

Département de santé communautaire
Territoire de Maisonneuve-Rosemont

T
55.3
.R3
F864
1988



INSPO - Montréal

3 5567 00003 8544

DEPARTEMENT DE SANTE COMMUNAUTAIRE
DE L'HOPITAL MAISONNEUVE-ROSEMONT

**FUMES DE SOUDAGE:
FACTEURS CONTRIBUTIFS
ET MOYENS DE CONTROLE**

Monique Beausoleil, D.S.C. Maisonneuve-Rosemont

Lucille Binette, D.S.C. Maisonneuve-Rosemont

André Chabot, D.S.C. Maisonneuve-Rosemont

Mario Côté, C.L.S.C. Rivière-des-Prairies

Alain Deschamps, D.S.C. Maisonneuve-Rosemont

Carole Larose, D.S.C. Maisonneuve-Rosemont

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC
CENTRE DE DOCUMENTATION
MONTRÉAL

Juin 1988

TABLE DES MATIÈRES

	<u>Page</u>
Liste des tableaux	iv
Liste des figures	vi
INTRODUCTION	1
Chapitre I - DESCRIPTION DE DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE SOUDAGE	2
Introduction	2
1.1 Soudage à l'arc avec électrode enrobée	5
1.2 Soudage à l'arc sous protection gazeuse	7
1.2.1 Soudage à l'arc sous gaz inerte avec électrode réfractaire	7
1.2.2 Soudage à l'arc sous protection gazeuse avec électrode fusible	10
1.3 Soudage à l'arc avec fil fourré	12
1.4 Soudage sous flux en poudre	15
1.5 Soudage/coupage à l'arc par jet de plasma	17
1.6 Soudage par résistance	18
1.7 Soudage/coupage thermique aux gaz	20
Chapitre II - INFLUENCE DES PARAMÈTRES DE BASE SUR LE TYPE ET LA QUALITÉ D'ÉMISSION DES POLLUANTS	23
Introduction	23
2.1 Paramètres physiques reliés aux conditions de soudage	23
2.1.1 Influence de la polarité et du type de courant	23
2.1.2 Influence de l'intensité du courant de soudage et de la vitesse de soudage	25
2.1.3 Influence de la tension et de la longueur d'arc	30
2.1.4 Influence de la densité de courant	33
2.1.5 Influence de la puissance fournie	33
2.1.6 Influence de l'inclinaison de l'électrode	33
2.1.7 Influence de la position de soudage	34
2.1.8 Influence de la méthode de transfert	36

TABLE DES MATIÈRES (Suite)

	<u>Page</u>
2.2 Classification et condition des électrodes	39
2.2.1 Divers codes employés	39
2.2.1.1 Electrodes pour acier doux	39
2.2.1.2 Electrodes pour aciers faiblement alliés	41
2.2.1.3 Electrodes pour acier inoxydable	42
2.2.1.4 Electrodes pour le soudage à l'arc avec fil fourré	43
2.2.1.5 Electrodes pour le soudage sous protection gazeuse	44
2.2.1.6 Electrodes pour le soudage à l'arc submergé ..	44
2.2.1.7 Note finale sur les divers codes employés	45
2.2.2 Enrobages d'électrodes	45
2.2.2.1 Utilités des enrobages	45
2.2.2.2 Divers types d'enrobages rencontrés	46
2.2.2.3 Quelques grands principes et/ou caractéristiques	47
2.2.2.4 Détail des composants et exemples	47
2.3 Classification et conditions des métaux à souder	51
2.3.1 Classification des métaux	51
2.3.2 Influence du métal soudé et des dimensions de la pièce	52
2.3.3 Condition de la surface	52
 Chapitre III - CONTAMINANTS DÉGAGÉS LORS DES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE SOUDAGE	57
Introduction	57
3.1 Contaminants dégagés lors du soudage à l'arc avec électrode enrobée	58
3.2 Contaminants dégagés lors du soudage à l'arc sous protection gazeuse - TIG	60
3.3 Contaminants dégagés lors du soudage à l'arc sous protection gazeuse - MIG-MAG	62
3.4 Contaminants dégagés lors du soudage avec fil fourré	64
3.5 Contaminants dégagés lors du soudage/coupage au plasma	65
3.6 Contaminants dégagés lors du soudage par résistance	65

TABLE DES MATIÈRES (Suite)

	<u>Page</u>
Chapitre IV - CONTRÔLE DES RISQUES	66
Introduction	66
4.1 Ventilation générale	67
4.2 Ventilation locale	69
4.2.1 Ventilation par soufflerie	70
4.2.2 Ventilation par aspiration des polluants	71
4.2.2.1 Cabine de soudage	72
4.2.2.2 Aspiration localisée à l'outil	74
4.2.2.3 Aspiration localisée à poste fixe (tables aspirantes)	75
4.2.2.4 Aspiration localisée à poste mobile	79
4.2.2.5 Système d'aspiration portatif	82
4.3 Choix du système de ventilation	84
4.4 Équipements	85
4.4.1 Hottes d'aspiration	85
4.4.2 Conduites	87
4.4.3 Équipement de filtration	87
4.4.3.1 Filtration avec filtres	87
4.4.3.2 Précipitateurs électrostatiques (PES)	88
4.4.4 Systèmes de ventilation locale portatifs - volet expérimental	91
4.5 Traitement de l'air	94
4.5.1 Apport d'air de compensation	94
4.5.2 Traitement de l'air pollué	95
BIBLIOGRAPHIE	96
ANNEXE 1. Vocabulaire	98
ANNEXE 2. Composition chimique des enrobages	99
ANNEXE 3. Étude environnementale	100

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>
Tableau 1.1 Exemple de type de courant et polarité utilisés selon le métal de base	10
Tableau 2.1 Résultats d'échantillonnage obtenus lors du soudage à l'horizontale et à la verticale avec électrode de type E-11018	35
Tableau 2.2 Résumé des effets des paramètres physiques sur les émissions de contaminants lors du soudage	38
Tableau 2.3 Electrodes pour acier doux	40
Tableau 2.4 Electrodes pour aciers faiblement alliés	41
Tableau 2.5 Electrodes pour acier inoxydable	43
Tableau 2.6 Electrodes pour le soudage avec fil fourré	43
Tableau 2.7 Electrodes pour le soudage sous protection gazeuse	44
Tableau 2.8 Electrodes pour arc submergé	45
Tableau 2.9 Types d'enrobages	46
Tableau 2.10 Tableau des enrobages d'électrodes	50
Tableau 2.11 Principales conditions de surface	53
Tableau 3.1 Analyse des fumées émises pendant le soudage à l'arc de l'acier doux au moyen d'électrodes enrobées	58
Tableau 3.2 Composition chimique de la fumée lors du soudage de l'acier inoxydable	58
Tableau 3.3 Analyse de la fumée produite pendant le soudage de l'alliage d'aluminium 57 SH (Al-2, Mg-0, 25 Cr) au moyen d'électrodes enrobées	59
Tableau 3.4 Analyse de la fumée formée pendant le soudage d'alliage à base de cuivre avec du bronze recouvert et des alliages Monel	59
Tableau 3.5 Concentrations de fumées de soudage et de ses composantes selon différents alliages	61
Tableau 3.6 Concentrations d'ozone mesurées à divers endroits pendant le soudage	61
Tableau 3.7 Substances toxiques produites lors du soudage à l'arc sous gaz protecteur	63

LISTE DES TABLEAUX (suite)

	<u>Page</u>
Tableau 4.1 Avantages et inconvénients de l'utilisation de la ventilation générale seule.....	67
Tableau 4.2 Concentrations de fumée pour divers déplacements d'air orientés	71
Tableau 4.3 Principes de base lors de l'utilisation de la ventilation locale	72
Tableau 4.4 Avantages et inconvénients des cabines de soudage	73
Tableau 4.5 Avantages et inconvénients de l'aspiration localisée à l'outil	74
Tableau 4.6 Avantages et inconvénients des établis à aspiration latérale ou vers le bas	77
Tableau 4.7 Avantages et inconvénients de l'aspiration localisée à poste mobile	81
Tableau 4.8 Guide pour le choix de la technique de ventilation en fonction du niveau de risque (espace non-confiné)	84
Tableau 4.9 Sélection du matériel utilisé pour les hottes et conduites	87
Tableau 4.10 Rendement des média-filtrants secs	88
Tableau 4.11 Comparaison des caractéristiques des aspirateurs	93

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>
Figure 1.1 Procédé de soudage	3
Figure 1.2 Circuit de soudage avec électrode enrobée	6
Figure 1.3 Circuit de soudage à l'arc sous gaz inerte avec électrode fusible	8
Figure 1.4 Circuit de soudage à l'arc sous protection gazeuse avec électrode fusible	12
Figure 1.5 Circuit de soudage à l'arc avec fil fourré sans gaz ...	13
Figure 1.6 Soudage à l'arc avec fil fourré sous gaz	14
Figure 1.7 Principe de soudage sous flux solide	16
Figure 1.8 Circuit de soudage à l'arc par jet de plasma	18
Figure 1.9 Soudage par résistance	18
Figure 1.10 Circuit du soudage thermique aux gaz	21
Figure 1.11 Equipement oxyacétylénique pour soudage et découpage ..	21
Figure 1.12 Zones de la flamme oxyacétylénique	22
Figure 2.1 Profondeur de la pénétration de la soudure selon le type de courant et la polarité	24
Figure 2.2 Largeur du cordon de soudure selon le courant et la polarité utilisée	24
Figure 2.3 Effet de la polarité de l'électrode sur la production de fumée pour divers types d'électrodes (4 mm)	25
Figure 2.4 Effet de l'intensité du courant sur la pénétration	26
Figure 2.5 Effet de la vitesse de soudage sur la largeur du cordon de soudure	26
Figure 2.6 Temps de combustion d'une électrode en fonction de l'intensité du courant	27
Figure 2.7 Taux de formation de fumée par des électrodes enrobées, du fil fourré et du fil sous protection gazeuse en fonction de l'intensité du courant	28
Figure 2.8 Influence de l'intensité du courant sur l'émission des gaz (MIG-MAG)	29

LISTE DES FIGURES (suite)

	<u>Page</u>
Figure 2.9 Influence de l'intensité du courant sur l'émission des gaz (TIG)	30
Figure 2.10 Relation entre la tension d'arc et le taux de fusion de l'électrode	31
Figure 2.11 Taux de formation de fumée d'une électrode enrobée E6010 et d'une électrode creuse E70T-1 en fonction de la tension pour des niveaux d'intensité choisis.....	32
Figure 2.12 Effet de l'inclinaison de l'électrode sur les taux de formation de fumée des électrodes enrobées	34
Figure 2.13 Effet de la géométrie et des positions de soudage sur la production de fumée	35
Figure 4.1 Différence de vitesse de l'air aux environs d'une hotte d'évacuation et d'une hotte d'aspiration	69
Figure 4.2 Relation entre la concentration de fumées et la vitesse de soufflage de l'air lorsque le soudeur est placé à 90° et à 0° C ou 180° du courant d'air	70
Figure 4.3 Cabine de soudage	72
Figure 4.4 Aspiration locale liée à l'outil	74
Figure 4.5 Table à aspiration latérale (soudage à l'arc avec électrode enrobée)	75
Figure 4.6 Table à aspiration latérale (soudage à l'arc sous gaz protecteur)	76
Figure 4.7 Table à aspiration vers le bas	76
Figure 4.8 Etabli comportant une hotte en dôme	78
Figure 4.9 Système push-pull.....	79
Figure 4.10 Systèmes d'aspiration localisés à poste mobile	80
Figure 4.11 Appareil d'extraction autonome (semi-portatif)	83
Figure 4.12 Aspirateurs portatifs	83
Figure 4.13 Conception de l'établi de soudage d'après l'ACGIH	86

LISTE DES FIGURES (suite)

	<u>Page</u>
Figure 4.14 Rendement d'une hotte d'aspiration rectangulaire pour le soudage à l'arc électrique	86
Figure 4.15 Principe de la précipitation électrostatique comportant 2 étages	89
Figure 4.16 Baisse du rendement dans le cas de l'emploi d'un appareil équipé d'un filtre HEPA et d'un épurateur d'air électrostatique pendant un essai d'une durée de 40 heures	90

INTRODUCTION

Ce document, sur les fumées de soudage, a été réalisé par le Regroupement hygiène du Département de santé communautaire de l'hôpital Maisonneuve-Rosemont.

