec l'intensité du courant. Les rayons UV se subdivisent en UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) et UVC (100-280 nm). Extrêmement intenses dans les procédés au plasma et au laser. Le verre filtre en grande partie les UVB mais très peu les UVA.	Augmentation de la pigmentation de la peau (bronzage); rougeurs (coup de soleil); vieillissement accéléré et cancer (à long terme).	Causent le coup d'arc; cataracte (effets cumulatifs).
Rayons visibles	Proviennent de l'arc électrique de soudage. Longueur d'ondes de 400 à 770 nm.		Éblouissement, fatigue visuelle et maux de tête.
Rayons infrarouges	Proviennent surtout du métal en fusion en raison du dégagement de chaleur. Longueur d'ondes de 770 à 1 000 nm. Les infrarouges traversent le verre.	Affectent la peau et provoquent des brûlures.	Larmolements, maux de tête; brûlures de la rétine et de la cornée; cataracte (effets cumulatifs).

STATISTIQUES CSST

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.

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

Dans 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 heurter le travailleur aux jambes. Une autre partie du corps souvent atteinte par les piqûres est la main. Si la blessure n'est pas soignée adéquatement, des problèmes d'infection peuvent survenir.

Projection de particules

De nombreuses blessures, pour la plupart mineures, sont attribuables à des particules projetées à haute vitesse vers les travailleurs. Les blessures surviennent principalement au visage et aux yeux, le reste du corps étant protégé par les vêtements.

Le soudeur est exposé quotidiennement à ce genre de risque. Lorsqu'il brise le laitier solidifié sur une soudure avec un outil pneumatique à impact ou un marteau, des particules sont projetées dans toutes les directions. Le travail de préparation et de finition est également générateur de particules; en effet, le meulage est une étape importante du travail de soudeur.

L'utilisation de meuleuses portatives est très fréquente. Ces meuleuses tournent à haute vitesse et arrachent, par un effet abrasif, des particules de métal sur les pièces meulées en plus de projeter des particules de la meule même. Ces particules très chaudes sont projetées à haute vitesse sur une grande distance et peuvent emprunter différentes trajectoires en déviant violemment sur des obstacles.

Méthodes de prévention

Protection contre les rayonnements

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

- Porter un masque ou des lunettes, selon le cas, équipés d'un filtre adéquat. Les équipements de protection oculaire et faciale doivent être choisis conformément à la norme CSA Z94.3 « Protectors oculaires et faciaux pour l'industrie ».
- Porter des vêtements à manches longues.
- Fermer le dernier bouton de la chemise afin de réduire l'exposition de la peau aux rayonnements.
- Porter de la crème avec un FPS minimum de 15 (facteur de protection solaire) sur la peau du cou, qui ne peut être protégée autrement.
- Rabattre un tissu sur le cou, à partir du casque de soudeur, pour le protéger des rayonnements (très utilisé lors du soudage sur l'aluminium, l'acier inoxydable ou tout autre métal très réfléchissant).
- Éviter les vêtements synthétiques, car ils peuvent laisser passer les rayons ultraviolets.
- Protéger les travailleurs avoisinants à l'aide d'écrans appropriés au procédé et au voltage utilisés.

Masque serre-tête

Le masque serre-tête, qui est le plus fréquemment utilisé, doit posséder des verres filtrants de teinte appropriée au procédé (voir tableau de la page 79). Sur ce type de masque, on peut changer le verre filtrant selon les besoins.

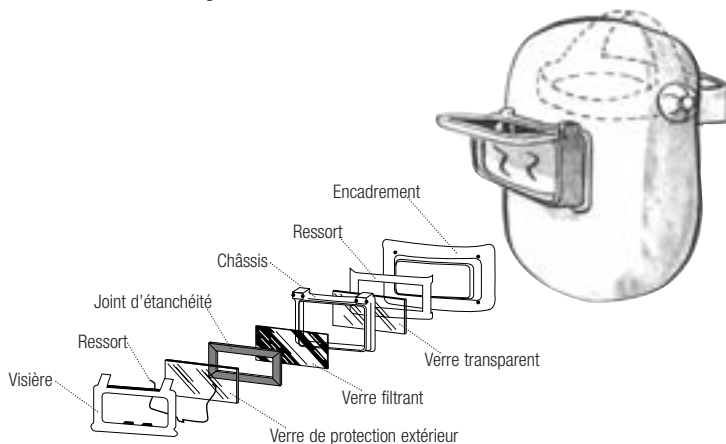


Figure 5.2 Masque serre-tête avec écran filtrant amovible

Masque à main

Ce masque est semblable au masque serre-tête, sauf qu'il nécessite l'utilisation d'une main, car il n'est pas supporté par la tête. Ce genre de masque est surtout utilisé par les observateurs, ou le soudeur dans le cas de travaux de courte durée.

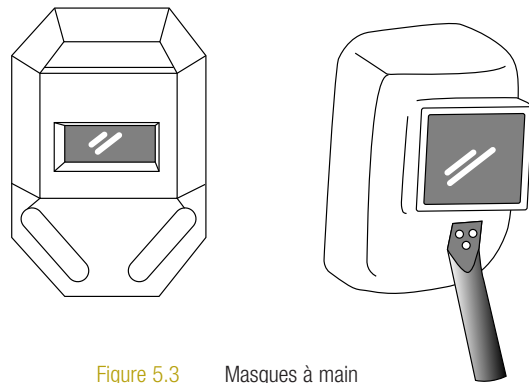


Figure 5.3 Masques à main

Lunettes de protection

En l'absence de rayons ultraviolets (procédés 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.

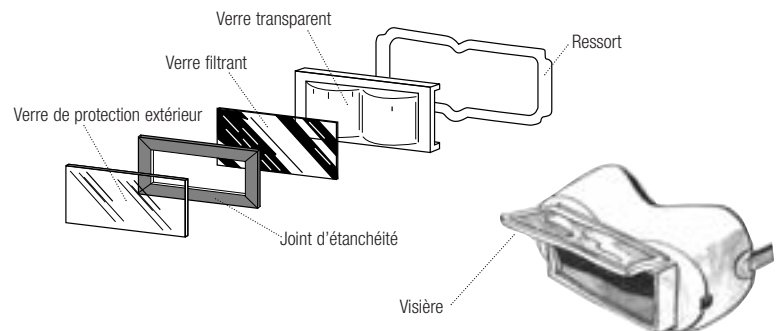


Figure 5.4 Lunettes de protection avec filtre

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 conserver le masque en position abaissée lors du positionnement précédant la soudure, car il voit très bien à travers la visière non obscurcie. De cette façon, il évite les mouvements répétés de la tête pour abaisser le masque, car la visière se noircit en moins de 1/100^e de seconde (la rapidité peut aller jusqu'à 1/25 000^e de seconde). Ce masque est particulièrement recommandé pour des travaux d'assemblage ou de prémontage de structure.

Niveaux de protection

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

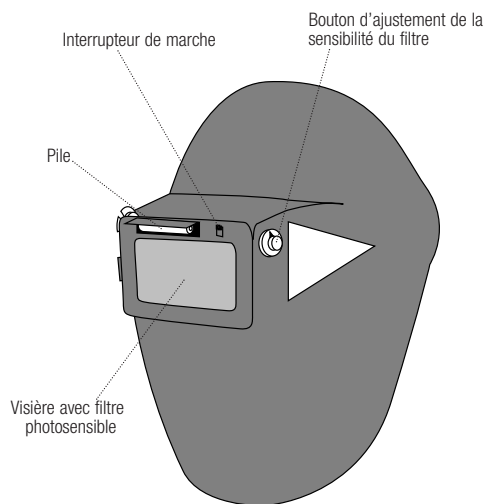


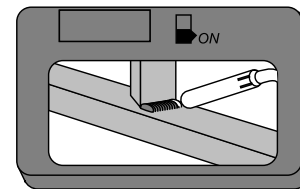
Figure 5.5 Masque électronique

Conditions d'utilisation

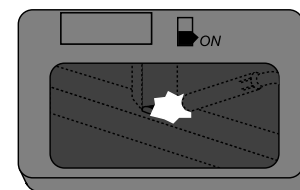
- L'exposition au froid (température inférieure à 0 °Celsius ou 32 °F) réduit l'efficacité du filtre.
- Il offre une protection insuffisante dans le cas du procédé MIG fonctionnant avec un courant d'arc supérieur à 500A (sensation d'éblouissement et d'inconfort).
- Il existe deux types de masques: à 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 avoir une bonne protection est de 60 cm (2 pieds). Les visiteurs ou les autres travailleurs ne devraient pas utiliser ce genre de masque.

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 degré de filtration l'est aussi. Se référer aux numéros de teinte prescrits dans le tableau de la page suivante, qui est tiré de la norme de sécurité en soudage (CSA W117.2-94).



a) Avant l'arc, l'écran permet une bonne visibilité (filtre numéro 4)



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

Figure 5.6 Visière avec filtre photosensible

Procédés	Paramètres	Numéro de filtre minimal*
Brasage tendre au gaz (TS)		2
Brasage fort au gaz (TB)		3 ou 4
Oxycoupage (OFC) :		
	Épaisseur de: moins de 25 mm (1 po)	3 ou 4
	25 à 150 mm (1 à 6 po)	4 ou 5
	plus de 150 mm (6 po)	5 ou 6
Soudage au gaz (OFW) :		
	Épaisseur de: moins de 3,2 mm (1/8 po)	4 ou 5
	3,2 à 12,7 mm (1/8 à 1/2 po)	5 ou 6
	plus de 12,7 mm (1/2 po)	6 à 8
Soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMAW) :		
∅ de l'électrode: moins de 2,5 mm (3/32 po)	Courant d'arc: moins de 60 A	7
de 2,5 à 4 mm (3/32 à 5/32 po)	60 à 160 A	8 à 10
4 à 6,4 mm (5/32 à 1/4 po)	160 à 250 A	10 à 12
plus de 6,4 mm (1/4 po)	250 à 550 A	11 à 14
Soudage à l'électrode de tungstène (GTAW) :		
	Courant d'arc: moins de 50 A	8 à 10
	50 à 150 A	8 à 12
	150 à 500 A	10 à 14
Soudage sous gaz de protection; fil plein (GMAW) ou fil fourré (FCAW):		
	Courant d'arc: moins de 60 A	7
	60 à 160 A	10 ou 11
	160 à 250 A	10 à 12
	250 à 500 A	10 à 14
Coupage à l'arc au carbone (AAC):		
	Courant d'arc: moins de 500 A	10 à 12
	500 à 1 000 A	11 à 14
Soudage à l'arc au carbone (CAW)		
		14
Soudage, coupage et gougeage au plasma (PAW/PAC) :		
	Courant d'arc: moins de 20 A	6 à 8
	20 à 100 A	8 à 10
	100 à 400 A	10 à 12
	400 à 800 A	11 à 14

Tiré de la norme ACNOR W 117.2-94

* Le numéro inférieur correspond au filtre minimal recommandé; le filtre supérieur est recommandé pour le confort.

Procédés au laser

L'exposition au rayonnement laser direct ou réfléchi peut être dommageable pour la vue. La protection individuelle contre le risque oculaire est obligatoire. On se référera aux recommandations du fabricant en matière de protection de la vue et de la personne. En plus de ces instructions, il est recommandé de se conformer aux mesures de prévention formulées dans la norme américaine ANSI Z136.1 « *Safe Use of Lasers* » ainsi que dans la norme européenne EN 60825-1 « Sécurité des appareils à laser ».

Parmi les principales recommandations, on trouve les suivantes:

- Installer des écrans de protection approuvés pour la classe de laser à utiliser. On doit s'assurer de protéger adéquatement l'opérateur de l'appareil au laser ainsi que les autres travailleurs à proximité.
- Utiliser un protecteur oculaire approuvé pour la classe de laser et le travail à effectuer. Il est recommandé de consulter la norme ANSI Z136.1 pour en faire la sélection.
- Nommer un responsable de la sécurité des lasers qui doit s'assurer, entre autres, que tous les opérateurs ont reçu la formation nécessaire, connaissent les risques et possèdent les connaissances requises pour utiliser un système de soudage ou de coupage par faisceau laser de façon sécuritaire.
- Toujours verrouiller l'interrupteur principal de l'appareil au laser lorsqu'il est mis hors de service.
- Interdire l'accès aux personnes non autorisées et verrouiller les portes et les panneaux d'accès des appareils au laser et des coffrets ou armoires de commande.
- Installer des panneaux d'avertissements et une plaque indicatrice portant les mots: « RAYONNEMENT LASER, EXPOSITION DANGEREUSE DE L'ŒIL OU DE LA PEAU AU RAYONNEMENT DIRECT OU DIFFUS ».



Figure 5.7 Symbole de danger du laser (noir sur fond jaune)

Rayons X et gamma

Les rayons X et gamma employés dans les radiographies industrielles sont du type ionisant et doivent être utilisés selon des règles de sécurité très strictes, formulées dans la norme ANSI N43.3 « *Installations using non-medical X-ray and sealed gamma-ray sources ...* ».