Il se veut surtout un outil d'information sur les caractéristiques des différents procédés de soudage utilisés en industrie, sur les principaux facteurs qui contribuent à l'exposition des soudeurs aux fumées et aux gaz, sur les principaux contaminants dégagés selon le procédé de soudage ainsi que sur les moyens de contrôle utilisés en soudage.

CHAPITRE I- DESCRIPTION DE DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE SOUDAGE

INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous décrivons les principaux procédés de soudage rencontrés en milieu industriel: soudage à l'arc avec électrode enrobée, sous protection gazeuse (avec électrode réfractaire et électrode fusible), avec fil fourré, submergé, par jet de plasma, par résistance et soudage à l'oxyacétylène. Sont passées en revue les principales caractéristiques associées à chaque procédé de soudage, le déroulement de ces procédés, les avantages et les inconvénients qu'ils présentent ainsi que les caractéristiques électriques reliées à ces procédés.

Les procédés de soudage sont classés en deux grandes familles de procédés de soudage, soit le soudage autogène et le soudage hétérogène.

Soudage autogène

La famille de soudage autogène regroupe les procédés de soudage identifiés à la figure 1.1 (sauf les procédés de brasage). Le principe du soudage autogène consiste à unir des pièces métalliques de même nature en fusionnant leurs bords, et ce avec ou sans addition de métal d'apport lui-même généralement de même nature.

Dans ce document, nous ferons uniquement la description de procédés de soudage appartenant à cette famille.

Soudage hétérogène

La famille de soudage hétérogène regroupe les procédés de brasage. Ce procédé consiste à unir entre elles des pièces de nature identique ou différente, sans fusion intime de bords et avec une addition de métal d'apport complémentaire généralement de nature différente que les pièces à souder.

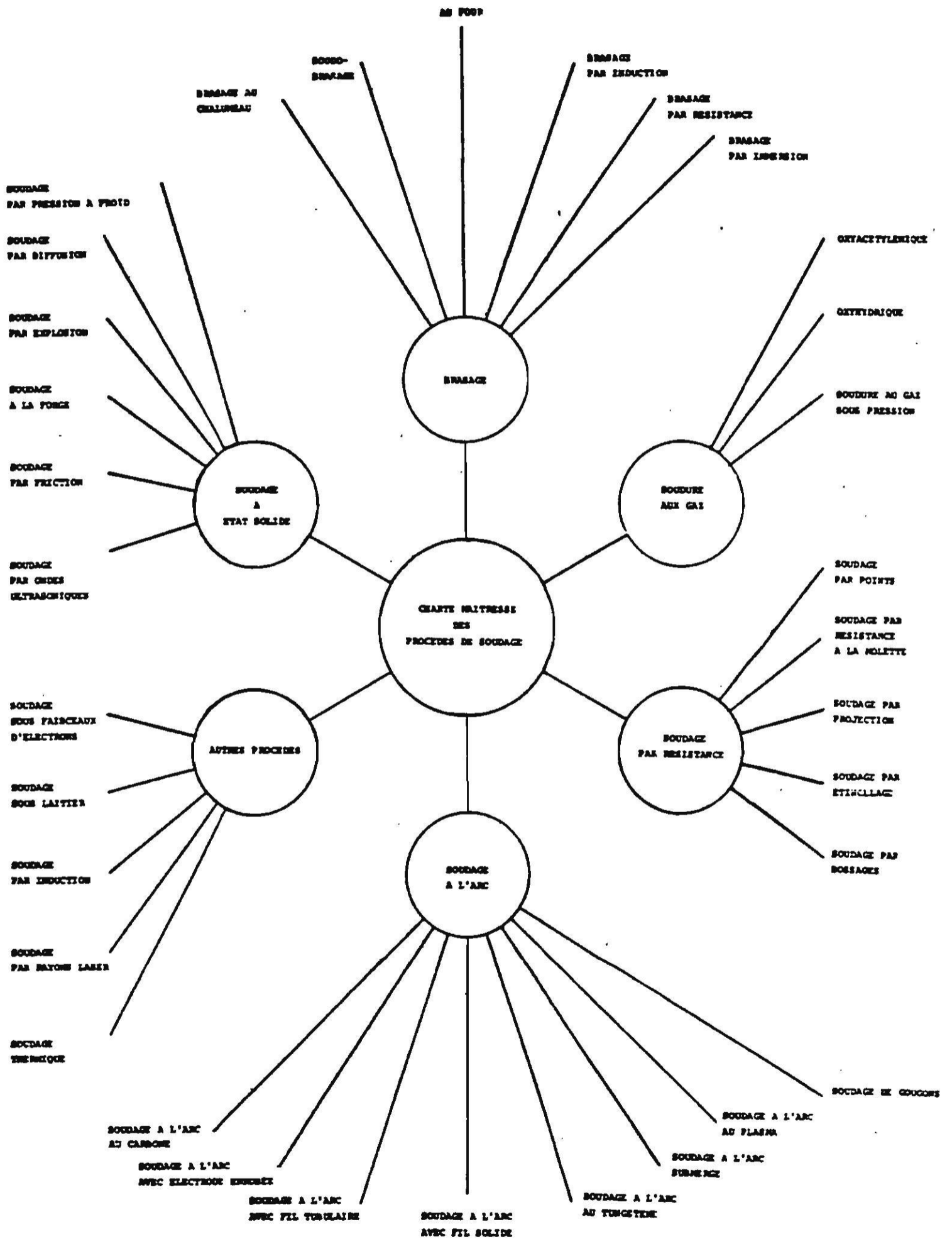
Soudage à l'arc électrique

Les procédés de soudage à l'arc électrique se retrouvent parmi la famille du soudage autogène. La plupart des procédés de soudage rencontrés dans les établissements font partie de cette famille. Sous cette dénomination générale, on inclut à l'heure actuelle plusieurs procédés nettement différents, suivant que:

- 1) L'arc s'établit entre une **électrode fusible** fournissant le métal d'apport, d'une part, et les pièces à souder, d'autre part:
 - a) l'arc s'établit à travers l'air: soudage à l'arc avec électrode enrobée (SMA)
 - b) l'arc s'établit à travers un gaz inerte: Mig
 - c) l'arc s'établit à travers un gaz non-inerte: Mag
 - d) l'arc s'établit au sein d'un mélange de matières solides recouvrant les pièces à souder: soudage à l'arc submergé (SAW)

Figure 1.1

PROCÉDÉS DE SOUDAGE



- 2) L'arc s'établit entre une **électrode non fusible** et ne fournissant pas le métal d'apport, d'une part, et les pièces à souder, d'autre part.
- a) l'électrode est en charbon: soudage à l'arc électrique à l'électrode en charbon
 - b) l'électrode est en tungstène, et l'arc est protégé par un courant de gaz inerte: soudage à l'arc électrique sous atmosphère de gaz inerte (Tig).
- 3) L'arc s'établit entre **deux électrodes non fusibles**, les pièces à souder n'étant pas dans le circuit électrique, et l'appareil portant les électrodes débite un courant de gaz hydrogène: soudage à l'hydrogène atomique.

Malgré les différentes variantes de procédés dans la famille du soudage à l'arc électrique, plusieurs caractéristiques sont générales à ces procédés. Nous décrivons ci-dessous ces caractéristiques communes aux procédés de soudage à l'arc électrique.

L'arc électrique constitue la source de chaleur pour de nombreux procédés de soudage, sans doute parce qu'il est facile à produire et d'intensité élevée. Il est, en fait, beaucoup plus qu'une simple source de chaleur. Si nécessaire, il peut conduire le métal fondu de l'électrode à la pièce à souder. On peut également l'utiliser simultanément pour fournir de la chaleur et éliminer des pellicules superficielles, ce qui représente un avantage important lorsque l'on ne soude pas sous flux. Toute une série de réactions complexes entre le gaz, le laitier* et le métal fondu, ainsi que des modifications métallurgiques ont lieu dans l'atmosphère de l'arc et dans le bain de soudage. Un arc est une décharge électrique entre deux électrodes qui apparaît dans une atmosphère gazeuse ionisée appelée plasma.

Mais comment se produit un arc électrique ?

Considérons un circuit électrique branché sur une source de courant continu et comportant une électrode en carbone ou en métal ayant la polarité négative, et une pièce métallique en polarité positive placée à quelques centimètres de l'électrode. Comme l'air est mauvais conducteur de l'électricité, le courant ne passe pas entre l'électrode et la pièce. Si nous les rapprochons jusqu'à ce qu'elles se touchent, il se produit un court-circuit qui se traduit par une élévation de leur température. Si on les écarte aussitôt de quelques millimètres, on constate que le courant continue de passer et on observe entre elles une colonne incandescente, cette dernière étant l'arc électrique. À ce moment, on dit que l'arc est amorcé. Il s'éteint si on augmente exagérément la longueur d'arc, c'est-à-dire la distance entre l'électrode et la pièce.

Les températures d'un arc peuvent être d'environ 12000° F et dépendent de multiples facteurs:

- nature de l'électrode et de la pièce à souder;
- distance entre elles;
- intensité du courant;
- différence de potentiel entre l'électrode et la pièce à souder;
- etc.

* Voir vocabulaire, annexe 1.

Le courant électrique nécessaire à alimenter l'arc provient d'une machine à souder qui produit un courant alternatif (AC) ou continu (CC) (voir partie 2). La machine à souder fournit le courant à deux pôles auxquels sont reliés deux câbles isolés; l'un conduisant à une pince qui sert à tenir l'électrode, l'autre étant fixé à la pièce à souder et servant de masse (ground).

1.1 SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODE ENROBÉE

=====

1) Synonymes: soudage à l'arc avec électrode métallique (SAEM)
soudage à la baguette.

2) Traductions: stick
manual metal arc (MMA)
shielded metal arc welding (SMAW)

3) Description du procédé: Dans ce procédé, la chaleur nécessaire est produite par le passage du courant électrique, sous forme d'arc lumineux, entre la pièce de métal de base et l'électrode enrobée. La température de cet arc varie en général entre 4000 et 4500° C.

L'arc provoque la fusion progressive du métal de l'électrode et celle du métal de base au point où l'arc l'atteint, ainsi que le passage du métal de l'électrode sur le métal de base.

Par conséquent dans ce procédé, la source de chaleur et l'apport du métal sont dépendants l'un de l'autre. En effet, si l'on veut chauffer davantage, on apporte davantage de métal et l'on ne peut chauffer sans apporter de métal.