La norme CSA W117.2-94 mentionne également certaines précautions concernant les radiographies:

- La zone de danger doit être définie par un radiologue certifié et ce technicien doit avertir les travailleurs qui se trouvent à proximité avant d'utiliser l'appareil de radiographie.
- La zone de danger doit être délimitée par une barrière physique, corde ou autre, et signalée par une affiche interdisant l'accès aux personnes non autorisées.
- Un avis portant le pictogramme de la radioactivité ainsi que l'inscription « ATTENTION DANGER » ou « ACCÈS INTERDIT » doit être placé à toutes les entrées et sorties de la zone de danger. Le pictogramme de la radioactivité doit être de couleur rouge pourpre sur fond jaune et de dimension suffisante pour être reconnu à distance.
- Deux feux jaunes clignotants ou tournants doivent être placés à toutes les entrées et sorties de la zone de danger. Ces feux seront allumés quelques instants avant l'utilisation de l'appareil et demeureront allumés tant que l'appareil sera en marche.

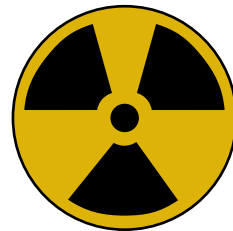


Figure 5.8 Pictogramme de la radioactivité (rouge pourpre sur fond jaune)

Écrans

Des écrans faits de matériaux incombustibles ou résistant au feu doivent être installés pour protéger contre les coups d'arc ceux qui se trouvent à proximité d'un lieu de soudage. L'écran doit avoir une surface non réfléchissante et doit permettre la circulation de l'air; on le placera donc à 50 cm (20 pouces) du sol et du plafond. L'opacité de l'écran doit convenir au procédé utilisé.

Le tableau suivant présentent les principales caractéristiques des rideaux de protection transparents disponibles sur le marché. Le choix du rideau dépend du procédé utilisé et de son ampérage, du métal de base soudé ainsi que du gaz de protection.

Teinte du rideau	Visibilité relative Objet perçu à travers le rideau	Procédé utilisé (métal de base et gaz de protection) et courant (en ampères)			
		Soudage sur acier avec gaz inerte (Ar ou He)	Soudage sur aluminium	Soudage sur acier avec gaz actif (CO ₂ et mélange)	SMAW et FCAW
Orange Spectra	69 %	1 300	750	550	450
Gris	56 %	225	125	100	75
Vert	63 %	150	90	70	50
Jaune	100 %	80	50	35	30
Bleu	44 %	40	25	20	15

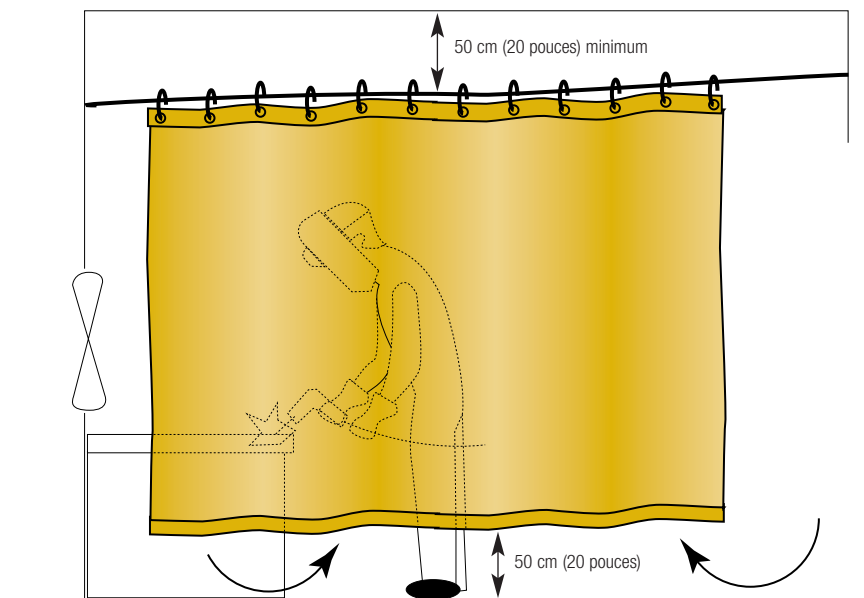


Figure 5.9 Rideau de protection transparent

Protection contre les brûlures et les projections

Règles minimales

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

- Porter des gants de cuir adéquats qui montent plus haut que les poignets, sinon utiliser des manchons en cuir qui protègent l'avant-bras.
- Porter des chemises 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 toute ouverture où des étincelles pourraient se loger.
- Porter des bottes de soudeur avec élastique pour pouvoir les enlever avec rapidité.
- Porter des chaussettes de laine; la laine est un tissu qui ne brûle pas facilement.
- Porter un tablier ou des guêtres (protègent la partie avant des jambes, du genou à l'avant du pied).
- Éviter tous les vêtements synthétiques; ceux-ci collent à la peau sous l'effet d'une étincelle ou de gouttelettes de métal en fusion.
- Éviter les pantalons à revers, où pourraient se loger des étincelles. Porter le pantalon par dessus les bottines.
- Porter un couvre-tête résistant au feu sous le casque ou une cape protectrice lors d'un travail exécuté au-dessus de la tête.
- Utiliser des écrans pour confiner la projection d'étincelles, de métal en fusion ainsi que les rayonnements.

Lunettes de sécurité

Il faut toujours porter des lunettes de sécurité avec protection latérale sous le masque de soudeur pour être protégé contre les projections de particules.

Protection des autres travailleurs

Les autres travailleurs, à proximité d'opérations de soudage, peuvent être victimes d'un coup d'arc, soit en regardant directement l'arc par inadvertance, soit en y étant exposés par la lumière réfléchi. Pour ces raisons, on devrait appliquer les règles de sécurité suivantes:

- Porter des lunettes de protection adéquates lors de travaux dans un rayon de 30 mètres (100 pieds) d'opérations de soudage qui ne sont pas protégées par des écrans.
- Utiliser des lunettes avec des verres en polycarbonate pour

absorber la majeure partie des rayons ultraviolets. Des verres teintés contribuent à réduire les rayonnements visibles et infrarouges.

- Si on peut être exposé à la lumière réfléchi de l'arc, porter des lunettes de sécurité avec verres de polycarbonate et écrans latéraux légèrement teintés (filtre de numéro 2).
- Pour le personnel assistant aux opérations de soudage, porter des lunettes de sécurité avec verres de polycarbonate et écrans latéraux teintés. Un numéro de teinte entre 3 et 5 est suffisant si on ne regarde jamais l'arc directement; autrement, il faut utiliser le même numéro de teinte que le masque du soudeur.



Figure 5.10 Lunettes de sécurité avec écrans latéraux

Bottes

Les bottes de soudeur devraient être approuvées CSA pour la catégorie de travail considérée. Une protection métatarsienne est suggérée pour prévenir les blessures causées par la chute d'une pièce métallique sur le dessus du pied. Pour certains modèles, l'absence de lacet réduit les risques d'introduction de particules de métal en fusion à l'intérieur de la botte; les élastiques permettent un retrait rapide.



Figure 5.11 Bottines de sécurité de soudeur

Vêtements

Les vêtements doivent protéger contre les étincelles, les projections de métal en fusion et les radiations. La laine est préférable au coton, car elle est moins inflammable. Par contre, elle est plus chaude pour le corps. Le coton offre une bonne protection contre les étincelles de métal chaud. Les vêtements des soudeurs doivent être exempts de taches d'huile ou de graisse et ce, en tout temps.



Figure 5.12 Chemise sans poche boutonnée au collet

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques des tissus utilisés pour les vêtements de protection du soudeur. Les critères de résistance au feu et au métal en fusion sont primordiaux alors que la question de confort doit surtout être étudiée pour les travaux exécutés durant la saison chaude ou dans un environnement de travail où le degré de chaleur peut être élevé.



Figure 5.13 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.	

Protection contre les piqûres

Pour prévenir les piqûres qui surviennent lors 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.



ch a p i t r e 6

Contenu

- 1 Risques liés au bruit
- 2 Méthodes de prévention

Les risques

reliés à l'exposition au bruit

Bruit



Risques reliés au bruit

Plusieurs procédés de soudage et de coupage entraînent des niveaux de bruit susceptibles de causer des dommages auditifs aux travailleurs qui y sont exposés. Il faut ajouter aux sources de bruit présentes dans le milieu les activités connexes comme le meulage, l'ébavurage, le martelage et le burinage.

Sources de bruit

Parmi les procédés de soudage et de coupage très bruyants, on retrouve les procédés d'arçair, les procédés au plasma ainsi que les procédés oxygaz. Dans ces procédés, le bruit est souvent produit par le passage sous pression d'un gaz dans les orifices du pistolet ou du chalumeau. Plus l'orifice est petit, plus la pression est grande et plus le niveau de bruit sera élevé.

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

Une exposition quotidienne à des niveaux de bruit élevés peut entraîner une surdité d'origine professionnelle consécutive à des dommages à l'oreille interne. Les risques de dommages auditifs augmentent en fonction du niveau de bruit et de la durée d'exposition, ou en fonction du nombre d'impacts d'intensité élevée. 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 et stress, baisse de résistance aux infections, troubles cardiovasculaires, etc.

Réglementation

Au Québec, la norme d'exposition permise est de 90 décibels, ou 90 dBA, pour une exposition continue au bruit de 8 heures par jour. Pour chaque ajout de 5 décibels, on divise le temps d'exposition par deux. Ainsi, la limite d'exposition à un niveau de bruit de 95 dBA est de 4 heures; à un niveau de 100 dBA, de 2 heures, et ainsi de suite.

Niveaux de bruit

Le tableau suivant présente les niveaux de bruit typiques engendrés par les différents procédés et quelques activités connexes dans la fabrication de produits en métal et de produits électriques.

Niveaux de bruit engendrés 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	inférieure à 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

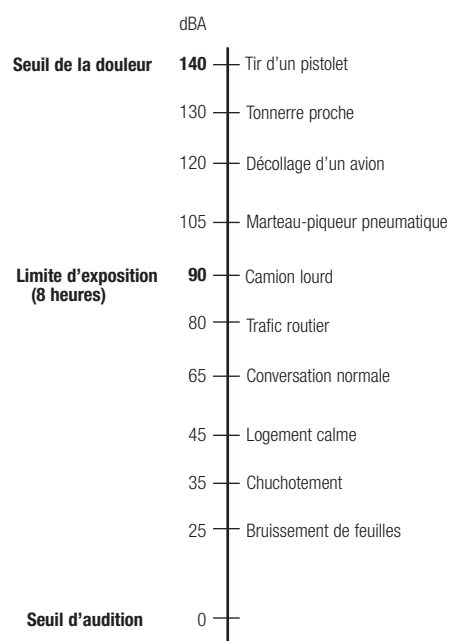


Figure 6.1 Niveaux de bruit de diverses sources

Méthodes de prévention

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

La Loi sur la santé et la sécurité du travail préconise d'éliminer à la source même les dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs. Il faut donc privilégier la réduction du bruit à sa source; si ce n'est pas possible, il faut agir sur la transmission du bruit par l'installation d'enceintes acoustiques, d'écrans ou par le traitement du local. En dernier recours, on fournit aux travailleurs l'équipement de protection individuelle: coquilles ou bouchons. Ce sont les deux premiers niveaux d'intervention qui sont le plus efficaces pour réduire définitivement le bruit dans les milieux de travail.

Techniques de réduction

Certaines techniques de réduction du bruit peuvent s'intégrer facilement 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 est située près d'un mur ou dans un coin;
- choisir des procédés et des électrodes qui produisent moins de scories nécessitant le meulage ou le martelage;
- 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;
- être assez long: les côtés de l'écran excèdent la ligne de vue directe d'au moins une fois la hauteur de l'écran;
- être placé le plus près possible des personnes ou de la source de bruit;
- être constitué d'un matériau barrière (acier, béton, contreplaqué, etc.) et d'un matériau absorbant (laine de

fibre de verre, mousse d'uréthane ou de plastique à cellules ouvertes, etc.);

- être recouvert d'un matériau absorbant du côté de l'équipement s'il est installé près des équipements ou du côté des travailleurs s'il est placé près des travailleurs (le côté recouvert d'un matériau barrière fait alors face à l'équipement).

Étapes

Lorsque plusieurs sources de bruit contribuent au niveau global de bruit dans l'usine, dans un département ou dans un secteur, on obtient une réduction appréciable du bruit d'ensemble en procédant par étapes:

- Identifier les sources de bruit par ordre d'importance. Il est recommandé d'utiliser un sonomètre pour évaluer séparément les niveaux de bruit provenant des différentes sources.
- Traiter en priorité la source la plus bruyante. Les éléments suivants doivent être pris en considération dans le choix de 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), des 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 au bruit d'ensemble.



ch a p i t r e 7

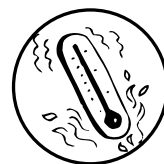
Contenu

- 1 Identification des risques
- 2 Méthodes de prévention

Les risques

reliés aux contraintes thermiques

Chaleur trop intense



1 Identification des risques

L'être humain est homéotherme; c'est-à-dire que ses organes fonctionnent bien à une température constante d'environ 37,5 °Celsius (98,6 °F).

Toute activité physique produit de la chaleur; même au repos, la respiration et la circulation sanguine produisent un niveau d'activité minimum qu'on appelle métabolisme basal. Comme le corps humain produit de la chaleur, il doit en perdre autant afin de maintenir sa température stable, sinon celle-ci augmente et il en résulte de la fièvre.

Mécanismes d'adaptation

Système cardiovasculaire

Pour perdre de la chaleur, le corps envoie du sang à la surface de la peau pour effectuer un échange de chaleur avec l'air ambiant; il en résulte un rougissement de la peau. On peut noter aussi une augmentation du rythme cardiaque, une diminution de la pression artérielle, une augmentation de l'«épaisseur du sang» consécutive à la déshydratation et une réorientation du flot sanguin qui va des organes (systèmes digestif et urinaire) vers la peau.

Déshydratation

Le corps dissipe également de la chaleur par la sudation, car la sueur produite par les glandes sudoripares permet un échange de chaleur lors de son évaporation.

La masse maigre d'un individu est composée à 70 % d'eau. Une partie de cette eau est véhiculée dans le sang. On sait que, lors d'efforts très intenses, un individu peut perdre jusqu'à deux litres d'eau par heure. On imagine facilement les répercussions cardiovasculaires de la diminution du volume sanguin: augmentation du rythme cardiaque accompagnée d'une baisse de la capacité de l'organisme à produire le même travail et à se défendre contre les effets de la chaleur. En plus de l'eau, la sueur contient aussi différents sels minéraux essentiels, surtout du sodium et du potassium.

Les effets de la chaleur sur la santé sont généralement progressifs et peuvent aller de simples boutons de chaleur au coup de chaleur; dans ce dernier cas, les mécanismes d'autorégulation de la température ne réussissent plus à stabiliser la température corporelle et on risque la mort.

Effets sur la santé

Boutons de chaleur

Lorsqu'ils sont exposés à la chaleur, certains individus présentent une éruption cutanée qui est due à une obstruction

des canaux responsables de la sécrétion de la sueur. Cet effet est surtout inconfortable et peut nuire au travail.

Œdème de chaleur

Il s'agit d'enflures aux mains ou aux pieds, conséquence de l'accumulation de sang au niveau de la peau.

Fatigue mentale

L'ensemble des mécanismes de défense obligent l'organisme à dépenser plus d'énergie pour un travail donné. Le travailleur a chaud, il se sent mal et devient impatient; son niveau d'attention baisse, donc les erreurs se multiplient et les accidents sont plus fréquents.

Crampes de chaleur

Ces crampes surviennent après plusieurs semaines d'exposition à la chaleur et sont dues à la perte excessive d'eau et de sels minéraux qui n'ont pu être remplacés suffisamment lors d'une période de sudation.

Épuisement à la chaleur

L'exposition prolongée à la chaleur peut entraîner des étourdissements, des maux de tête et de la fatigue, qui s'ajoutent aux signes de déshydratation et à la température élevée.

Syncope

La syncope est un trouble qui peut être lié à l'exposition à la chaleur; c'est un évanouissement dû à une distribution inadéquate du débit sanguin. Une grande partie du volume sanguin, qui est réduit sous l'effet de la déshydratation, se retrouve au niveau des vaisseaux périphériques (la peau). Cet état, combiné par exemple à une posture debout immobile qui favorise l'accumulation du sang dans les jambes, mène à une baisse de la pression artérielle et à une oxygénation insuffisante du cerveau, qui cause l'évanouissement.

Coup de chaleur

Si la température corporelle dépasse 40 °Celsius, les cellules cérébrales ne peuvent fonctionner normalement et on assiste à

un dérèglement du système nerveux central. Le corps peut aussi cesser toute sudation et se mettre à frissonner, ce qui aggrave encore la situation. Avoir la peau sèche et frissonner sont donc des signes alarmants qui requièrent un retrait immédiat du lieu d'exposition, sinon c'est le coma et la mort. Le coup de chaleur entraîne des décès chaque année au Québec.

Facteurs de risque

Le risque 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, une isolation qui nuit à l'échange de chaleur entre la peau et l'air et 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 (un taux d'humidité élevé limite l'efficacité de la sudation) et la chaleur radiante.

Réglementation

Le Règlement sur la qualité du milieu de travail (RQMT) énonce les exigences spécifiques quant à l'évaluation des contraintes thermiques et les implications sur l'organisation du travail.

Indice de contrainte thermique

Un indice de contrainte thermique permet d'intégrer les différents paramètres environnementaux de l'exposition à la chaleur de façon à obtenir une valeur reliée aux actions physiologiques de l'organisme humain. Aux fins d'application du Règlement, on mesure l'indice de contrainte thermique par l'indice de température au thermomètre à globe à boule humide (WBGT), qui prend en considération la température de l'air, sa vitesse et le taux d'humidité.

Cet indice s'appuie exclusivement sur l'expérience et l'observation; il est relativement facile à déterminer dans un environnement industriel.

Durée d'application

La norme ne s'applique pas à une exposition de 8 heures mais bien de 60 minutes. En effet, si l'exposition continue à une ambiance chaude excède 1 heure, sans période suffisante pour récupérer, une accumulation de chaleur peut se produire à l'intérieur du corps et provoquer des troubles physiologiques. Si l'exposition est intermittente, la norme s'applique alors sur 120 minutes.

Charge de travail

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

Les activités effectuées par un travailleur doivent être classées dans les catégories suivantes selon la valeur du métabolisme de la personne au travail, soit sa dépense énergétique mesurée en kilocalories par heure (kcal/h):

- Travail léger*: jusqu'à 200 kcal/h.
Exemples: commande de machine en position assise ou debout, travail léger impliquant la main ou le bras, etc.
- Travail moyen*: de 200 à 350 kcal/h.
Exemple: déplacements accompagnés d'efforts modérés de levage et de poussage, etc.
- Travail lourd*: de 350 à 500 kcal/h.
Exemple: travail au pic et à la pelle, etc.

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		
	travail léger	travail moyen	travail 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

Contexte d'application:

- Le travailleur doit faire une semaine normale de travail en ambiance chaude.
- Il doit être physiquement apte à faire le travail.
- Il doit être acclimaté.
- Il ne doit pas porter de vêtements spéciaux de protection contre la chaleur.
- Il doit recevoir un apport suffisant d'eau froide (entre 10 °C et 15 °C) et avoir du sel à sa disposition.

Tiré du RQMT (annexe D, tableau I)

Méthodes de prévention

Normalement, lorsqu'un travailleur est exposé à une chaleur inconfortable, il peut alléger son habillement. Par contre, un soudeur qui a chaud ne peut avoir recours à cette solution, sinon il sera exposé aux autres risques inhérents à son métier (brûlures, rayonnement et projections). Il faut donc trouver d'autres solutions et d'autres mesures de prévention.

Réduction de l'exposition

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

Contrôles d'ingénierie

L'objectif des méthodes de contrôle par ingénierie est de réaménager le poste de travail exposé de manière à ramener l'indice de contrainte thermique à ce poste de travail sous la valeur limite acceptable. Par exemple:

- diminuer le rayonnement de la chaleur en réduisant la température ou les propriétés émissives d'une surface chaude par l'ajout de matériau isolant;
- empêcher le rayonnement de chaleur d'atteindre le travailleur au moyen d'écrans réfléchissants (aluminium par exemple), absorbants (côté noir mat du côté de la source), transparents (verre, grille métallique ou rideau de chaînes) ou flexibles (tissu recouvert d'aluminium);
- diminuer la température de l'air par une bonne ventilation qui permet d'évacuer la chaleur de façon naturelle (ouvertures dans le toit) ou mécanique (ventilation générale ou locale);
- climatiser des postes de travail fermés ou des 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 à fournir en offrant une assistance mécanique pour certaines tâches lorsque c'est possible.

Mesures administratives

Si l'application des mesures d'ingénierie ne suffit pas ou s'avère impossible, il faut alors contrôler la charge de travail, le temps d'exposition et le temps de récupération, conformément au régime d'alternance travail et repos prévu dans le Règlement

(voir tableau précédent). Dans ce cas, les aires de repos prévues doivent être situées près du poste de travail et devraient de préférence être climatisées (environ 25 °Celsius).

Équipements de protection individuelle

Si les deux séries de mesures précédentes ne suffisent pas ou en attendant que les transformations requises soient faites, il faut s'assurer que les travailleurs exposés portent des équipements et des vêtements de protection contre la chaleur. Par exemple, ils pourraient utiliser des vestes refroidies à l'eau; il faut toutefois porter une grande attention aux fuites d'eau lors du travail avec des procédés de soudage à l'électricité (préférer dans ce cas des vestes refroidies à l'air).

Mesures préventives

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

Acclimatement des travailleurs

Un individu est capable de s'acclimater graduellement à un travail en ambiance thermique chaude.

Quand un individu est acclimaté, sa sudation débute plus tôt et est plus abondante pour un travail donné, la concentration de sels dans sa sueur est moins grande, son rythme cardiaque et sa température corporelle sont moins élevés.

La majeure partie de cet acclimatement s'obtient en 5 à 7 jours. On devrait donc exposer graduellement un travailleur à une contrainte thermique élevée durant cette période: Par exemple, permettre une exposition correspondant à 20% du temps de travail la première journée avec une augmentation de 20% les jours subséquents ou 50% maximum au début avec une augmentation de 10% pour chaque jour subséquent. Le processus d'acclimatement complet pourrait même s'étendre sur 14 jours.

Un travailleur acclimaté qui s'absente pour prendre des vacances ou pour effectuer un tout autre travail pourrait devoir reprendre sa période d'acclimatement. On considère que le travailleur a perdu son acclimatement après une absence de 5 jours. De la même façon, après une fin de semaine, on recommande au travailleur de réduire un peu son exposition la première journée.

Habillement

Les vêtements pâles sont préférables aux vêtements foncés puisqu'ils captent moins la chaleur de rayonnement. Quand on est exposé à une forte chaleur radiante, des vêtements amples et ne laissant 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 des travaux où la chaleur radiante est élevée (par exemple, près d'un four ou sous le soleil) et lorsque l'effort physique à réaliser n'est pas trop grand, parce qu'il gêne les mécanismes d'évaporation de la sueur. En effet, un chandail de coton tout mouillé est en fait rempli de sueur qui n'a pas pu s'évaporer, donc qui n'a pas pu remplir son rôle qui est de refroidir le corps.

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

Les travailleurs œuvrant 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 devrait boire de petites quantités de liquide à intervalles réguliers (de 125 à 225 ml ou de 4 à 8 onces toutes les 15 à 20 minutes) plutôt qu'une grande quantité d'un coup. Même s'il est recommandé de boire de l'eau, des études ont prouvé qu'un mélange contenant des sucres et du sel est absorbé plus rapidement, en plus de pouvoir remplacer une partie de l'énergie et des sels minéraux perdus en raison de l'effort en contrainte thermique.

Le tableau suivant présente quelques boissons recommandées pendant et après le travail ainsi que leur teneur en glucides, en sodium et en potassium.

Mesures d'urgence

En présence de symptômes de déshydratation ou de surexposition à la chaleur (enflures, crampes, fatigue, étourdissements, vertige, évanouissement, peau sèche rouge et chaude, confusion ou délire), il faut amener la victime dans un endroit frais, la rafraîchir et la laisser se reposer en position couchée, les jambes surélevées. Il faut lui faire boire de l'eau en petites quantités et, au besoin, la transporter à l'hôpital.

Teneur en glucides, en sodium et en potassium de quelques boissons, et concentrations recommandées			
Boissons	Glucides (g/l)	Sodium (ppm)	Potassium (ppm)
Jus d'orange	110	10	2000
Jus de tomate	48	3724	2272
Sprite™	110	0	0
Sprite diète™	0	0	140
Gatorade™	75	510	135
Carbo Boost™	211	74	211
Eau minérale	0	415	5
Concentrations recommandées pendant l'effort	60 à 100	400 à 500	0
Mélange: 500 ml (2,5 tasses) de Sprite™ + 500 ml d'eau minérale	55	207	2
Concentrations recommandées après l'effort	60 à 100	400 à 1000	> 200
1) 100 ml (0,5 tasse) de jus d'orange + 60 g (1/4 tasse) de sucre + 2,5 ml (1/2 c. à thé) de sel + 900 ml (3,5 tasses) d'eau	71	1000	200
2) 500 ml (2,5 tasses) de jus d'orange + 500 ml d'eau minérale	55	600	1030

Notes: Les boissons *Smart Drink™* ne sont pas recommandées car elles contiennent des produits à base de caféine.

Les eaux de source gazéifiées ne sont pas des eaux minérales; elles contiennent de très faibles concentrations de sodium et de potassium.



chapitre 8



Contenu

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

La ventilation

appliquée aux opérations de soudage

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 dans la zone respiratoire des travailleurs. La réglementation est également très précise pour ce qui est des exigences en matière de ventilation générale.

Ouvrages de référence

Pour obtenir plus d'information sur la ventilation appliquée aux procédés de soudage et de coupage, on peut consulter la norme CSA W117.2-94, « Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes ». On y trouve certaines exigences de ventilation en fonction des procédés utilisés, du volume de production et du degré de confinement de l'espace de travail.