Pour reconnaître un procédé de soudage avec électrode enrobée il suffit de se rappeler que le circuit de soudage se compose essentiellement d'une source de courant, de câbles conducteurs, d'un porte-électrode (ou pince) et de l'électrode enrobée (fusible). Voir la figure 1.2

4) Déroulement du procédé de soudage:

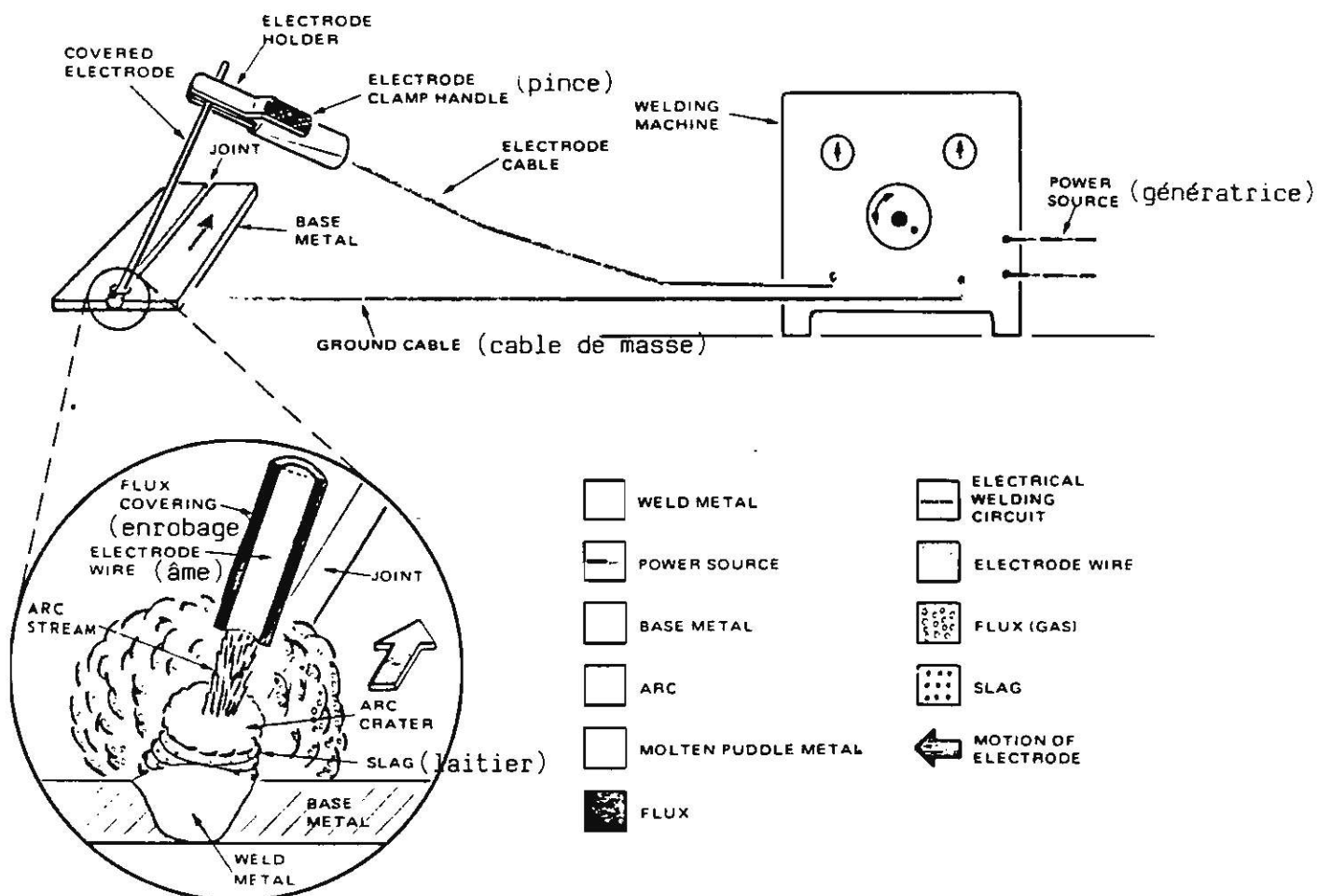
Au début le circuit est dit "ouvert", c'est-à-dire qu'il n'y a pas eu de contact entre l'électrode enrobée et la pièce. Aucun courant ne passe, la résistance de l'air sec au passage du courant étant beaucoup trop élevée.

Pour faire l'amorçage de l'arc, il suffit de rapprocher l'électrode de la pièce, formant ainsi un court-circuit et produisant un échauffement du circuit entier. Cet échauffement se localise surtout à l'endroit où la résistance au passage du courant est plus grande, soit à l'extrémité de l'électrode (rougissement de cette dernière).

Il se produit à cet endroit une ionisation et des vapeurs métalliques qui rendent l'air conducteur au voisinage immédiat du point de contact.

Figure 1.2

CIRCUIT DE SOUDAGE AVEC ÉLECTRODE ENROBÉE



Si l'on écarte de quelques millimètres l'électrode de la pièce, le courant passe de l'une à l'autre à travers l'air devenu conducteur, en produisant l'arc électrique. Pendant ce temps, l'électrode fond sous forme de gouttelettes qui, à une cadence très rapide, sont transportées de l'électrode à la pièce dans l'arc lui-même. En déplaçant l'électrode le long de la surface du métal de base, on obtient le cordon de soudure.

Il faut absolument abaisser l'électrode à une vitesse correspondante à sa fusion. Si on abaisse trop lentement, l'extrémité de l'électrode s'écarte de façon excessive de la pièce, la résistance devient trop grande et l'arc s'éteint (désamorçage). Si on abaisse trop rapidement, l'électrode vient se souder à la pièce, s'échauffe et est mise rapidement hors d'usage.

La protection de la soudure est assurée par:

- la combustion des matières organiques contenues dans l'enrobage. Celui-ci émet des gaz protecteurs formant une gaine dans laquelle le métal transite à l'abri de l'air;
- la présence de laitier qui isole la soudure de l'air pendant son refroidissement et qui prélève dans le bain de métal fondu les oxydes et autres impuretés.

5) Avantages et inconvénients du procédé:

Avantages: - vitesse d'exécution rapide;
 - équipement le moins dispendieux parmi les procédés de soudage à l'arc électrique;
 - soudage sur du métal de 2mm et plus.

Inconvénients: - le nettoyage entre chaque "passe" est requis;
 - dégagement de la fumée.

6) Caractéristiques électriques:

En général, dans les différents guides techniques se rapportant aux électrodes, on indique le voltage et l'ampérage requis pour chacun des types d'électrodes et ce, en tenant compte du diamètre de l'électrode et/ou de la position de soudage. L'ampérage varie de 30 à 500 A et le voltage entre 16 et 40 V.

Dépendamment du type d'électrodes, il y a possibilité d'utilisation de courant continu ou alternatif, et de polarité inversée ou directe (voir Chapitre II).

1.2 SOUDAGE À L'ARC SOUS PROTECTION GAZEUSE

=====

En soudage à l'arc sous gaz protecteur, l'électrode, l'arc et le bain de fusion sont enveloppés dans un "nuage" gazeux, afin de protéger la soudure contre les effets nuisibles de l'oxygène et de l'azote de l'air. Les gaz de protection assurent également, comme les enrobages des électrodes enrobées, un rôle d'ionisation.

Il existe deux variantes fondamentales de ce procédé. Elles se distinguent par la nature de l'électrode: réfractaire ou fusible. Parmi les gaz de protection figurent l'argon, l'anhydride carbonique et l'hélium. À ce dernier gaz, de l'oxygène, de l'azote ou de l'hydrogène peuvent être mélangés (dans des proportions inférieures à 10%) afin d'accroître la vitesse de soudage, améliorer la forme du cordon, etc...

1.2.1 SOUDAGE À L'ARC SOUS GAZ INERTE AVEC ÉLECTRODE RÉFRACTAIRE

1) Synonymes:

Soudage à l'arc sous atmosphère d'argon
 Soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrodes de tungstène (SAET)

2) Traductions:

Gas tungstene arc welding (GTAW)
 Tungstene inert gas (Tig)

3) Description du procédé:

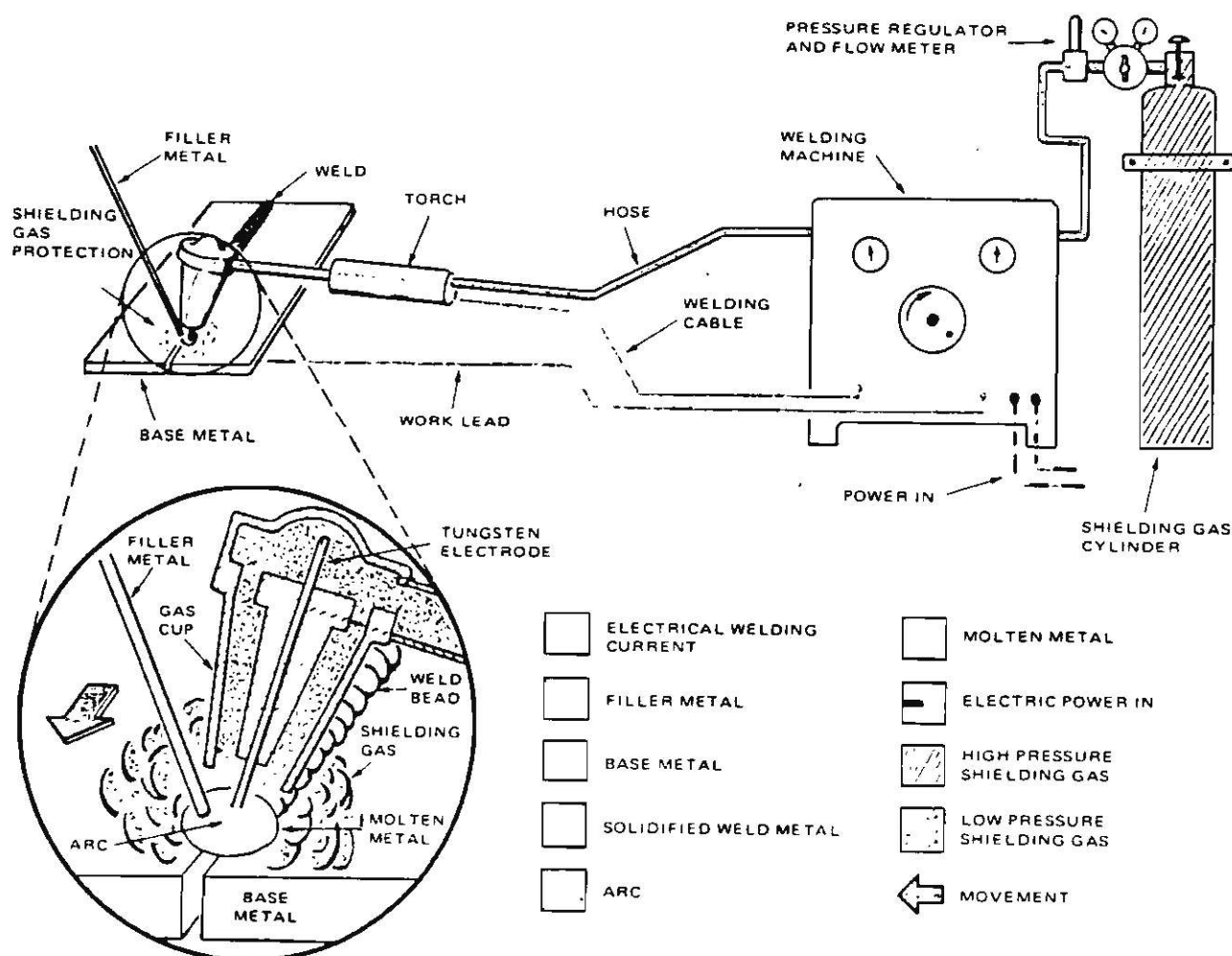
Dans ce procédé, l'électrode est faite non pas de métal semblable à celui de la pièce à souder, mais de tungstène, un métal très réfractaire (point de fusion: 3660°C). L'électrode ne fond pas. Le métal d'apport est fourni sous forme de baguette ou de fil. La caractéristique essentielle du procédé est que l'arc et le bain de soudage se trouvent constamment protégés de la corrosion atmosphérique par un jet de gaz neutre (argon ou hélium).

L'intérêt essentiel du procédé Tig est qu'il supprime l'emploi du flux. Il n'y a donc plus de temps perdu à piquer le laitier, ni crainte de voir des parcelles de ce dernier incluses dans la soudure. Mais par contre, aucune réaction chimique protectrice n'étant à espérer, les bords du métal à souder devront être d'une propreté impeccable, parfaitement dégraissés et nettoyés.

Une installation type pour le soudage Tig se compose d'une source d'énergie, d'une bouteille de gaz (argon ou hélium) et éventuellement d'une conduite d'eau de refroidissement, d'un coffret de commande (courant, gaz, eau) et d'une torche de soudage (à refroidissement par eau ou par air). Les différentes parties du circuit de soudage sont illustrées à la figure 1.3

Figure 1.3

CIRCUIT DE SOUDAGE À L'ARC SOUS GAZ INERTE AVEC ÉLECTRODE RÉFRACTAIRE



Dans ce type de soudage, l'électrode est tenue par l'intermédiaire d'une torche dont l'utilité est double: elle tient l'électrode et amène le courant, et elle compte un circuit d'arrivée et une buse de sortie pour le gaz.

Cette torche possède souvent un circuit d'eau de refroidissement lorsque de fortes intensités de courant sont utilisées (au dessus de 200A).

4) Déroulement du procédé de soudage

Dans la plupart des installations, une électrovalve commande l'arrivée d'argon avant l'amorçage de l'arc afin que la protection soit garantie dès le début du soudage. Cette électrovalve permet également à l'argon de s'écouler pendant un certain temps après l'arrêt de l'arc.

Lorsque l'installation n'est pas munie d'un dispositif spécial d'amorçage, on amorce l'arc par contact de l'électrode avec une pièce métallique très propre ou en approchant l'électrode très près de la pièce à souder. Une méthode satisfaisante consiste à provoquer l'amorçage, non sur la pièce à souder, mais sur un bloc adjacent, en cuivre ou en graphite. On emploie aussi quelquefois une pièce de départ qui est fixée au début de la pièce à souder. On élimine cette pièce après le soudage.

Une fois l'arc amorcé, on maintient la torche fixe pendant que le bain de soudage se forme. Si l'intensité est correctement choisie, ceci ne dure que quelques secondes. Quand le bain est établi, le soudage peut débuter avec ou sans métal d'apport. Si les pièces sont bien ajustées, il n'est pas nécessaire d'avoir un fil d'apport.

L'introduction du fil d'apport dans le bain peut perturber momentanément la protection gazeuse et y introduire de l'air. On doit par conséquent maintenir constamment l'extrémité du fil d'apport dans la protection gazeuse, afin d'éviter l'oxydation.

Quand le courant est coupé et que l'arc s'éteint, l'électrode et le bain commencent à se refroidir. Mais il est nécessaire de maintenir un courant d'argon jusqu'à ce que le risque d'oxydation soit passé. En effet si l'on termine brutalement la soudure, l'arrêt de l'arc se traduit par la formation d'une cavité profonde et étroite (cheminée) dans le cratère, d'où la possibilité de fuites dans des soudures destinées à des installations sous pression ou à vide. On évite la formation de la cheminée en réduisant progressivement l'intensité du courant avant de la couper: ceci se fait à l'aide d'un dispositif appelé "évanouisseur". De cette façon, la cheminée est remplie de métal liquide et le cratère se solidifie progressivement.

5) Avantages et inconvénients du procédé

Avantages: - très bon contrôle du métal en fusion
 - déposition du métal d'apport à volonté;
 - soudage de presque tous les métaux;
 - soudage des métaux ayant une faible propriété de soudage (souvent d'acier inoxydable);

- absence de flux;
- ne requiert pas de nettoyage entre les passes;
- pas d'éclaboussures sur le métal.

Inconvénients:

- équipements dispendieux;
- prix de revient élevé de la soudure à cause de l'équipement et de la matière première.

6) Caractéristiques électriques

Dépendant du métal à souder et de son épaisseur, on peut utiliser le courant continu ou alternatif, et de polarité inversée ou directe.

Dans le tableau 1.1, vous trouverez des exemples de type de courant à utiliser ainsi que de polarité.

Tableau 1.1

EXEMPLE DE TYPE DE COURANT ET DE POLARITÉ UTILISÉS
SELON LE MÉTAL DE BASE

Métal de base	Alternatif	Continu (1)	
		Electrode -	Electrode +
Aluminium et alliages légers	1	N	N
Alliages ultra-légers { jusqu'à 3 mm ou coulés	1	N	2
	1	N	N
Aciers inoxyd. } moins de 0,8 mm	1	1	N
	2	1	N
0,8 mm et plus			
1 = convient bien. 2 = convient. N = non approprié.	Cuivre	N	1

(1) électrode - = polarité directe

électrode + = polarité inversée

1.2.2. SOUDAGE À L'ARC SOUS PROTECTION GAZEUSE AVEC ÉLECTRODE FUSIBLE

1) Synonymes:

- Soudage à l'arc sous gaz protecteur (SAG)
- Soudage semi-automatique
- Soudage à l'arc sous gaz inerte
- Soudage à l'arc sous gaz actif (CO₂)

2) Traductions:

Gas metal arc welding (GMAW)

Metal inert gas (MIG)

Metal active gas (MAG)

3) Description du procédé:

L'électrode métallique fusible qui est amenée sous forme de fil se déroule automatiquement d'un dévidoir. Dans ces procédés, l'arc et le bain de fusion sont protégés par un gaz (inerte ou actif). Pour le procédé Mig c'est généralement de l'argon, tandis que dans le procédé Mag, il s'agit d'anhydride carbonique (CO₂). Dans les deux cas, le fil est entouré d'un jet concentrique de gaz au niveau de la buse terminant la torche. Le procédé est dit semi-automatique car le courant, le gaz de protection et le fil de l'électrode sont amenés automatiquement à la torche que l'opérateur tient en main. Un avantage de ce procédé est le réglage automatique de la longueur d'arc. En effet, la vitesse de déroulement du fil, c'est-à-dire son taux de fusion, croît avec l'intensité du courant. Le déroulement du fil se fait automatiquement à vitesse constante. La longueur de l'arc est donc déterminée par l'intensité du courant de soudage.

Pour reconnaître un procédé de soudage à l'arc sous protection gazeuse avec électrode fusible, il suffit de se rappeler que le circuit de soudage se compose essentiellement d'une source de courant, d'un système d'alimentation en fil, d'un tube contact, d'une buse à gaz, ainsi que d'un dispositif de commande pour le courant, le fil, le gaz et l'eau de refroidissement (si nécessaire). Voir la figure 1.4.

4) Déroulement du procédé:

Dans ce procédé, le fil sert à la fois d'électrode et de métal d'apport. Le courant électrique auquel le fil est soumis produit un arc entre son extrémité et la pièce. L'arc engendre la fusion de l'extrémité du fil et la fusion locale des pièces à assembler en emplissant le joint de soudure. L'opérateur n'a qu'à se déplacer le long du joint tandis que le fil se déroule.

5) Avantages et inconvénients du procédé:

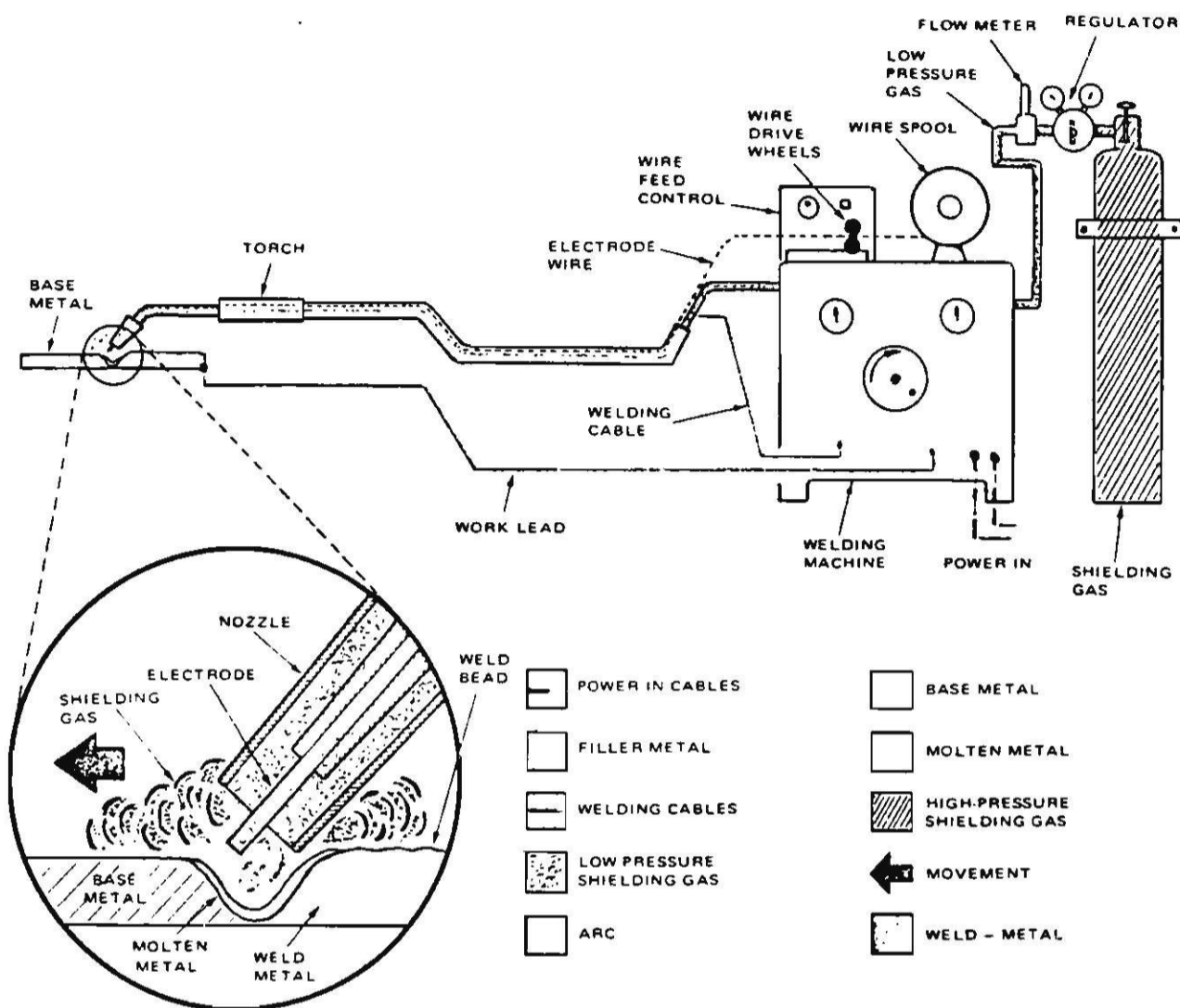
Avantages: - très grande vitesse d'exécution;
- facilité d'exécution;
- grande vitesse de déposition.

Inconvénients:

- requiert du nettoyage après soudage ou entre les passes;
- équipement dispendieux.

Figure 1.4

CIRCUIT DE SOUDAGE À L'ARC SOUS PROTECTION GAZEUSE AVEC ÉLECTRODE FUSIBLE

6) Caractéristiques électriques:

Ce soudage a toujours lieu en courant continu avec polarité inversée, car en polarité directe, les gouttes repoussées par le bain de fusion tombent irrégulièrement en direction oblique. L'intensité de courant est environ six fois plus élevée que lors du procédé avec électrode enrobée. Il en résulte une très forte concentration de chaleur qui permet un soudage très rapide.

1.3 SOUDAGE À L'ARC AVEC FIL FOURRÉ

1) Synonyme: Soudage à l'arc à l'électrode creuse (SAEC)

2) Traduction: Flux Cored Arc Welding (FCAW)

3) Description du procédé:

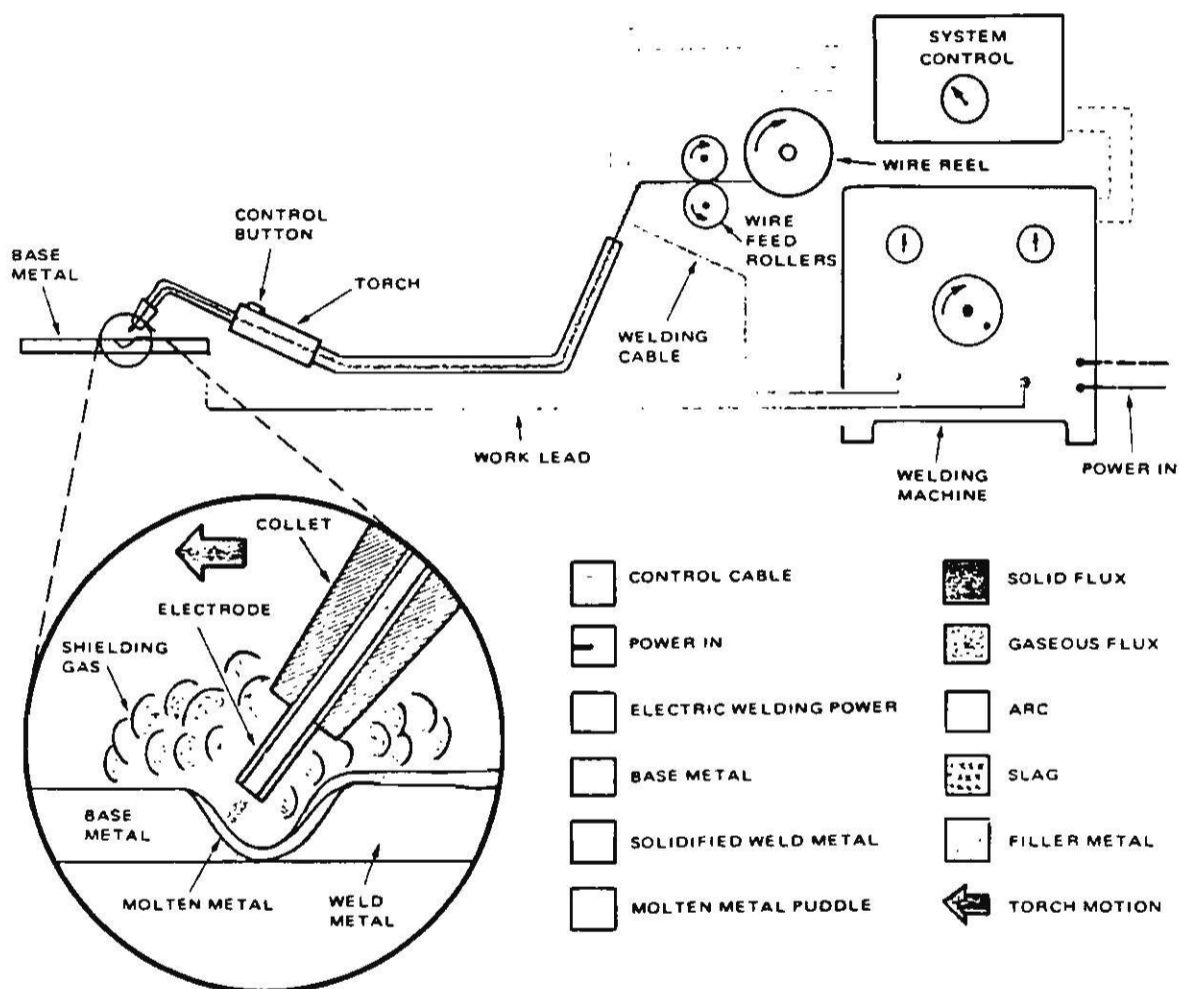
Le soudage à l'arc avec fil fourré est une combinaison du soudage à l'arc avec électrodes enrobées et du soudage à l'arc sous protection gazeuse. Ce procédé diffère du soudage sous protection gazeuse (MIG, MAG) par la nature du fil qui est tubulaire et qui permet l'emprisonnement du flux solide.

Deux variantes de ce procédé existent, soit le fil fourré sans gaz (anglais: innershield) et le fil fourré avec gaz.

Le fil fourré sans gaz est de moins en moins utilisé. Dans ce procédé, la protection de la soudure est assurée par l'émission de gaz provenant de la combustion du flux (voir figure 1.5). Des éléments contenus dans le centre de l'électrode se vaporisent pour produire le gaz protecteur.

Figure 1.5

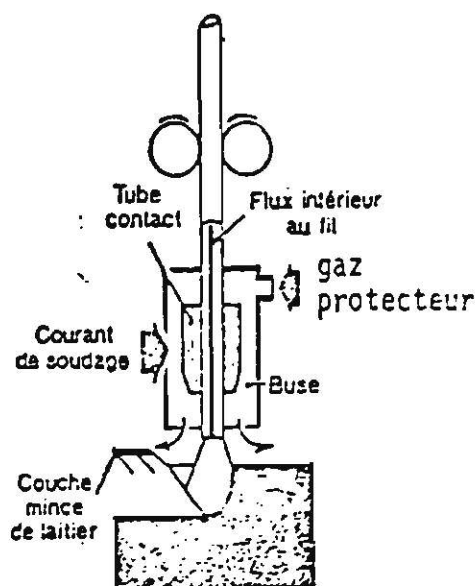
CIRCUIT DE SOUDAGE À L'ARC AVEC FIL FOURRÉ SANS GAZ



Pour le procédé de fil fourré avec gaz, la protection de la soudure est obtenue par l'ajout d'un gaz protecteur (souvent le CO_2), comme dans le cas du soudage sous protection gazeuse (voir figure 1.6).

Figure 1.6

SOUDAGE À L'ARC AVEC FIL FOURRÉ AVEC GAZ



Pour le procédé de soudage à l'arc avec fil fourré, les équipements ainsi que le circuit électrique sont identiques à ceux utilisés lors du soudage à l'arc sous protection gazeuse à électrode fusible (voir les descriptions de ces procédés pour plus de détails.)

4) Avantages et inconvénients du procédé:Avantages:

- Les mêmes avantages d'économie que ceux cités dans la soudure à l'arc sous protection gazeuse à électrode fusible (vitesse de dépôt élevé, productivité accrue par l'utilisation du fil continu,...);
- Par rapport au soudage MIG et MAG, le nettoyage avant le soudage est moins important;
- Le procédé peut être automatisé et utilisé par point, de même que pour des soudures verticales sous gaz (EGW);
- Le procédé de soudage avec fil fourré sans gaz peut être utilisé à l'extérieur même lors de la présence de forts courants d'air.

Inconvénients:

- L'obligation d'enlever la couche de laitier (scories) après le soudage;
- La forte quantité de fumée qu'il engendre.

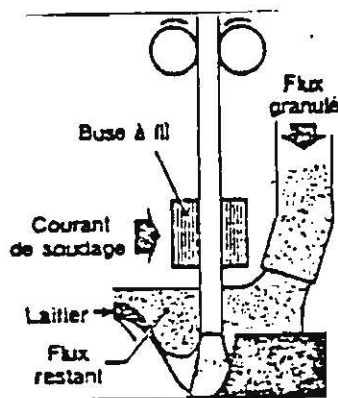
Finalement mentionnons que le procédé de soudage à l'arc avec fil fourré est utilisé pour les soudages des aciers au carbone, des aciers à alliage léger, des aciers inoxydables et de la fonte.

1.4 SOUDAGE SOUS FLUX EN POUDRE (horizontal)

- 1) Synonyme: Soudage à l'arc submergé
- 2) Traduction: Submerged arc welding (SAW)
- 3) Description du procédé:

Le soudage sous flux en poudre est un procédé automatisé, quoiqu'on le rencontre très rarement sous forme semi-automatique. Il originerait des États-Unis et aurait été inventé aux environs de 1935-37. On l'utilise principalement pour le soudage des "aciers" et/ou de sections importantes, par exemple dans le cas de constructions navales, d'appareils à pression, de poutres, de tubes de gros diamètre, de réservoirs, de réacteurs nucléaires, etc...

Dans ce procédé, la fusion du fil d'apport avec les bords de la pièce à assembler se fait sous flux dit électro-conducteur. L'alimentation de ce flux en poudre est assurée séparément, et l'excès peut être récupéré par la suite. À l'amorçage, l'arc éclate au sein de la poudre, puis il se crée une cavité remplie de gaz (CO et CO_2) et entourée de flux fondu. Le résidu de la fusion de ce flux, aussi appelé laitier, protège le bain de fusion et, par la suite, la soudure pendant le refroidissement de celle-ci (voir figure 1.7).



4) Avantages et inconvénients

Avantages :

- Un avantage du soudage sous flux en poudre est le fait que, l'arc étant couvert, on peut utiliser de fortes intensités de courant sans craindre de pertes par projection ou entrainement de l'air. Ces fortes intensités permettent une grande pénétration et un rendement thermique important. Par exemple, on peut réaliser un assemblage bout à bout en une seule passe de 15 mm d'acier sur bords jointifs soutenus, ou 50 mm en deux passes opposées sur bords jointifs chanfreinés. En général, ce procédé est utilisé pour des épaisseurs supérieures à 5 mm;
- Un autre avantage de cet arc non visible est que l'on a pas à craindre les rayonnements (I.R. et U.V.), et qu'il convient donc bien aux chantiers;

- Comme le cordon de soudure est sous le flux, il y a peu ou pas de dégagement de fumées.

Inconvénient :

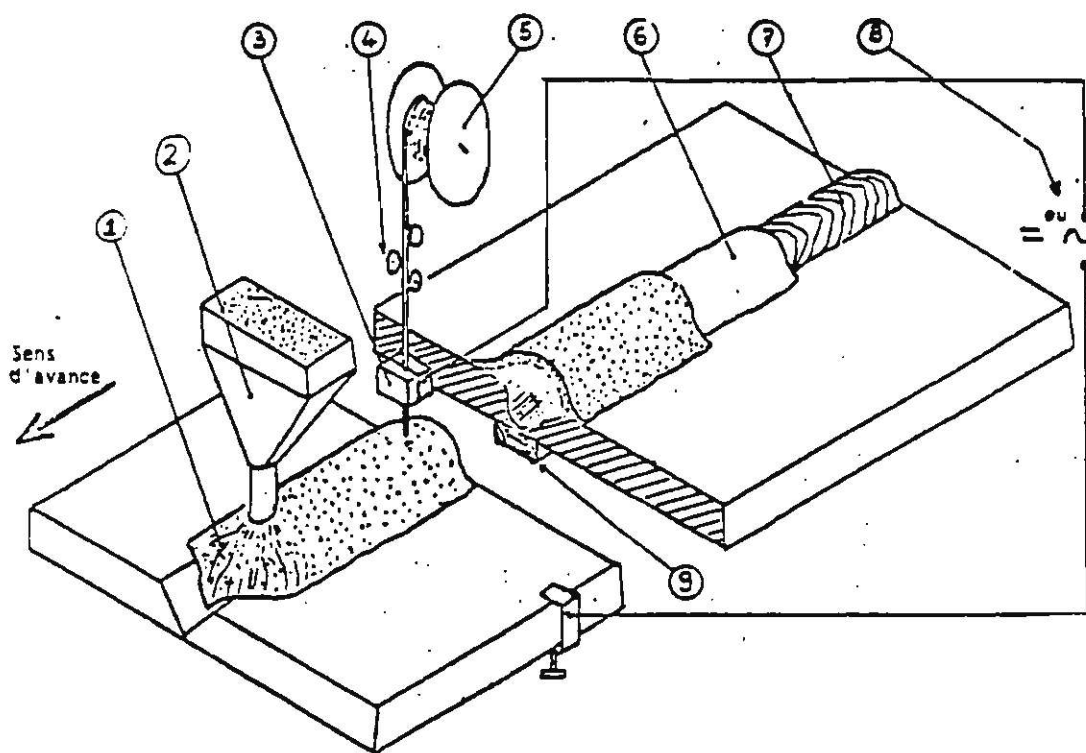
- La récupération du flux non fondu peut causer des problèmes de poussières.

5) Caractéristiques électriques:

- Courant: 200 à 2,000 A
 - . continu en-dessous de 1,000 A
 - . alternatif au-dessus de 1,000 A (pour éviter des phénomènes de soufflage magnétique)
- Puissance: 6 à 80 KW
- Fils déroulés à vitesse constante avec des sources à caractéristiques plongeantes. La longueur d'arc est contrôlée par asservissement électronique de la vitesse du moteur entraînant le fil.

Figure 1.7

PRINCIPE DU SOUDAGE SOUS FLUX SOLIDE



PRINCIPE DU SOUDAGE SOUS FLUX SOLIDE

- | | |
|----------------------------------|---------------------------|
| ① Flux | ⑤ Fil |
| ② Réservoir de flux | ⑥ Laitier |
| ③ Glissières d'amener de courant | ⑦ Cordon de soudure |
| ④ Galets d'entraînement | ⑧ Source de courant |
| | ⑨ Couvre-joint ou support |

6) Variantes et dérivés:

Il existe quelques variantes du soudage sous flux en poudre. Il y a d'abord l'utilisation de deux fils, ceux-ci pouvant être utilisés en position transverse pour du rechargement ou des pièces à bords mal préparés, ou en position tandem pour augmenter la vitesse de dépôt. On peut aussi utiliser trois fils, uniquement en position tandem. En dernier lieu, il y a possibilité d'utiliser un feuillard, ou bande de métal, pour une plus grande vitesse de dépôt.