Pour les manières de faire ou les règles de l'art en matière de ventilation, il faut consulter le manuel «Industrial Ventilation» publié par ACGIH (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) qui décrit en détail les critères de conception pour la ventilation et la captation à la source.

Débit d'air requis

Réglementation

Avant de concevoir un système de ventilation générale, il serait important de se référer au Règlement sur la qualité du milieu de travail (RQMT) qui précise les exigences auxquelles le système doit se conformer.

Par exemple, dans le secteur de la fabrication de produits métalliques, le Règlement impose 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.

Exemple de calcul

A) Débit d'air requis pour obtenir 4 changements d'air à l'heure

Données :

- Bâtiment carré de 30 mètres x 30 mètres de superficie (100' X 100')
- Hauteur du plafond: 6,7 mètres (22 pieds)
- Classification du secteur d'activité: fabrication de produits en métal

Calcul du volume utile de l'usine (V): on prend 3,7 m (soit 12') + hauteur du plan de travail

Volume utile de l'usine = 30 m X 30 m X 3,7 m (car il n'y a pas de mezzanine)

soit $V = 3\,400\text{ m}^3$ (ou $120\,000\text{ pi}^3$)

Calcul du débit d'air requis (Q):

1 changement d'air/h = $3\,400\text{ m}^3/\text{h}$

4 changements d'air/h = $4 \times 3\,400\text{ m}^3/\text{h}$

$Q = 13\,600\text{ m}^3/\text{h}$ ou $13\,600\text{ m}^3/60\text{ min} = 227\text{ m}^3/\text{min} = 3,8\text{ m}^3/\text{s}$

En ramenant cette valeur en pcm (pieds cubes par minute), on obtient $8\,000\text{ pi}^3/\text{min}$.

La capacité nécessaire pour le débit d'air extrait par les ventilateurs d'évacuation serait alors de $8\,000\text{ pcm}$

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

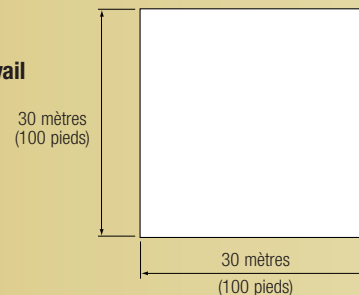


Figure 8.1 Vue en plan de l'usine

Pour ce qui est des secteurs de la fabrication de produits électriques ou de l'habillement, la norme est de deux changements d'air à l'heure.

Calcul du volume d'air à évacuer

Le calcul du débit requis s'établit à partir du volume utile du local ou du bâtiment à ventiler. Ce volume utile correspond à la surface totale de plancher du bâtiment multipliée par la hauteur du plan de travail à laquelle on a additionné 3,7 mètres (12 pieds). Le plan de travail correspond à la surface de plancher où sont situés les travailleurs (la hauteur de ce plan de travail est donc nulle si les travailleurs sont tous au même niveau, soit le plancher du bâtiment). Si le plafond est plus bas que 3,7 mètres, on doit prendre la hauteur réelle du plafond. Une attention particulière doit être portée aux bâtiments qui possèdent des mezzanines où l'on trouve des postes de travail; dès qu'il y a un deuxième niveau de travail plus haut que le plancher, il faut ajouter le volume correspondant à cette surface additionnelle de plancher.

Bilan de ventilation générale

Il faut inclure dans le bilan de ventilation générale tous les besoins en ventilation locale également. Les débits des systèmes indépendants de captation à la source seront donc inclus dans le volume d'air total évacué seulement si ces systèmes de captation fonctionnent pendant toute une journée de production normale. Pour les systèmes ne fonctionnant que quelques heures par jour, leur débit ne peut être inclus dans le bilan.

L'exemple dans l'encadré ci-dessous montre la méthode de calcul pour évaluer la capacité requise du ou des ventilateurs 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 spécifié par le Règlement sur la qualité du milieu de travail.

B) Débit d'air requis si des bras de captation sont utilisés

Données additionnelles :

- Utilisation de 3 bras de captation à 1 000 pcm chacun pour toute la période de production.
- Utilisation d'un bras de captation à 800 pcm une à deux heures par jour.

Selon le calcul du débit pour quatre changements d'air à l'heure, nous avons trouvé dans l'exemple précédent 8 000 pcm. Étant donné que trois bras de captation sur quatre fonctionnent pendant toute la période de production, nous pouvons donc les inclure dans le bilan de ventilation.

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

$$Q = 8\ 000\ \text{pcm} - 3\ 000\ \text{pcm}$$

$$Q = 5\ 000\ \text{pcm}\ \text{ou}\ 2,4\ \text{m}^3/\text{s}$$

La capacité requise pour le débit d'air extrait par les ventilateurs d'évacuation pour l'obtention de 4 changements d'air par heure serait alors de 5 000 pcm. La valeur a diminué étant donné que les 3 bras de captation évacuent déjà à eux seuls 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.

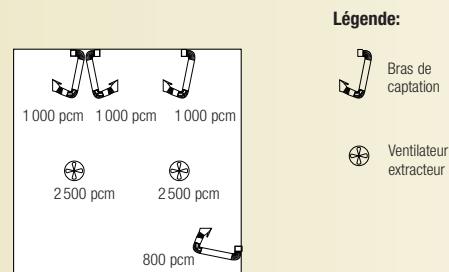


Figure 8.2 Systèmes de ventilation générale et locale pour l'évacuation de l'air vicié

Entrée d'air équivalente et chauffage

Dans un bilan de ventilation, il est important de calculer le débit d'air sortant, mais il est 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 10 % 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 retrouve souvent les unités mécanisées avec chauffage d'appoint intégré et diffuseur d'air comme système d'apport d'air frais.

Pendant les périodes froides, les unités de chauffage au gaz ou les unités électriques de l'usine sont utilisées pour maintenir une température stable. Toutefois, l'arrivée d'une grande quantité d'air froid perturbera la température de l'usine. 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 atteint environ 16 °Celsius (60 °F) à la sortie du diffuseur. Cette température peut être atteinte avec un système

de chauffage intégré au système d'apport d'air mécanisé. Il existe également des systèmes d'apport d'air mécanisé qui récupèrent la chaleur au niveau du plafond de l'usine, ce qui facilitera le chauffage de l'air introduit par brassage et évitera un surfonctionnement du système de chauffage de l'usine.

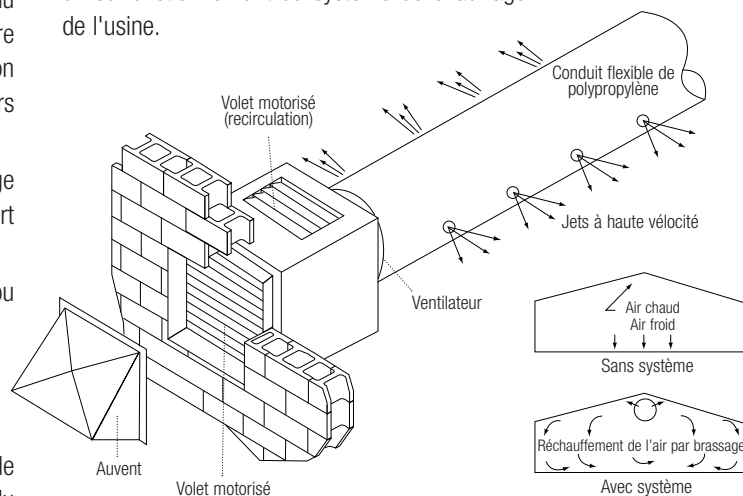


Figure 8.3 Système d'apport d'air mécanisé

C) Débit d'air de remplacement (air frais provenant de l'extérieur)

Selon le calcul du débit, pour l'obtention de quatre changements d'air, nous avons trouvé dans l'exemple précédant 8 000 pcm. Afin de réaliser le calcul, on applique un facteur de 0,90, ce qui correspond à un débit d'air de remplacement 10 % moins élevé que le débit d'air extrait.

Débit d'air de remplacement requis = $0,90 \times Q_4$ changements d'air

$$Q_{\text{requis à l'entrée}} = 0,90 \times 8\,000 \text{ pcm}$$

$$Q_{\text{requis à l'entrée}} = 7\,200 \text{ pcm ou } 3,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

La capacité nécessaire pour le débit d'air frais devrait être d'environ 7 200 pcm (quantité d'air extrait moins environ 10 %).

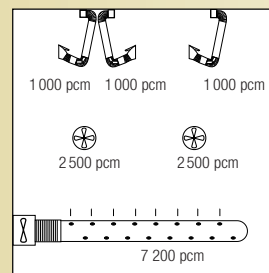


Figure 8.4 Organisation du système de ventilation générale complet

Aspiration locale

La ventilation par aspiration locale ou à la source consiste à capter les fumées avant que celles-ci ne se rendent dans la zone respiratoire du travailleur. Il existe trois types de systèmes d'aspiration, selon le débit et la pression engendrés par les unités de ventilation :

- 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 trois types de systèmes se distinguent par les caractéristiques de leur unité d'aspiration. Ces unités sont classées selon leur capacité d'aspirer un volume d'air à une certaine pression (résistance), qui est engendrée par le passage de l'air dans l'ensemble du système d'aspiration: conduits d'extraction, capteurs, filtres, etc.

Pour choisir le type de 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 d'aspiration. La pression de fonctionnement s'exprime en kilopascals (kPa) ou en pouces d'eau ($"H_2O$).

Système	Unité aspirante	Pression de fonctionnement	Type de capteur	Débit d'air
HVBP	Ventilateur	< 5 kPa (< 20 $"H_2O$)	Bras de 15 à 20 cm de Ø (6 à 8")	400 pcm et plus
MVMP	Turbo	5 à 15 kPa (20 à 60 $"H_2O$)	Bras de 5 à 10 cm de Ø (2 à 4")	150 à 350 pcm
BVHP	Turbine	15 à 30 kPa (60 à 120 $"H_2O$)	Pistolet et bras de 5 cm de Ø (2")	25 à 125 pcm

1 Système à haut volume, basse pression (HVBP)

Les systèmes haut volume, basse pression sont caractérisés par :

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

Débits recommandés

Le tableau qui suit indique le débit recommandé pour un bras de captation selon la distance qui le sépare de l'arc et selon 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 ppm ou pi/min) pour les fumées de soudage, ceci afin d'assurer le transport des fines particules et pour éviter qu'elles ne s'accumulent dans le conduit.

Indications pour le débit d'air nécessaire		
Distance source/hotte	Conduit simple	Conduit avec bride ou avec cône
jusqu'à 15 cm	335 pcm (0,16 m ³ /s)	250 pcm (0,12 m ³ /s)
15 à 23 cm	755 pcm (0,36 m ³ /s)	560 pcm (0,26 m ³ /s)
24 à 30 cm	1 335 pcm (0,63 m ³ /s)	1 000 pcm (0,47 m ³ /s)

Hotte de ventilation

La figure suivante représente une hotte fixe placée 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. Il se peut fort bien que le travailleur ait besoin d'une protection respiratoire selon la toxicité des produits utilisés.

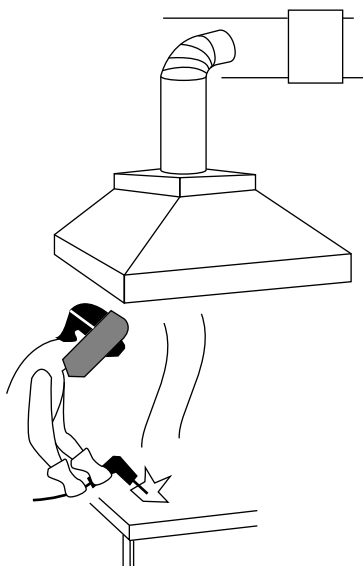


Figure 8.5 Hotte fixe au-dessus de la table de travail

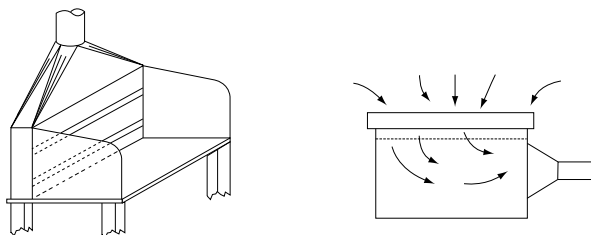


Figure 8.6 a) Table aspirante avec fentes d'aspiration face au travailleur b) Table avec aspiration verticale descendante

Table aspirante

La figure précédente présente deux types de tables aspirantes. L'air contaminé est aspiré soit à travers des fentes situées sur une cloison verticale à l'extrémité de la table, soit directement au niveau de la surface de la table par des ouvertures ou une surface grillagée. Avec ce principe, l'air contaminé ne passe pas par la zone respiratoire du travailleur. Le principal inconvénient des tables aspirantes est que les pièces à souder doivent être assez petites pour y être installées et que l'efficacité de l'aspiration dépend grandement de la forme de la pièce et des endroits à souder sur celle-ci.