Un dérivé du "SAW" s'appelle le soudage vertical sous laitier fondu ("Electro-slag welding" ESW). Il a lieu en coffrage, pour souder de fortes sections d'acier de structure ou encore dans le domaine naval, et est toujours effectué verticalement, en montant. Il diffère cependant du soudage à arc submergé par plusieurs aspects. Tout d'abord le flux est entièrement fondu, ensuite la consommation de ce flux est minime, enfin il n'y a pas d'arc électrique, l'énergie calorifique provenant du passage du courant dans le laitier fondu. En effet, ce laitier conducteur subit un mélange dû aux forces électromagnétiques en présence. Ce procédé demande un courant de 450 à 1,500 A, alternatif ou continu, et une puissance de 15 à 50 KW.

1.5 SOUDAGE/COUPAGE À L'ARC PAR JET DE PLASMA

1) Synonyme: soudage/coupage au plasma

2) Traduction: Plasma arc cutting (PAC)
Plasma arc Welding (PAW)

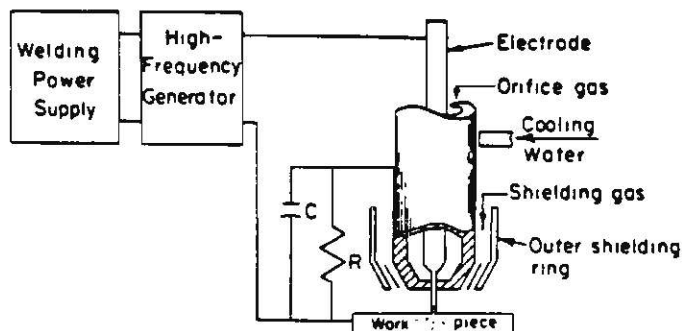
3) Description du procédé:

Le terme "Arc au plasma" est utilisé pour décrire une famille de procédé fonctionnant à l'aide d'un arc électrique passant dans un petit orifice. Le resserrement de l'arc permet d'accroître la densité d'énergie, ce qui permet d'atteindre de très fortes températures.

Le procédé ressemble au soudage TIG. Une électrode en tungstène (parfois en zircon) produit un arc électrique qui ionise un gaz tel l'argon (ou un mélange argon-hydrogène). Ce gaz passe aussi à travers un orifice et est dirigé en un faisceau sur le métal de base. La zone de chaleur est étroite et bien définie. Un deuxième gaz (tel l'hélium) entoure le tout afin d'assurer la protection du bain de soudure (voir figure 1.8). Pour le coupage au plasma, il n'y a pas d'anneau distribuant un gaz de protection qui entoure l'arc.

Figure 1.8

CIRCUIT DE SOUDAGE À L'ARC PAR JET DE PLASMA



Les matériaux sur lesquels est utilisé le soudage au plasma sont les mêmes que ceux pour le procédé au tungstène (TIG).

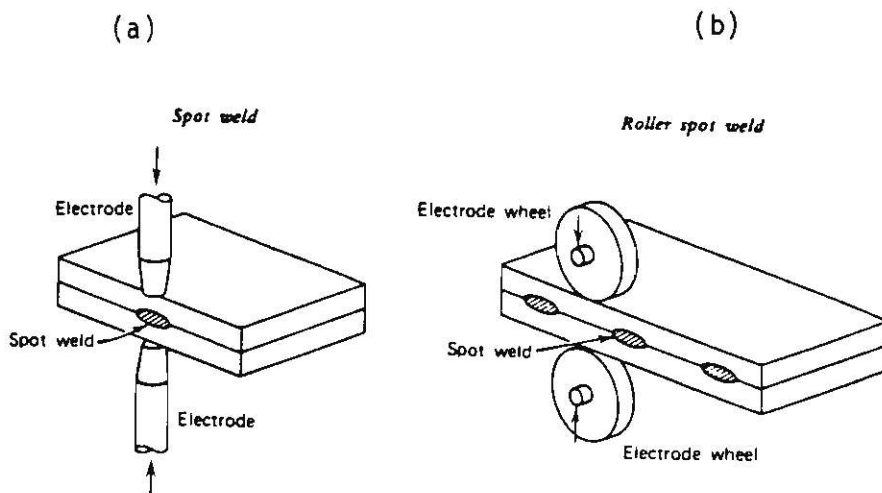
1.6 SOUDAGE PAR RÉSTANCE

- 1) Synonyme: soudage par point
- 2) Traduction: Spot Welding
Resistance welding
- 3) Description du procédé:
 - a) Electrode:

La soudure par résistance est une soudure électrique sans production d'arc. La fusion est produite par le passage d'un courant électrique à travers les pièces à souder maintenues ensemble sous pression. Les électrodes situées des deux côtés des pièces à souder produisent le courant électrique qui engendre la chaleur localisée nécessaire à la fusion. La pression exercée par les électrodes sert également au soudage.

Figure 1.9

SOUDAGE PAR RÉSTANCE



Pour ce procédé, aucun fondant ("flux") ni métal d'apport ne sont utilisés.

Diverses variantes existent pour le procédé à électrode, soit le soudage par point "Spot Weld" (figure 1.9a), le soudage à la molette "Roller Spot Weld" (figure 1.9b) et le soudage en bout.

b) Induction:

Pour le procédé à induction, la différence se situe au niveau de la source de chaleur utilisée. Au lieu des électrodes, la chaleur est produite par un champ magnétique entourant les pièces à souder.

1.7 SOUDAGE, COUPAGE THERMIQUE AUX GAZ

=====

1) Synonymes: soudage à la flamme oxyacétylénique, oxycoupage, "brûlage"
soudage autogène

2) Traductions: oxyfuel gas welding
oxyacetylene welding (OAW) oxyacetylene cutting (OAC)

3) Description du procédé: C'est le plus ancien des procédés modernes (1901), et c'est également le seul procédé décrit dans ce document qui utilise comme source de chaleur l'énergie thermo-chimique (figure 1.10). Cette énergie est créée par la combustion d'un mélange de gaz et d'oxygène, le gaz pouvant être de l'acétylène, du méthylacétylène-propadiène, du propane, du butane, ou de l'hydrogène.

De nos jours, ce procédé n'est plus tellement employé pour le soudage proprement dit (à part dans des cas particuliers comme le brasage ou le soudage plomb-étain) mais plutôt pour le coupage, et le gaz utilisé la grande majorité du temps est l'acétylène. Ce qu'on retrouve dans la plupart des usines est donc du coupage oxyacétylénique, ou comme on y réfère habituellement, de l'oxycoupage ou "brûlage".

À la place d'un arc électrique, on aura une flamme résultant de la combustion d'un mélange d'oxygène (1,1 volume) et d'acétylène (1,0 volume). Le mélange a lieu dans le chalumeau, avant la buse terminale où se produit la combustion. La flamme produite est très souple, contenant trois (3) zones distinctes: le dard, la zone utile (3200°C), et le panache (voir figure 1.12). La première section sert à pré-chauffer le métal, alors que la deuxième procure la chaleur nécessaire à la fusion. Pour le soudage, on utilise du métal d'apport similaire au métal à souder et amené sous forme de baguette, tandis que pour l'oxycoupage, on ajoute à côté de la flamme un jet d'oxygène pur qui détache le métal en fusion, séparant ainsi les diverses formes que l'on veut découper.

La réaction chimique des gaz en présence se fait en deux stades. D'abord, la combinaison d'acétylène et d'oxygène donne du monoxyde de carbone et de l'hydrogène; ensuite, ces deux nouveaux gaz se combinent chacun à l'oxygène pour donner respectivement du bioxyde de carbone et de l'eau.

La "qualité" de la flamme va dépendre de la pression du gaz, mais également du diamètre de l'orifice de la buse. Ces deux paramètres sont interreliés et agissent aussi sur la vitesse du gaz. Par exemple, si la pression est trop forte pour une grosseur de buse donnée, la flamme sera "dure" et turbulente, si au contraire, la pression est trop faible, la flamme sera "molle". Également, la vitesse dans la buse doit toujours être supérieure à la vitesse de propagation de la flamme dans le mélange utilisé, sinon la flamme rentre dans la buse. Par contre, si la vitesse du gaz est trop élevée, la flamme décollera de la buse.

Figure 1.10

CIRCUIT DU SOUDAGE THERMIQUE AUX GAZ

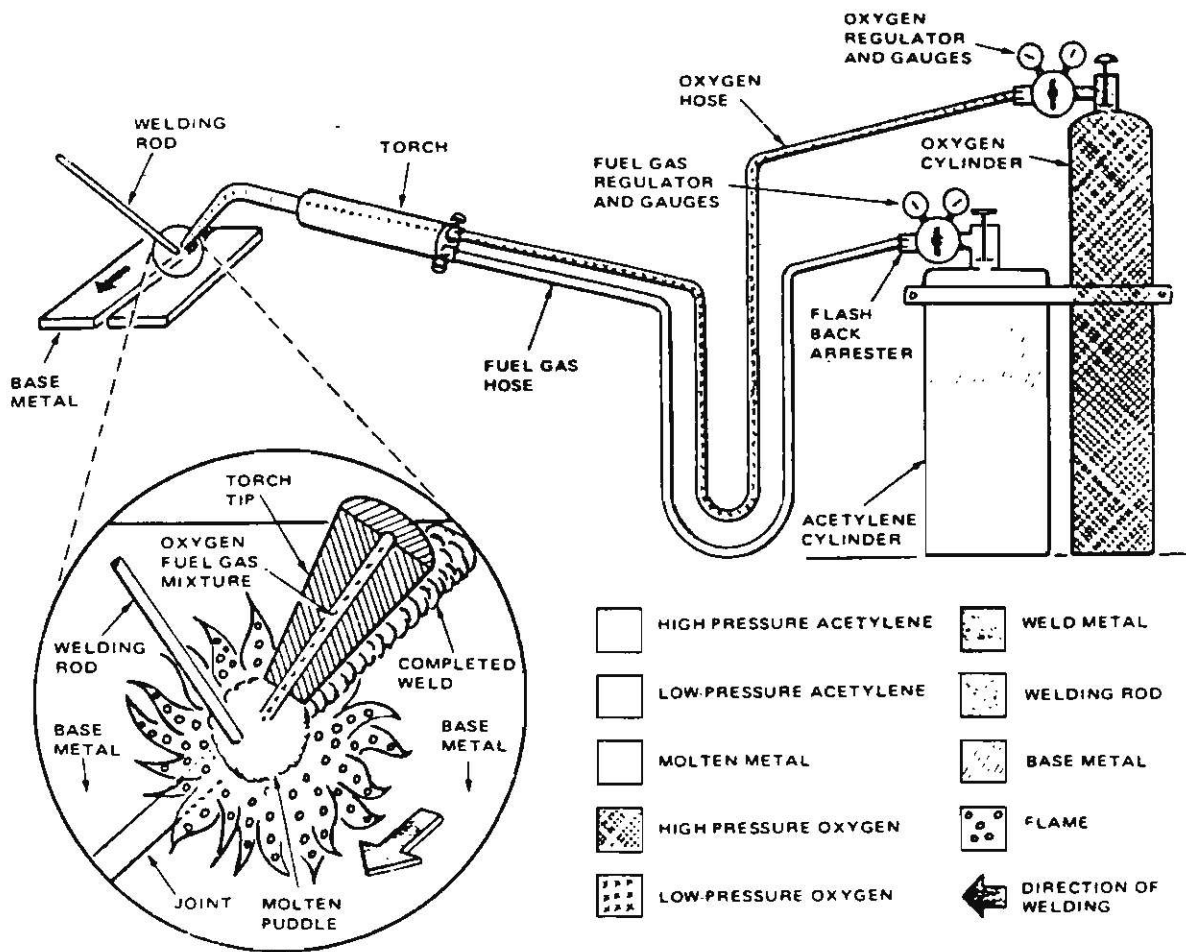


Figure 1.11

EQUIPEMENT OXYACETYLENIQUE POUR SOUDAGE ET DÉCOUPAGE

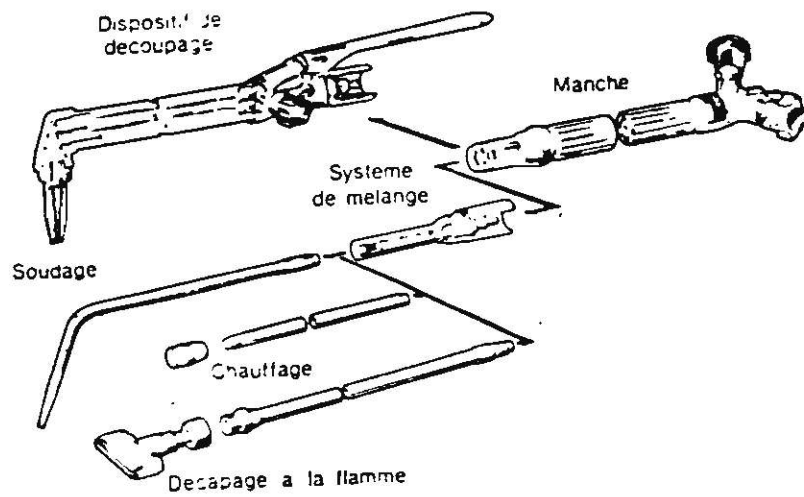
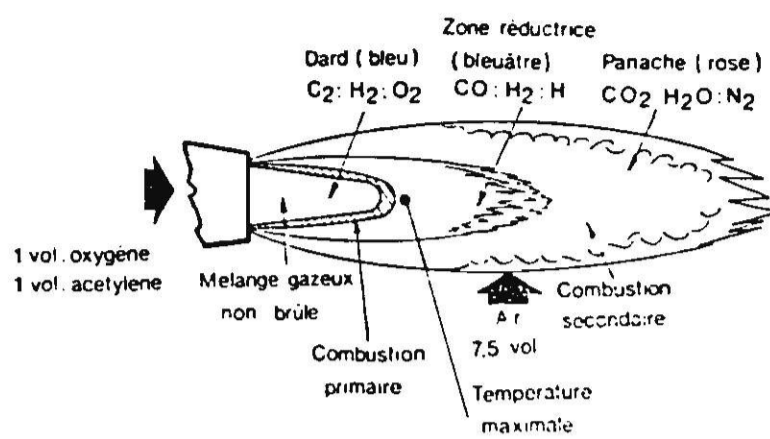