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

Système d'aspiration fixe (pour une hotte de ventilation ou une table aspirante)	
Avantages	Désavantages
Représente un investissement réduit.	Coût énergétique élevé, car exige un grand débit d'air.
Les fumées, poussières et gaz sont aspirés avant d'entrer dans la zone respiratoire du travailleur (table aspirante avec fente).	La zone respiratoire du travailleur est située dans la zone contaminée (pour une hotte avec aspiration verticale montante).
N'exige aucun positionnement de la part du travailleur.	La ventilation générale peut parfois causer le déplacement des fumées, poussières et gaz hors du chemin de capture.

Bras de captation de grand diamètre

Les bras de captation de diamètre égal ou supérieur à 15 cm (6 pouces) font partie des systèmes de captation de haut volume, basse pression.

Ce genre de capteur est généralement utilisé pour des pièces de petites et moyennes dimensions pour lesquelles les déplacements nécessaires au soudage sont limités.

Les grandes pièces nécessitent un mouvement constant du bras de captation lorsque le soudage progresse et les utilisateurs finissent souvent par s'en lasser.

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

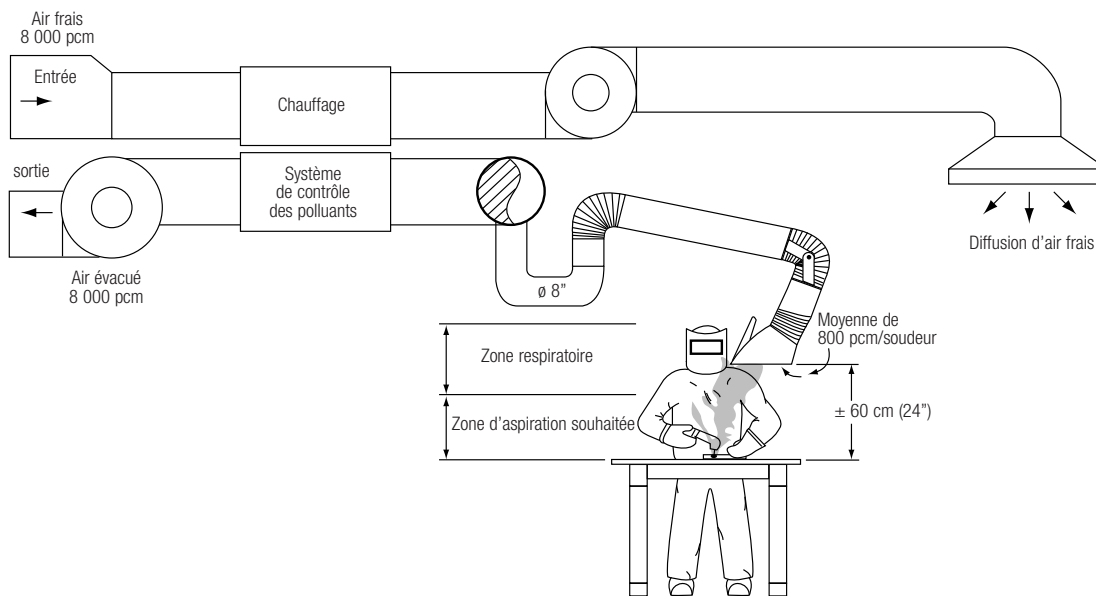


Figure 8.7 Bras de captation avec conduit flexible de 20 cm (8") de diamètre
Source: HENLEX

Bras de captation de grand diamètre (15 cm ou 6 pouces et plus)	
Avantages	Désavantages
Position du capteur à ± 60 cm (24") de la source d'émission pour un bras de 20 cm de \varnothing (8") et à ± 45 cm (18") pour un bras de 15 cm de \varnothing (6").	Le capteur, à cause de sa grande dimension, nuit à la visibilité s'il est positionné dans la zone d'aspiration souhaitée.
Possibilité d'installer une source d'éclairage sur le capteur pour inciter le soudeur à bien le positionner.	La zone respiratoire du travailleur peut être contaminée par les fumées et le gaz (surtout pour les bras de 20 cm ou 8").
Les articulations externes permettent un ajustement simple et facile d'accès.	Si les articulations du bras de captation sont internes, les ajustements sont inaccessibles et les bras finissent par ne plus tenir en place. Le changement de position est ardu (surtout pour les bras de 20 cm ou 8").
	Il y a perte d'air chauffé ou climatisé, car un bras de 20 cm (8") exige environ 800 à 1 000 pi ³ /min (0,38 à 0,47 m ³ /s), tandis que celui de 15 cm (6") exige environ 500 à 700 pi ³ /min (0,24 à 0,33 m ³ /s).

2 Système à moyen volume, moyenne pression (MVMP)

Les systèmes moyen volume, moyenne pression sont caractérisés par :

- l'utilisation de bras de captation de moyen diamètre, soit de 8 à 10 cm (3 ou 4 pouces);
- 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 pouces) de diamètre.

Bras de captation de 8 à 10 cm (3 ou 4 pouces) de diamètre	
Avantages	Désavantages
Permet de positionner le capteur à moins de 30 cm (12 pouces) de la source.	Visibilité réduite lorsque le bras est à ± 30 cm (12") de la source de contamination.
La captation des fumées, des poussières et des gaz se fait entre la source et la zone respiratoire.	
Les articulations externes permettent un ajustement simple et facile d'accès.	

3 Système à bas volume, haute pression (BVHP)

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

La principale différence entre un système de bas ou de haut volume réside dans l'unité d'aspiration. Pour pouvoir réaliser une aspiration à haute pression (BVHP), il faut une unité d'aspiration plus puissante, une turbine capable de supporter de grandes pertes de charge. Pour évaluer les pertes de charge du système, il faut tenir compte de la longueur et du type de conduit, du nombre et de la forme des coudes ainsi que de la nature des embranchements entre les canalisations. Ce type de système peut faire réaliser des économies fort 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 du volume 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 pouces);
- microcapteurs intégrés dans un gabarit ou placés au choix à l'aide d'un aimant.

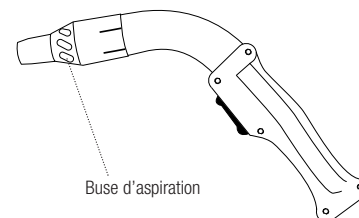


Figure 8.8 Pistolet à captation intégrée

Pistolet de soudage à captation intégrée

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

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

Le 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 conduit du gaz protecteur.

Avantages et désavantages

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

Le débit nécessaire pour la captation est plus faible que dans tous les autres systèmes de captation à la source. Par exemple, le débit peut varier entre 50 et 100 pcm (0,02 à 0,05 m³/s), selon le modèle de pistolet et selon 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 pour des systèmes avec des 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 les pistolets offerts par les différents fabricants. Il faut avoir à l'esprit que l'encombrement d'un pistolet volumineux peut gêner si le soudage se fait dans un coin. Il est donc important d'essayer différents modèles avant de faire un choix définitif.

Depuis deux ou trois ans, les fabricants ont amélioré de façon significative les pistolets à captation intégrée. Le tableau suivant présente ces principales améliorations.

Améliorations des pistolets à captation intégrée	
Flexibilité du faisceau	Le faisceau contenant les fils électriques, le conduit d'aspiration et le fil à souder est plus flexible.
Joint à rotule	Au joint entre les câbles et le pistolet se trouve une rotule, ce qui facilite la manipulation du faisceau, car la rotule évite de créer une torsion sur le faisceau.
Aucun ajustement de la buse	Les anciens modèles exigeaient un ajustement de la buse afin de permettre une meilleure captation. Cet ajustement est maintenant inutile et donc éliminé.
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 un coin sur une pièce de métal.

Conseils pour réussir l'implantation des pistolets à captation intégrée

1. Choix du pistolet à captation intégrée

Faire appel à différents fournisseurs afin de bien choisir le modèle du pistolet qui apporte le plus de confort lors du soudage. Certains fournisseurs sont disposés à prêter une unité mobile avec le pistolet correspondant. Pendant les essais, les soudeurs concernés devraient être consultés afin de faire connaître leurs impressions.

2. Choix de la turbine (unité d'aspiration)

Bien choisir la turbine qui correspond au pistolet. Chaque pistolet possède ses propres caractéristiques concernant la pression exercée à l'entrée ainsi que le débit requis. Une turbine trop puissante aspire les fumées mais aussi les gaz de protection tandis qu'une turbine trop faible ne peut fournir le débit requis aux orifices du pistolet pour capter les contaminants.

3. Recommandations du fabricant

Suivre les recommandations du fabricant pour la tuyauterie. Une différence minime du diamètre des conduites peut faire en sorte de diminuer grandement l'efficacité du pistolet. L'entretien nécessaire du système devra également être spécifié par le fabricant ou le fournisseur.

4. Justification des coûts

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

Les tableaux de la page suivante 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.

Études et recherches sur les pistolets à captation intégrée

1) Ventilation par extraction à la source : les pistolets MAG et MIG

IRSST, octobre 1990, Van Hiep Nguyen et Claude Létourneau.

En 1990, L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) a réalisé une étude sur l'efficacité d'extraction des pistolets de soudage du procédé GMAW. Au moment où l'étude a été produite, les pistolets de soudage pourvus d'une tête d'aspiration ne pouvaient capter que 40 à 80 % des fumées et des gaz de soudage, le reste étant dispersé dans le milieu de travail.

Depuis la sortie du rapport de l'IRSST, bien des améliorations ont été effectuées et, en général, les nouveaux produits peuvent avoir une efficacité d'environ 80 % (quantité approximative, car aucune étude n'a été réalisée depuis le rapport de l'IRSST en 1990). Les spécialistes du domaine s'accordent à dire que l'efficacité des pistolets avec captation à la source dépend en partie de l'habileté du soudeur à pouvoir contrôler celui-ci, d'où la nécessité d'une formation au moment de l'achat.

2) Impact de l'utilisation des pistolets de soudage pourvus d'une buse d'aspiration 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.

Cette étude avait pour but de déterminer les impacts de l'utilisation des pistolets de soudage pourvus d'une buse d'aspiration sur l'activité musculaire, la perception du soudeur ainsi que la qualité des assemblages soudés. Lors de l'étude, dix soudeurs ont expérimenté et comparé cinq pistolets de soudage: le AirMig, le Bernardair, le Binzelair (tous trois munis d'une buse d'aspiration intégrée), ainsi que le Bernard et le Binzel (sans buse d'aspiration).

Les principales conclusions du rapport sont présentées dans le tableau au bas de la page 105.

Analyse de coût pour 10 postes de soudage		
	Pistolet et système traditionnel	Pistolet avec captation intégrée
Bras Ø 20 cm (8") et ventilateur 10 x 2 000 \$ (8 000 pcm)	20 000 \$	
Pistolets et turbine 10 x 2 500 \$ (750 pcm)		25 000 \$
Coût annuel de chauffage	4 539 \$	425 \$
TOTAL 1^{ère} année	24 539 \$*	25 425 \$*
TOTAL après 3 ans	33 617 \$*	26 275 \$*

* coût d'entretien non pris en considération

Calcul du coût de chauffage*
Coût annuel = $0,154 \times Q \times dg \times T \times C/(q)$
où:
Q = débit d'air en pcm (pieds cubes par minute)
dg = degré annuel (<i>table de référence pour Albany, NY, USA</i>)
T = temps d'opération (en heures/semaine)
c = coût de combustion (\$/unité de chauffage pour le gaz)
q = chaleur disponible par unité de chauffage (<i>table de référence pour le gaz naturel avec appareil à feu direct</i>)
Bras de 20 cm (8")
Coût annuel = $0,154 \times 8\ 000 \text{ pcm} \times 8\ 364 \times 40 \text{ h/sem} \times 0,35 \text{ \$/m}^3 / (31\ 783 \text{ Btu/m}^3) = 4\ 539 \text{ \$}$
Pistolets à captation intégrée
Coût annuel = $0,154 \times 750 \text{ pcm} \times 8\ 364 \times 40 \text{ h/sem} \times 0,35 \text{ \$/m}^3 / (31\ 783 \text{ Btu/m}^3) = 425 \text{ \$}$

*Tiré de: *Industrial Ventilation*, ACGIH, 23^e édition, 1998.