Figure 1.12

ZONES DE LA FLAMME OXYACETYLENIQUE



CHAPITRE II- INFLUENCE DES PARAMÈTRES DE BASE SUR LE TYPE ET LA QUANTITÉ D'ÉMISSION DES POLLUANTS

INTRODUCTION

La concentration et le type de fumées et de gaz émis lors des différents procédés de soudage sont influencés par:

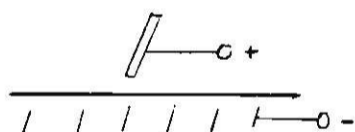
- le métal de base et le métal d'apport,
- l'enrobage de l'électrode,
- le gaz de protection,
- le revêtement du métal de base,
- les réactions se produisant durant les opérations de soudage (ex: formation de phosgène due à la dissociation d'hydrocarbures chlorés provenant des agents nettoyeurs).

À cette liste, nous pouvons ajouter d'autres paramètres de base qui auront aussi une influence sur la concentration et le type de fumées et de gaz émis. Dans ce chapitre, nous ne pouvons traiter que d'une partie de ces paramètres, car pour plusieurs d'entre eux, nous ne détenons pas d'étude scientifique et/ou pratique.

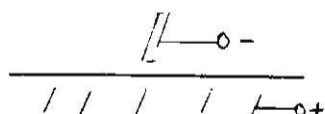
2.1 PARAMÈTRES PHYSIQUES RELIÉS AUX CONDITIONS DE SOUDAGE

2.1.1 INFLUENCE DE LA POLARITÉ ET DU TYPE DE COURANT

polarité inversée: l'électrode est reliée à la borne positive du générateur de courant.



polarité directe: l'électrode est reliée à la borne négative.

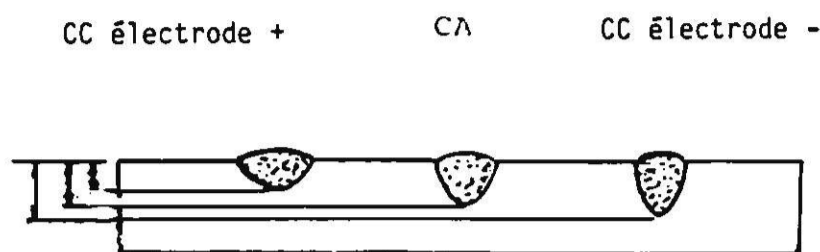


Le courant continu permet un arc stable, un transfert métallique en douceur, avec peu de perte par éclaboussure et un joint de soudure de bonne qualité. En courant continu, on retrouve les 2 types de polarité. Le courant alternatif permet d'utiliser un plus grand voltage que le courant continu, ainsi que des électrodes de plus grand diamètre.

Selon le type de courant (CC ou CA) et la polarité, la pénétration de la soudure diffère en profondeur. Ceci est illustré par la figure 2.1. Pour une même intensité de courant, la pénétration de la soudure sera plus profonde en courant continu avec électrode négative, qu'en courant alternatif et plus profonde encore qu'en courant continu avec électrode positive.

Figure 2.1

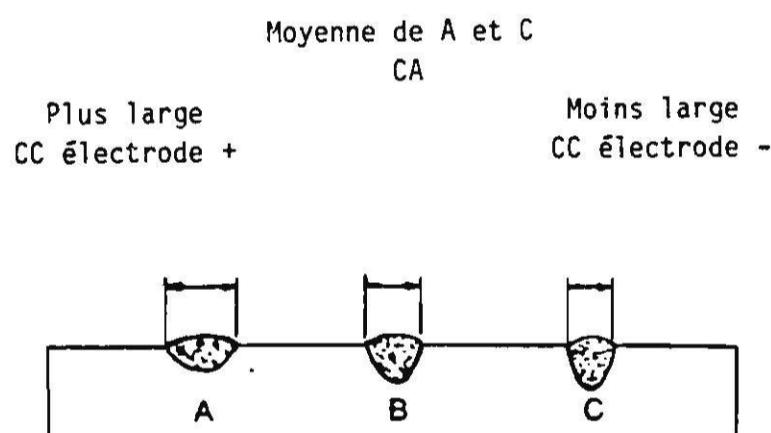
PROFONDEUR DE LA PÉNÉTRATION DE LA SOUDURE SELON LE TYPE
DE COURANT ET LA POLARITÉ



De plus, la largeur du cordon de soudure diffère selon le type de courant et la polarité utilisée (figure 2.2). Pour une même intensité de courant, le cordon de soudure est plus large en courant continu avec électrode positive, moyennement large en courant alternatif et moins large en courant continu avec électrode négative.

Figure 2.2

LARGEUR DU CORDON DE SOUDURE SELON LE COURANT ET LA POLARITÉ UTILISÉE



Influence sur les contaminants

Fumées de soudage:

Plusieurs études ont démontré que le soudage en courant continu à électrode positive (polarité inversée) produit le plus grand volume de fumée pendant le soudage. Selon ces études, des électrodes de type basique alimentées par un courant continu positif produisaient approximativement 30% plus de fumée que lorsqu'elles étaient alimentées par un courant continu négatif (figure 2.3).

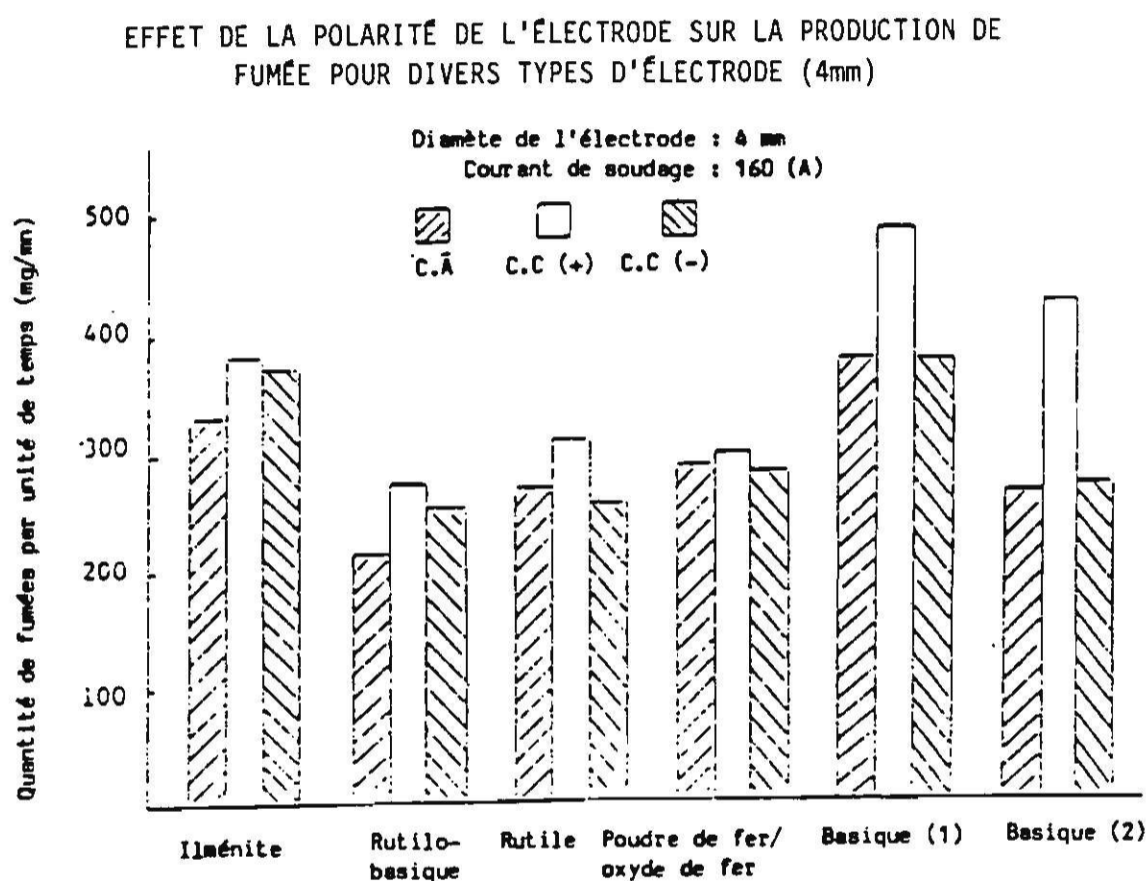
L'ampleur de la différence de concentration de fumées émises entre le soudage en courant continu positif ou négatif change selon le type de revêtement fondant de l'électrode (basique, rutile...)

La raison pour laquelle il y a une plus grande production de fumée lorsque l'électrode est reliée à la pôle positive est due au fait que cette dernière subit un chauffage plus élevé, ce qui accentue les taux de réaction des phénomènes de formation de la fumée.

Autres contaminants:

Nous n'avons pas trouvé de documentation portant sur l'influence de la polarité et du type de courant sur l'émission des autres contaminants.

Figure 2.3



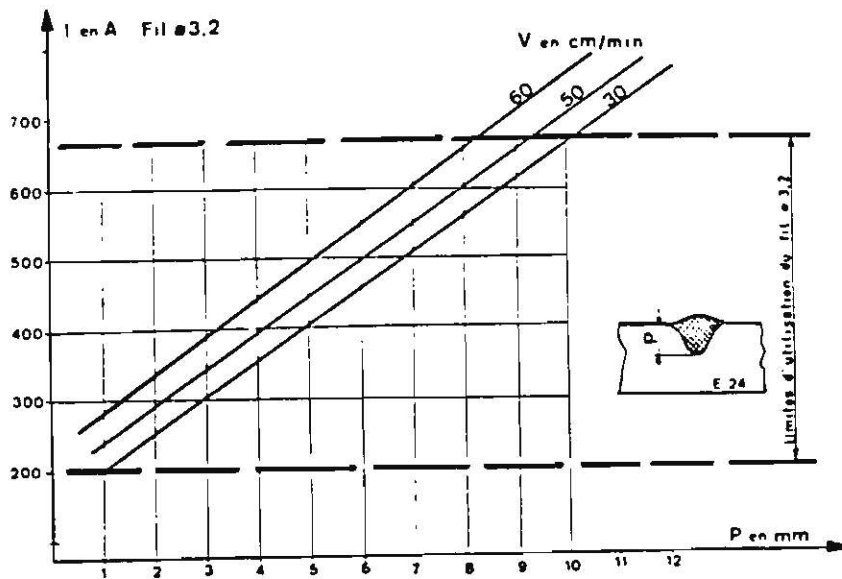
2.1.2 INFLUENCE DE L'INTENSITÉ DU COURANT DE SOUDAGE ET DE LA VITESSE DE SOUDAGE

On appelle intensité du courant de soudage, la quantité d'électricité qui traverse l'électrode et la pièce lorsque l'arc est amorcé. La vitesse de soudage est la vitesse d'avancement de l'électrode le long de la ligne à souder.