Impacts de l'utilisation des pistolets à captation intégrée	
Paramètres évalués	Impacts
Position de soudage	Le soudage en position verticale et au plafond exige plus d'effort musculaire qu'en position horizontale et ce, pour tous les types de pistolets.
Maniabilité	Un certain modèle de pistolet avec captation intégrée a été jugé aussi maniable que les autres pistolets qui n'avaient pas de buse de captation.
Inconfort	Les deux facteurs qui influencent l'inconfort relié à l'utilisation des pistolets sont le type de pistolet et la position de soudage. Un certain modèle de pistolet avec captation intégrée a été jugé aussi confortable que les autres pistolets qui n'avaient pas de buse de captation.
Qualité de soudage	La position de soudage est le facteur qui influence le plus la qualité de la soudure tandis que le type de pistolet utilisé ne l'influence pas.
Appréciation globale	Certains modèles de pistolets avec captation intégrée ont obtenu une appréciation globale équivalente à celles des pistolets qui n'avaient pas de buse de captation.
Inconvénients	Les principaux inconvénients de l'utilisation d'un pistolet pourvu d'une buse d'aspiration sont imputables à: <ul style="list-style-type: none"> • un poids plus élevé (pistolet et faisceau); • la rigidité du faisceau; • l'influence de l'angle du col de cygne. <p>Toutefois un pistolet en particulier, pourtant pourvu d'une buse d'aspiration, a été fort apprécié en raison de sa légèreté, de sa poignée plus courte et de son faisceau plus flexible (ce qui le rend plus maniable).</p>

Bras de captation de petit diamètre

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

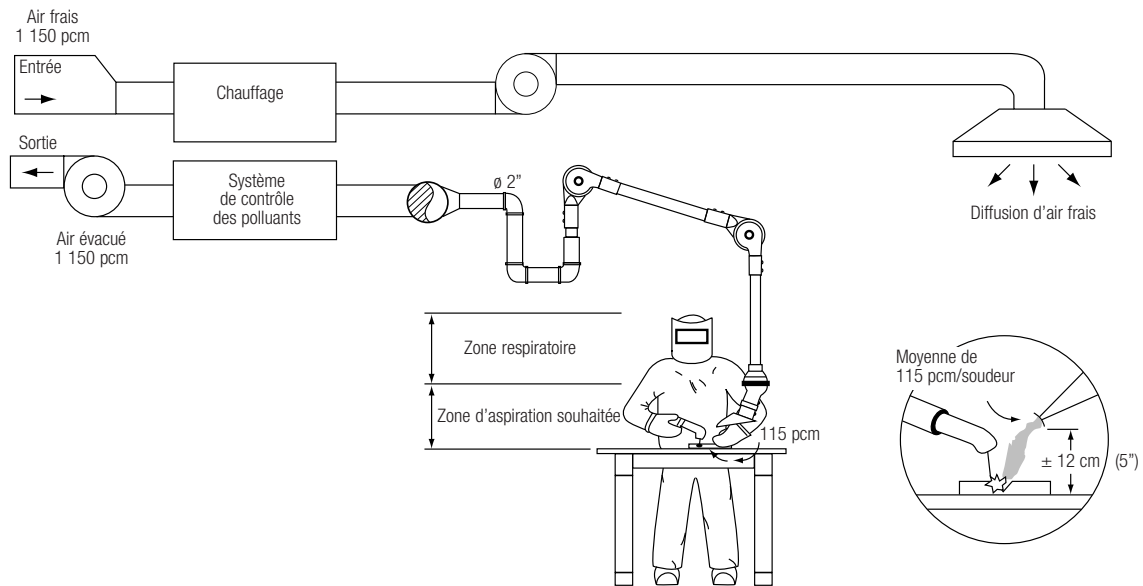


Figure 8.9 Bras de captation de 5 cm (2") de diamètre
Source: HENLEX

Bras de captation d'un diamètre de 5 cm (2")	
Avantages	Désavantages
Le positionnement du capteur est à ± 12 cm (5") de la source d'émission.	Demande une attention particulière pour le positionnement de la buse de captation afin d'obtenir une efficacité maximale.
Les fumées et les gaz sont captés entre la source d'émission et la zone respiratoire, donc il y a élimination de presque tous les risques d'inhalation de produits toxiques.	Ne convient pas vraiment pour le soudage de grandes pièces.
Si les articulations sont externes, celles-ci permettent un ajustement simple et facile d'accès. Les déplacements se font d'une seule main.	
Le débit d'air est d'environ 100 à 125 pi^3/min (0,05 à 0,06 m^3/s) selon la forme de la buse de captation.	

Microcapteurs intégrés au gabarit

Ces microcapteurs sont en fait des buses d'aspiration de petit diamètre qui sont 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 en fonction des points à souder. Ce type de système s'adapte bien à une production en série de pièces semblables devant être assemblées sur des positionneurs.

Microcapteurs intégrés au gabarit	
Avantages	Désavantages
Captation intégrée sans l'intervention du soudeur.	Plus de capteurs, donc un débit total supérieur par poste de travail.
Ne requièrent pas de pistolet spécial.	Installation permanente ou presque, inadéquate pour les productions flexibles.
Captent les fumées qui continuent à émaner après le soudage, notamment sur des pièces enduites d'huile ou de graisse.	

Table d'eau

Les tables d'eau sont surtout utilisées pour la coupe au plasma et au gaz. Ces tables 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 table de coupe. Les fumées ainsi soufflées par le jet de coupe sont dirigées dans le bassin d'eau qui retient les particules. En plus d'une très grande efficacité de captation et d'absorption des fumées, le coût d'opération est minime vu l'absence de ventilation d'extraction.

Évidemment, il faut respecter certaines procédures pour nettoyer le réservoir et jeter les métaux qui sont accumulés 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 l'entretien du bassin est fait 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, il existe un certain risque d'ignition, qui pourrait créer une boule de feu. 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 entre 45 et 50 cm (18 et 20 pouces) de profondeur. La hauteur du niveau d'eau doit se rapprocher de 5 à 10 cm (2 à 4 pouces) de la zone de coupe. Lors de la conception du bassin, il ne faut pas oublier d'évaluer la structure de ce dernier pour qu'il soit en mesure de supporter le poids de l'eau. Par exemple, une table de 1,5 mètre (5 pieds) de large sur 3,7 mètres (12 pieds) de long peut contenir un volume d'eau de 2 800 litres (100 pi³ ou 750 gallons) qui pèse près de 2 800 kg (6 200 lbs), soit près de 3 tonnes.

Unité mobile de filtration

Il existe des unités mobiles de filtration des fumées de soudage. Ces unités 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 la capacité des unités filtrantes est faible et requiert 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 d'utiliser un filtre au charbon activé.

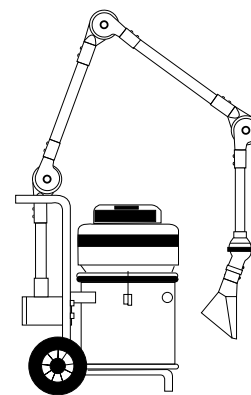


Figure 8.10 Unité mobile de filtration
Source: HENLEX

3 Filtration des fumées et des gaz

Il est très important de capter les fumées et les gaz avant qu'ils ne parviennent dans la zone respiratoire des travailleurs. Une fois qu'ils sont 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 la qualité de l'atmosphère stipule que les activités qui touchent toute opération de soudure ou de travail des métaux ne peuvent émettre dans l'atmosphère (à la sortie de la cheminée d'évacuation) une concentration supérieure à 50 mg/m³ (milligrammes par mètre cube), aux conditions normalisées.

Dans tous les cas, il est préférable de communiquer avec les autorités responsables (Communauté urbaine de Montréal ou ministère de l'Environnement) afin d'obtenir un permis d'installation et vérifier les exigences en matière de filtration.

Types de filtres

Il existe différents types de systèmes de filtration en fonction de la nature, de la forme et de la taille des polluants. 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.

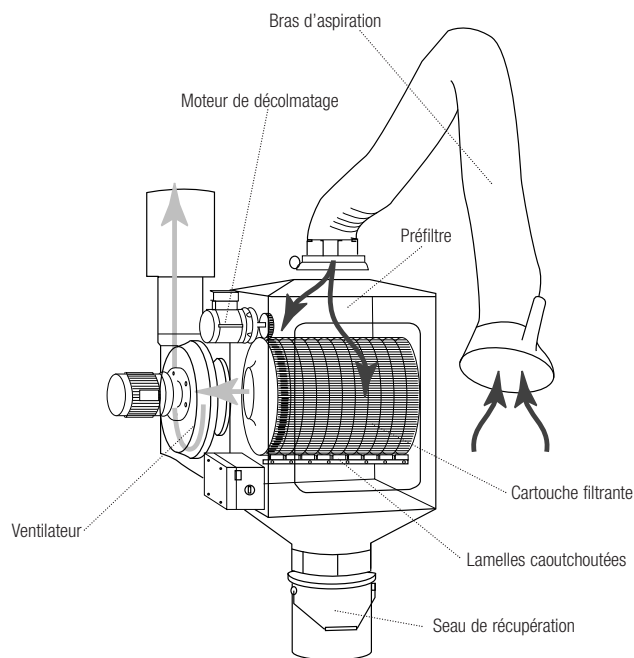


Figure 8.11 Système de filtration à cartouche

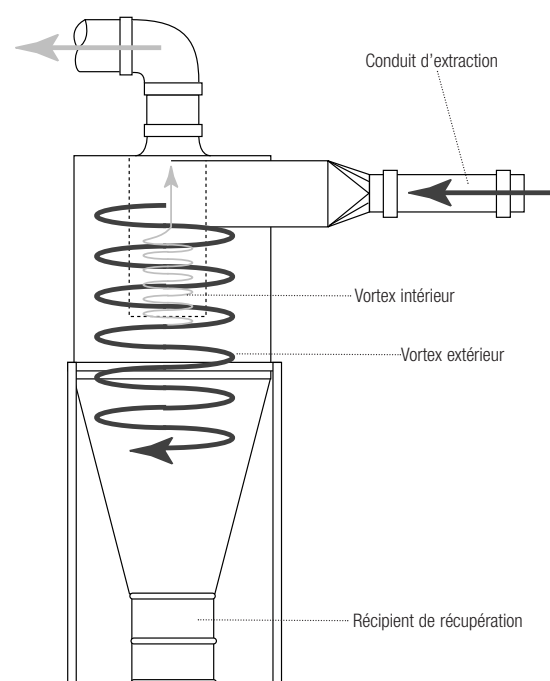


Figure 8.12 Dépoussiéreur centrifuge ou cyclone

Types d'appareils de filtration et informations particulières

Types d'appareils	Types de polluants	Informations
Dépoussiéreur centrifuge ou cyclone	Particules	Surtout utilisé pour les grosses particules (> 50 microns). L'efficacité est de 85 à 90 %. Quelques fournisseurs offrent ce système pour les fumées de soudage mais celui-ci n'enlève que les plus grosses particules et les fumées sont évacuées à l'extérieur de l'usine. L'efficacité est constante et le cyclone ne requiert aucun nettoyage. Exemples d'application: copeaux de bois, brins de scie, retailles de papier, etc.
Dépoussiéreur à sac filtrant	Particules	Les poussières qui ont tendance à se colmater ne devraient pas être utilisées avec ce système. L'efficacité est de 97,5 % à 2 microns et peut être décroissante sur une période de \pm 2 ans. Un entretien est requis: une vidange au besoin, le nettoyage des sacs filtrants, etc. Exemples d'application: procédés de caoutchouc, de céramique, etc.
Dépoussiéreur hydraulique	Particules	La capture des particules s'effectue à l'aide de gouttelettes d'eau. Utilisé surtout pour des particules combustibles ou inflammables. L'eau doit cependant être traitée de façon adéquate.
Dépoussiéreur à cartouche	Particules	Beaucoup utilisé pour la filtration des fumées de soudage. L'efficacité est d'environ 99,97 % à 0,5 micron. Les cartouches sont formées de tissus en fibres cellulosiques et en composantes synthétiques traitées chimiquement. Celles-ci sont nettoyées continuellement par un jet d'air. Le système requiert une maintenance telle que le changement des cartouches au besoin. L'air est admis par l'extérieur de la cartouche et est aspiré vers son centre. Un gâteau se forme et l'efficacité augmente. Un jet d'air pousse les poussières vers le bas. Exemples d'application: particules fines non abrasives telles que les fumées de soudage, les poussières de céramique et de produits chimiques, etc.
Filtre électrostatique	Certains types de brouillards Particules non conductives	À ÉVITER POUR LES APPLICATIONS DE SOUDAGE, car les fumées métalliques sont des particules conductives. Les filtres électrostatiques étaient utilisés par une grande majorité d'utilisateurs d'unités de filtration. Toutefois, leur coût de maintenance élevé et leur fonctionnement « tout ou rien » les désavantagent. Le principe de fonctionnement est l'ionisation. Les fumées sont chargées négativement et sont attirées sur la partie positive d'un champ magnétique. Un filtre haute efficacité peut également améliorer le résultat. Utilisation bien connue pour les brouillards d'huile. 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), soit nulle.
Épurateur par absorption	Gaz Liquide Brouillard	On fait barboter l'air à filtrer dans un liquide qui absorbe les gaz et les particules. L'efficacité est de \pm 99 %. Exemples d'application: solvants, vapeurs toxiques, etc.
Épurateur par adsorption	Certains types de gaz	Une surface solide adsorbante telle que le charbon actif et l'alumine recouverte d'un oxydant chimique peut être utilisée afin d'épurer l'air de certains gaz. On peut utiliser ce principe pour filtrer certains gaz de soudage. L'efficacité et la longévité de l'épurateur varient selon le modèle et l'application.



chapitre 9



Contenu

- 1 Travail dans un espace confiné
- 2 Travail sur un contenant ayant renfermé des produits dangereux
- 3 Permis pour le travail à chaud

Les procédures

de travail particulières

1 Travail dans un espace confiné

Les espaces confinés augmentent le risque de contamination par les gaz et les fumées de soudage, car ceux-ci ne peuvent pas s'évacuer par eux-mêmes puisque ces endroits confinés sont souvent mal ventilés ou possèdent déjà des produits toxiques sur leurs parois.

Définition

Un espace confiné est un espace totalement ou partiellement fermé:

1. qui n'est pas conçu pour être occupé par des personnes, mais qui à l'occasion peut être occupé pour l'exécution d'un travail;
2. qui n'a qu'une voie restreinte d'entrée et de sortie;
3. qui peut présenter des risques pour la santé et la sécurité de quiconque y pénètre:
 - a) soit à cause de sa conception, de sa construction ou de son emplacement;
 - b) soit à cause de son atmosphère ou de l'insuffisance de ventilation naturelle ou mécanique;
 - c) soit à cause des matières ou des substances qu'il contient;
 - d) soit à cause d'autres dangers qui y sont présents.

Exemples

Les espaces confinés comprennent par exemple: les fosses, les réservoirs, les silos, les tunnels, les compartiments de bateau qui ne sont pas ventilés, les espaces de stockage de petite ou de grande capacité, les camions-citernes, les chambres, les tuyaux, les cheminées, les dépoussiéreurs ou tout autre espace non conçu pour être occupé par des personnes.

Règles de sécurité

Ventilation et qualité de l'air dans les espaces confinés

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

1. respecter les normes en matière de concentration de fumées, gaz et poussières (exemples: monoxyde de carbone, bioxyde d'azote, etc.);
2. ne pas dépasser une concentration de gaz explosifs égale à 10 % de la LIE (LIE = limite inférieure d'explosivité);
3. respecter un niveau normal d'oxygène, c'est-à-dire entre

19,5 % et 23 %. Il ne faut jamais utiliser d'oxygène ou d'autres mélanges pour ventiler un espace confiné; seul l'air doit être utilisé.

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.

Procédés oxygaz

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

La flamme doit être allumée et réglée, puis éteinte à l'extérieur des espaces confinés afin d'éviter toute accumulation de gaz inflammables dans l'atmosphère confinée.

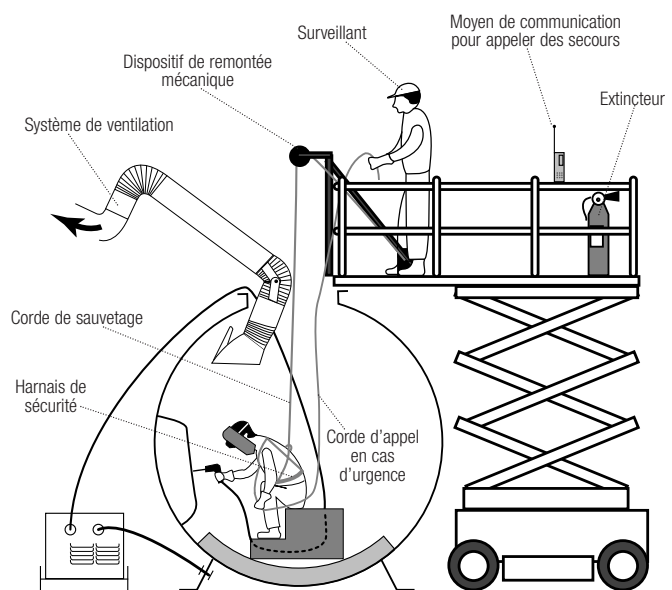


Figure 9.1 Soudage dans un espace confiné

Procédure d'entrée dans un espace confiné

Objectifs

L'objectif d'une procédure générale de travail en espace confiné est de fournir aux travailleurs un espace de travail sain et sécuritaire. Cette procédure vise à :

- prévoir un moyen d'accès et de sortie convenable;
- s'assurer, avant de commencer le travail, que l'air ambiant n'est pas dangereux et qu'il le reste pendant le travail;
- s'assurer que le travailleur est protégé par un respirateur adéquat quand c'est nécessaire;
- prévoir un plan de surveillance, de contrôle et d'intervention en cas d'urgence.

Procédure générale

Avant qu'un soudeur n'entre dans un espace confiné pour y effectuer du soudage, du coupage ou toute autre opération connexe, il faut appliquer les règles minimales qui suivent :

- Obtenir une autorisation avant d'accéder à l'espace confiné.
- Enlever toutes les matières dangereuses ou inflammables (solides ou liquides). Se référer à la procédure de nettoyage décrite à la page suivante.
- Évacuer les fumées, les gaz et les poussières qui auraient pu s'y trouver, par une bonne ventilation.
- Échantillonner l'air avant d'entrer ainsi que pendant toute la période des travaux. Un détecteur de gaz à lecture directe devrait être utilisé pour s'assurer du niveau constant d'oxygène et pour déceler la présence de gaz explosifs, de monoxyde de carbone ou d'autres produits pouvant être émis lors des travaux.
- Ventiler adéquatement l'espace afin d'assurer la sécurité des travailleurs. Si la concentration des gaz explosifs est trop élevée, il faut ventiler davantage ou procéder à un nettoyage en règle de façon à respecter les critères pour une qualité d'air adéquate.
- Toute source d'énergie pouvant présenter un risque doit être débranchée, coupée, purgée ou verrouillée selon le cas.
- Assurer une surveillance devant l'entrée de l'espace confiné pour appeler de l'aide au cas où il y aurait une urgence.
- Garder à l'extérieur les bouteilles de gaz comprimé et les sources de courant.
- Amarrer le matériel portable afin d'éviter tout mouvement accidentel lors du soudage.

Moyens de sortie

Si l'ouverture est restreinte, les précautions suivantes s'ajoutent à celles qui ont déjà été mentionnées :

- Porter un harnais ou un autre équipement analogue de type approuvé, solidement attaché à une corde de sécurité. Le dispositif ne doit pas risquer de coincer le corps de la personne au cours d'une éventuelle procédure de sauvetage.
- Être capable de tirer sur une corde de sécurité attachée à la personne qui assure la sécurité à l'entrée de l'espace confiné afin de l'avertir d'un éventuel besoin d'aide.
- Venir en aide au collègue en difficulté seulement lorsqu'une autre personne peut remplacer le gardien et que les secours sont appelés.

Exemple de permis d'entrée dans un espace confiné

Voici un exemple de permis d'entrée qui pourrait être émis en trois copies: une au travailleur signataire, une au représentant de l'employeur signataire et l'autre affichée près de l'entrée de l'espace confiné.

ESPACE CONFINÉ	Numéro de permis: _____
Description	
Endroit: _____	
Travail à faire: _____	
Risques spécifiques: _____	
Vérifications	
1. Installation de moyens de sortie	<input type="checkbox"/>
2. Préparation de l'espace clos:	
vidé entièrement	<input type="checkbox"/>
nettoyé	<input type="checkbox"/>
ventilé préalablement	<input type="checkbox"/>
3. Verrouillage et isolation des sources d'énergie	<input type="checkbox"/>
4. Ventilation en opération	<input type="checkbox"/>
5. Tests et mesures	
oxygène entre 19,5 et 23 %	<input type="checkbox"/>
gaz inflammables < 10 % LIE	<input type="checkbox"/>
matières toxiques	<input type="checkbox"/>
6. Équipement de protection individuelle	
respirateur autonome ou à adduction d'air	<input type="checkbox"/>
ceinture ou harnais attaché à un cordage	<input type="checkbox"/>
7. Outils autorisés:	<input type="checkbox"/>
.....	<input type="checkbox"/>
8. Présence d'un surveillant qualifié	<input type="checkbox"/>
9. Qualification des travailleurs:	
procédures de travail	<input type="checkbox"/>
procédures d'urgence	<input type="checkbox"/>
10. Procédures d'urgence:	
Équipe d'urgence informée	<input type="checkbox"/>
Équipements disponibles	<input type="checkbox"/>
Validité:	
Pour la période continue de _____	
Signatures:	
Représentant de l'employeur _____	
Travailleurs: _____	

Travail sur un contenant ayant renfermé des produits dangereux

Tout comme le travail dans des espaces confinés, ce genre de travail représente des risques supplémentaires pour la santé et la sécurité par rapport au travail régulier en soudure. Le travail à chaud sur des contenants ou des réservoirs renfermant ou ayant renfermé une substance inflammable telle que l'essence représente en effet des risques élevés.

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 représenter tout de même un danger important. En effet, la soudure sur des réservoirs ou des contenants recouverts d'un enduit pouvant être toxique ou inflammable doit également être réalisée avec précaution.

Règles de sécurité

Avant d'effectuer des travaux de soudage-coupage sur les réservoirs et contenants, il faut respecter les étapes suivantes afin d'effectuer le travail en toute sécurité.

Nature des substances

- La substance entreposée à l'intérieur du contenant ou du réservoir doit être connue. Sa fiche signalétique doit être obtenue afin de permettre la sélection des mesures de sécurité appropriées. Il est également essentiel de bien connaître la configuration interne du contenant afin d'identifier les zones où le nettoyage pourrait être difficile ou même impossible.

Préparation du nettoyage

- Le réservoir doit être transporté à l'extérieur si possible. Si le nettoyage du réservoir doit absolument être fait à l'intérieur, il faut prévoir une ventilation adéquate pour évacuer efficacement les vapeurs dangereuses en toute sécurité.
- Durant le nettoyage, on doit utiliser un équipement de protection individuelle approprié à la substance dangereuse.
- La technique de nettoyage doit être choisie en fonction des propriétés des substances à déloger ainsi que des risques qu'elle représente.

Méthodes de nettoyage

- *Le nettoyage à l'eau* : on peut utiliser cette technique lorsque la substance dangereuse est soluble dans l'eau.

Dans ce cas, on peut facilement enlever le résidu en remplissant complètement le contenant ou le réservoir d'eau. Par exemple, des réservoirs contenant des acides ou des substances alcalines peuvent être efficacement nettoyés de cette façon.

- *Le nettoyage avec agent chimique* : cette méthode utilise habituellement comme agent chimique un composé tel que le phosphate de sodium tribasique ou un autre agent basique dissous dans de l'eau chaude. En utilisant cette méthode, il faut évidemment prévoir des équipements de protection adéquats pour le travail avec des substances basiques.
- *Le nettoyage à la vapeur* : cette technique consiste à utiliser de la vapeur à basse pression pour déloger les matières dangereuses de la surface du contenant. L'utilisation d'équipements de protection appropriés est également essentielle pour protéger de la vapeur le responsable de l'opération de nettoyage.
- *Le nettoyage mécanique* : le nettoyage mécanique consiste à gratter la surface du contenant à l'aide d'un outil quelconque afin de déloger les matières dangereuses.

D'autres techniques de nettoyage peuvent être utilisées, selon le type de produit présent. Le fabricant du produit contenu dans le réservoir peut également contribuer à trouver la méthode de nettoyage la plus efficace et la moins coûteuse.

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 afin de déterminer si le niveau de vapeur et de gaz est suffisamment bas. Si le niveau de vapeur est encore trop élevé, il faut recommencer les étapes de nettoyage. Des tests doivent également être réalisés immédiatement au début des opérations de soudure et périodiquement durant les travaux.

Utilisation de gaz inerte

Dans le cas où il est impossible d'enlever l'ensemble des substances dangereuses, on peut recourir à une purge de l'oxygène à l'intérieur du contenant en le remplissant d'un gaz

inerte. Cette procédure est tout indiquée dans les cas où les matières dangereuses sont des produits pouvant s'enflammer ou exploser.

Quand on envisage le remplissage du 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 ouvertures de remplissage du gaz et de sortie à l'air libre (vent).
- Il faut remplir le réservoir ou le contenant de gaz inerte par le bas avec un tuyau approprié. Toutes les pièces métalliques de l'équipement de remplissage doivent être reliées au réservoir par continuité des masses (fil de mise à la terre).
- Quand on emploie du dioxyde de carbone (CO₂), 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 CO₂ mais bien des bouteilles de gaz munies d'un manodétendeur.
- Il faut maintenir le débit de gaz inerte durant l'exécution des travaux de soudure.

- Il faut faire des tests au commencement des travaux et régulièrement pendant ceux-ci afin de vérifier la concentration d'oxygène à l'intérieur du réservoir. Cette concentration doit être très près de zéro.

Utilisation d'eau ou de sable

Il est également possible de remplir le réservoir ou le contenant avec de l'eau ou du sable à la place d'un gaz inerte. Dans ce cas, le contenant doit être rempli de manière à ce que le niveau d'eau ou de sable soit à quelques centimètres seulement du point de soudure. Le haut de la surface de l'eau ou du sable doit être ventilé efficacement pour éviter l'accumulation de vapeur inflammable.

Ouvrages de référence

Pour plus d'information, on peut consulter les normes suivantes: « *Recommended Safe Practices for the Preparation for Welding and Cutting of Containers that have Held Hazardous Substances* » (ANSI/AWS F4.1-88); « *Control of Gas Hazards on Vessels to be Repaired* » (NFPA 306); « *Cleaning or Safeguarding Small Tank and Containers* » (NFPA 327).

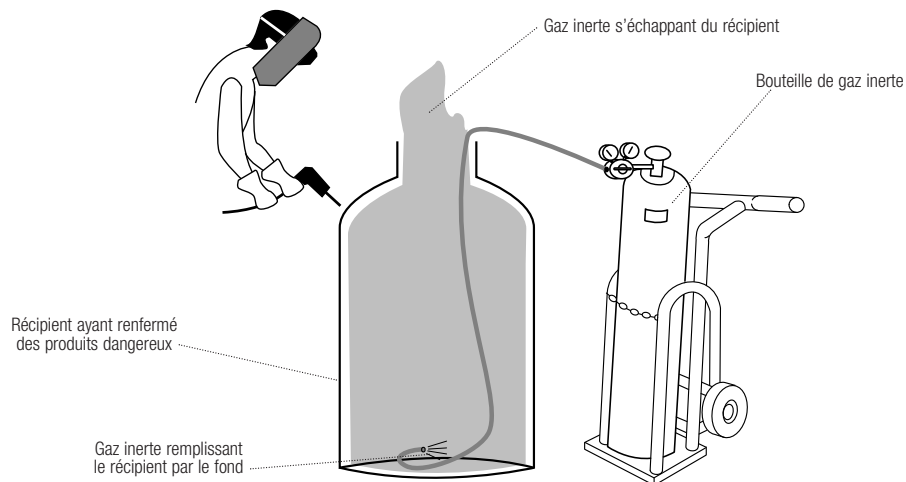


Figure 9.2 Remplissage d'un contenant avec un gaz inerte

3 Permis pour le travail à chaud

Le travail à chaud est l'une des principales causes des incendies et des explosions qui surviennent chaque année dans le milieu industriel. Il n'y a cependant aucune excuse à 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 responsabilités qui s'imposent lors du travail à chaud exécuté par les travailleurs de l'usine ou des sous-traitants.

Objectifs du permis

L'implantation, dans une entreprise, d'un permis pour le travail à chaud a comme objectif de diminuer les risques d'accidents et d'incendies en contrôlant efficacement les dangers reliés aux travaux spéciaux qui produisent de la chaleur, des flammes nues ou des étincelles. Parmi les travaux à chaud les plus fréquents, on note le soudage, le coupage, le meulage, le brasage, le dégel de tuyaux et l'application de revêtement de toiture à la torche.

Le soudage ou le coupage réalisé à des postes spécialement aménagés à cette fin ne requiert pas une analyse de risque chaque fois que du travail à chaud est effectué puisque, si l'aménagement du poste de travail a été fait adéquatement, la plupart des dangers sont contrôlés en permanence. Par contre, lorsque des travaux itinérants sont effectués ailleurs dans l'usine, il est nécessaire d'analyser en profondeur la zone de travail pour être en mesure de déceler des dangers et, par la suite, de prendre des mesures adéquates afin de rendre la zone sécuritaire avant le début des opérations.

Afin de s'assurer que l'analyse des risques faite avant le début des travaux est adéquate, il est souhaitable d'instaurer un système de permis de travail à chaud. Ce type de procédure offre également l'avantage d'obliger tous les entrepreneurs externes engagés par l'entreprise à faire également la demande d'un permis de travail à chaud. Ce système de contrôle des risques permet donc de protéger le personnel de l'entreprise, les entrepreneurs et également les biens matériels.

Politique d'entreprise

Une politique écrite et appliquée concernant le travail à chaud est essentielle. Elle doit souligner l'importance accordée à ce type de travaux et aux mesures de sécurité à prendre. Cette politique pourrait énumérer les règles de base à suivre ainsi que les lieux désignés où devraient s'exécuter de tels travaux normalement. La politique doit être claire et elle doit identifier les responsables de son application, surtout en ce qui concerne les entrepreneurs. On devrait toujours s'assurer que ces

derniers comprennent cette politique et y adhèrent, avant même le début des travaux.

Application de la procédure

Le système de permis pour le travail à chaud permet de s'assurer que l'environnement où les travaux de soudure sont réalisés est sécuritaire. Les éléments suivants doivent notamment être vérifiés :

Produits dangereux

- La présence éventuelle de produits dangereux à proximité : par exemple, de liquides inflammables, de gaz comprimés, de solides inflammables, de matières comburantes ou de matières corrosives.
- L'enlèvement des produits combustibles comme le papier, le bois, les fibres textiles, etc. Ces produits combustibles doivent être retirés dans un rayon de 15 mètres (50 pieds) de la zone de travail. Si on ne peut déplacer les matières combustible, on peut les recouvrir par un écran résistant au feu fabriqué de matière incombustible (toile ignifuge, métal, etc.).
- Le recouvrement des fentes et de toutes les autres ouvertures où peuvent s'infiltrer des étincelles dans un rayon de 11 mètres (35 pieds).

Murs, plafond et plancher

- Lorsque le soudage ou le coupage est effectué près de murs, de cloisons, d'un plancher ou d'un plafond en matière combustible, des écrans ignifuges doivent être présents pour empêcher l'inflammation de ces surfaces.
- Si le travail doit être effectué sur un mur, une cloison, un plancher ou un plafond en métal, des précautions doivent être prises afin de prévenir l'allumage par conduction d'un incendie de l'autre côté de la surface. Il est préférable de déplacer les matières combustibles situées de l'autre côté. Si cela est impossible, une personne doit être chargée de surveiller le côté opposé des travaux dans le but de détecter un éventuel début d'incendie.

- Les mêmes précautions doivent être prises pour la soudure et le coupage de tout autre métal conducteur près de substances combustibles.

Visite préalable

Ces vérifications doivent être faites par une personne ayant de bonnes connaissances des risques engendrés par le travail à chaud. Habituellement, elles peuvent être faites par le superviseur des travaux ou le responsable de la santé et de la sécurité de l'entreprise. Le soudeur doit accompagner cette personne lors de son inspection sur les lieux où se dérouleront les travaux.

Un nouveau permis doit être émis si la nature des tâches décrites dans la section « description des travaux » est modifiée. Cette dernière mesure permet d'adapter les précautions à prendre en cas de changement de type de travail (exemple: changement de procédé de soudage, modification de l'emplacement, etc.).

Visite après les travaux

Une visite des lieux de travail 30 minutes après la fin des travaux permet de détecter un éventuel incendie latent. Après cette visite des lieux, les périmètres de sécurité peuvent être retirés.

Permis

Quand il s'est assuré que le travail est sécuritaire, le responsable de l'entreprise peut émettre un permis afin d'autoriser les travaux. Une fois le permis dûment rempli, il devrait être affiché à un endroit visible à proximité de la zone de travail. Si les travaux doivent se poursuivre sur un autre quart de travail, un autre permis devrait être émis. Il ne faut pas oublier de réaliser l'inspection finale après les travaux avant de retirer le permis de la zone de travail.

PERMIS DE TRAVAIL À CHAUD	
Endroit:	_____
Description des travaux	
Travail à faire:	_____
Procédé utilisé:	_____
Soudage	<input type="checkbox"/>
Coupage	<input type="checkbox"/>
Meulage	<input type="checkbox"/>
Flamme nue	<input type="checkbox"/>
Appareil à combustion	<input type="checkbox"/>
Vérifications avant les travaux:	
1. Extincteur portatif visible et accessible	<input type="checkbox"/>
2. Surveillant d'incendie nécessaire ?	<input type="checkbox"/>
si oui, nom du surveillant: _____	
3. Zone libre de matières inflammables et combustibles	<input type="checkbox"/>
4. Périmètre de sécurité délimité	<input type="checkbox"/>
5. Alarme d'incendie accessible	<input type="checkbox"/>
6. Ouvertures dans les murs protégées	<input type="checkbox"/>
7. Ouvertures dans le plancher protégées	<input type="checkbox"/>
8. Accumulation de poussières enlevée	<input type="checkbox"/>
9. Écrans de protection requis	<input type="checkbox"/>
10. Test de vérification avec explosimètre nécessaire ?	<input type="checkbox"/>
si oui, résultat: _____ %	
11. Autres mesures de sécurité à prendre: _____	

Permis demandé par:	nom: _____
poste: _____	compagnie: _____
Permis délivré par:	nom: _____
date d'émission: _____	heure: _____
date d'expiration: _____	heure: _____
Inspection finale (30 minutes après les travaux)	
zone de travail inspectée	<input type="checkbox"/>
nom: _____	

bibliographie

AMERICAN INDUSTRIAL HYGIENE ASSOCIATION JOURNAL, *Personnal ultraviolet radiation exposure of workers in a welding environment*, 58:33-38 (1997), pages 33 à 38.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION, *Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes*, W117.2-94, Association canadienne de normalisation, 1994, 95 pages.

ASP CONSTRUCTION, *Guide de prévention – soudage et coupage*, Montréal, 1995, 107 pages.

BILODEAU André, Desnoyers Luc et Pelletier Raymonde, *Gaz poussières fumées vapeurs, l'aspiration à la source* été 1984, 32 pages

CENTRE CANADIEN D'HYGIÈNE ET DE SÉCURITÉ AU TRAVAIL, *Réduction de l'exposition aux émanations de soudage*, P85-7F, 1985, 13 pages.

CENTRE DE RECHERCHE DE VEREPPE, Rapport technique no 3574 de Pechiney, France, *Fondeurs sous haute protection*, mai 1995

CHAKOUR, Roger, *Soudage à l'arc électrique*, Le Centre d'élaboration des moyens d'enseignement du Québec, édition expérimentale, août 1995, 200 pages.

DESMARAIS, Jean-François, *Risques d'électrocution lors du soudage à l'arc électrique*, Colloque de l'ASP construction, Montréal, novembre 1994, 42 pages.

DION, René, *Soudage des différents métaux à l'arc électrique M.I.G. et par points*, Le Centre d'élaboration des moyens d'enseignement du Québec, édition expérimentale, décembre 1994, 180 pages.

DION, René, *Soudage et coupage des métaux à l'oxyacétylénique et au plasma*, Le Centre d'élaboration des moyens d'enseignement du Québec, édition expérimentale, septembre 1994, 200 pages.

FRICKER, SEAR, TUTTLE, *Le soudage – méthodes et pratiques courantes*, Montréal, Guérin, 1989, 372 pages.

IAPA (Industrial accident prevention association), *Safety and health in welding*, Ontario, 1989, 43 pages.

INSTITUT INTERNATIONAL DE LA SOUDURE, *Manuel sur l'hygiène et la sécurité dans le soudage et les techniques connexes*, publications de la soudure autogène, Paris, 1980, 98 p.

INSTITUT DE SOUDAGE DU CANADA, *Hygiène et sécurité en soudage, module 1*, 1992, 110 pages.

INSTITUT DE SOUDAGE DU CANADA, *Santé et sécurité en soudage, module 1*, 1987, 53 pages.

IRSST (Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec), *Rapport technique sur le masque Speedglas*, Montréal, janvier 1989, 18 pages.

MÉNARD, Luc, *Connaissance des procédés, des contaminants et des méthodes d'évaluation dans les travaux de soudage*, colloque sur la santé et sécurité dans les travaux de soudage, Jonquière 1992, 13 pages.

MORRISON, T., *Big Danger in Small space*, Plant Engineering and Maintenance, février/mars 1995, pages 20-24.

OFFICE DE LA LANGUE FRANÇAISE, *Petit lexique du soudage*, 1974, 47 pages

PRÉVENTION AU TRAVAIL, Montréal, Direction des communications de la Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec, vol. 6, no2, mars-avril 1993.

3M CANADA INC., *Les risques invisibles*.

normes

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION, *Règles de sécurité en soudage, coupage et procédés connexes*, CSA W117.2-94..

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION, *Code canadien de l'électricité*, première partie, CSA C22.1-1990.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION, *Équipement de soudage à l'arc*, CSA C22.2 #60-M1990.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION, *Protecteurs oculaires et faciaux pour l'industrie*, CSA Z94.3-M88.

ASSOCIATION CANADIENNE DE NORMALISATION, *Choix, entretien et utilisation des appareils respiratoires*, CSA Z94.4-93.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, *Safe Use of Lasers*, ANSI Z136.1-1986.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE, *Safety in Welding and Cutting*, ANSI Z49.1.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE/AMERICAN WELDING SOCIETY, *Recommended Safe Practices for the Preparation for Welding and Cutting of Containers that have Held Hazardous Substances*, ANSI/AWS F4.1-88.

COMPRESSED GAS ASSOCIATION, *Standard Connections for Regular Outlets, Torches and Fitted Hose for Welding and Cutting Equipment*, CGA E-1-1992.

COMPRESSED GAS ASSOCIATION, *Hose Line Check Valve Standards for Welding and Cutting*, CGA E-2-1992.

COMPRESSED GAS ASSOCIATION, *Safe Handling of Compressed Gases in Containers*, CGA P-1.

CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES CANADA, *Code national de prévention des incendies-Canada* 1995.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, *Règlement sur la qualité du milieu de travail*, S-2.1, r.15, 1994.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, *Règlement sur les établissements industriels et commerciaux*, S-2.1, r.9, 1987.

GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, *Règlement sur la qualité de l'atmosphère*, Q-2, r.20, 1996.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, *Fire Prevention in Use of Cutting and Welding Processes*, NFPA 51B-1989.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, *Oxygen-Fuel Gas Systems for Welding and Cutting*, NFPA 51-1992.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, *Control of Gas Hazards on Vessels to be Repaired*, NFPA 306.

NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION, *Cleaning or Safeguarding Small Tank and Containers*, NFPA 327.

NORME EUROPÉENNE, *Sécurité des appareils à laser*, NF EN 60825-1.