La figure 2.4 indique l'effet de l'intensité du courant sur la pénétration (= profondeur du bain de fusion formé dans le métal de base).

Figure 2.4

EFFET DE L'INTENSITÉ DU COURANT SUR LA PÉNÉTRATION

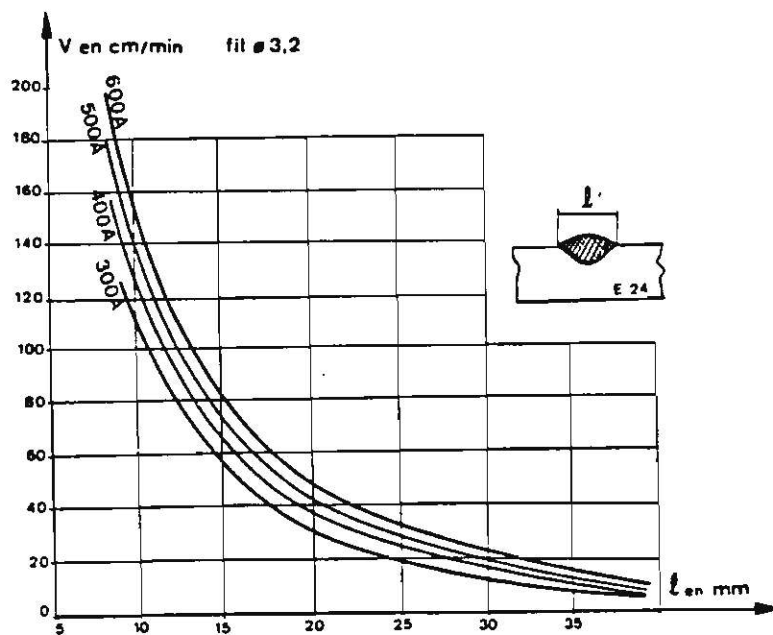


Courbes de détermination de la pénétration en soudage automatique sous flux solide.

On voit que la profondeur de la pénétration de la soudure augmente avec l'intensité du courant. Par contre, plus l'avancement du cordon de soudure est rapide, pour une même intensité de courant, moins la soudure est profonde. L'intensité du courant a peu d'influence sur la largeur et l'épaisseur du cordon de soudure, mais la vitesse de soudage, elle exerce une certaine influence sur ces deux paramètres. La largeur du cordon est inversement proportionnelle à la vitesse de soudage (voir figure 2.5).

Figure 2.5

EFFET DE LA VITESSE DE SOUDAGE SUR LA LARGEUR DU CORDON DE SOUDURE



Variations de la largeur du cordon en fonction de la vitesse de soudage et de l'intensité.

Des expériences portant sur la variation des deux facteurs (intensité et vitesse de soudage) ont donné les résultats suivants:

Résultat 1:

Si l'on augmente l'intensité du courant pour une même vitesse de soudage, il se déposera davantage de métal par unité de longueur. En effet, lorsqu'on augmente l'intensité du courant, la pièce est plus fortement chauffée, le métal en fusion se trouve donc porté à une température plus élevée (donc plus fluide), d'où une meilleure pénétration.

Résultat 2:

Si l'intensité est trop faible ou si la vitesse de soudage est trop rapide, ou les deux, il n'y aura presque pas de pénétration et par conséquent pas de liaison véritable entre le métal déposé et le métal de base.

Résultat 3:

Si l'intensité est trop grande ou si la vitesse de soudage est trop lente, ou les deux, il y aura pénétration excessive, d'où la formation de trous.

Influence sur les contaminants:

Nous avons trouvé uniquement de la documentation portant sur l'effet de variations de l'intensité de courant.

Fumées de soudage:

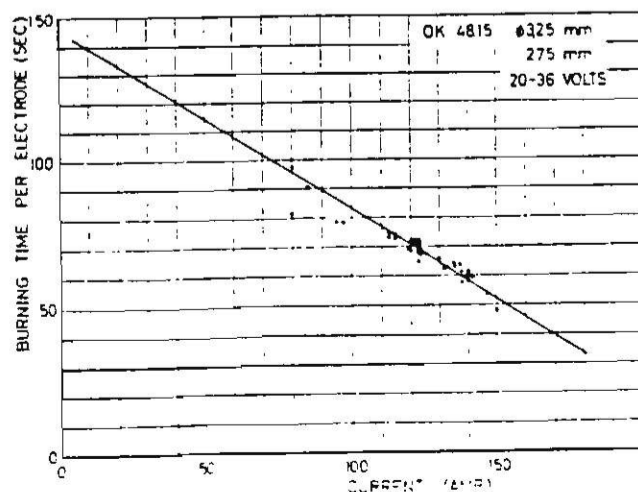
Lorsqu'on augmente l'intensité du courant, l'électrode brûle plus rapidement, tel qu'illustré à la figure 2.6.

En augmentant l'intensité du courant (on obtient donc une combustion plus rapide de l'électrode), on aura la production d'une quantité de fumée égale à celle produite en courant plus faible, mais dans un temps plus court. En milieu de travail, des concentrations de fumées plus élevées seront produites, car une quantité plus grande d'électrodes seront consommées pour une même période de temps.

Plusieurs études ont démontré que le taux de formation de fumée est presque proportionnel au carré de l'intensité du courant de soudage.

Figure 2.6

TEMPS DE COMBUSTION D'UNE ÉLECTRODE EN FONCTION DE L'INTENSITÉ DU COURANT

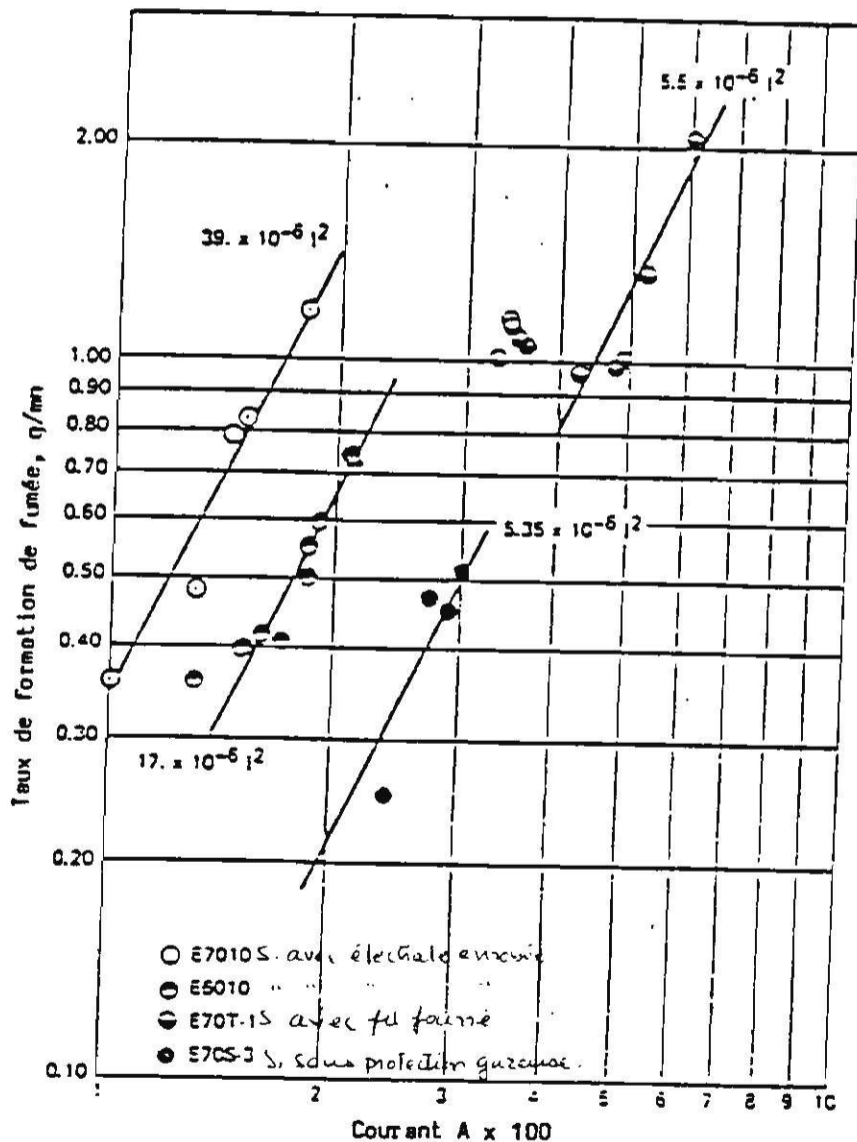


Temps de fusion par électrode OK 4815 en fonction de l'intensité du courant

La figure 2.7 présente le taux de formation de fumée en fonction de l'intensité du courant pour trois procédés de soudage: soudage à l'arc avec électrode enrobée, avec fil fourré et avec fil sous protection gazeuse. Pour chacun de ces procédés, le taux de formation de fumée augmente avec l'augmentation de l'intensité du courant. En comparant ces trois procédés entre eux, on remarque que le soudage à l'arc avec électrode enrobée (qui utilise un courant de faible intensité) produit un plus faible taux de formation de fumée que le soudage à l'arc avec fil fourré (qui utilise de plus forte intensité).

Figure 2.7

TAUX DE FORMATION DE FUMÉE PAR DES ÉLECTRODES ENROBÉES
DU FIL FOURRÉ ET DU FIL SOUS PROTECTION GAZEUSE EN FONCTION
DE L'INTENSITÉ DU COURANT



Autres contaminants

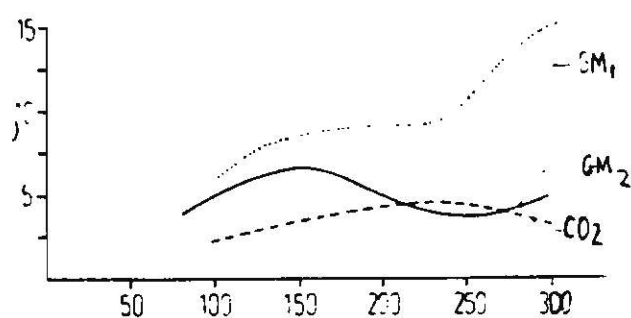
Malheureusement, il y a peu d'études traitant uniquement de l'effet de la variation de l'intensité du courant sur les concentrations des gaz émis. Une de ces études traite de la variation de la concentration des gaz émis due à l'utilisation de différents procédés et de différentes intensités de courant, tout en rappelant que plusieurs facteurs influent sur la formation de substances toxiques, soient la composition du gaz de protection (inhérent au procédé), l'intensité et la tension du courant de soudage et la composition du métal d'apport. Il est donc difficile de déterminer l'effet dû seulement à la variation de l'intensité du courant. Nous décrivons ci-dessous les résultats de cette étude faite par procédé de soudage.

A) Procédés Mig - Mag avec des variantes dans les mélanges de gaz

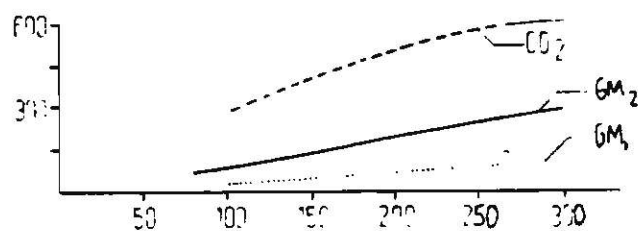
Figure 2.8

INFLUENCE DE L'INTENSITÉ DU COURANT SUR L'ÉMISSION DES GAZ (MIG-MAG)

Ozone (mg/m^3)



CO (mg/m^3)



Intensité du courant A

On remarque que lors d'une augmentation de l'intensité du courant, la quantité d'ozone émis augmente, mais ce jusqu'à une certaine intensité de courant où la forte émission de fumée contribue à faire diminuer la quantité d'ozone présent.

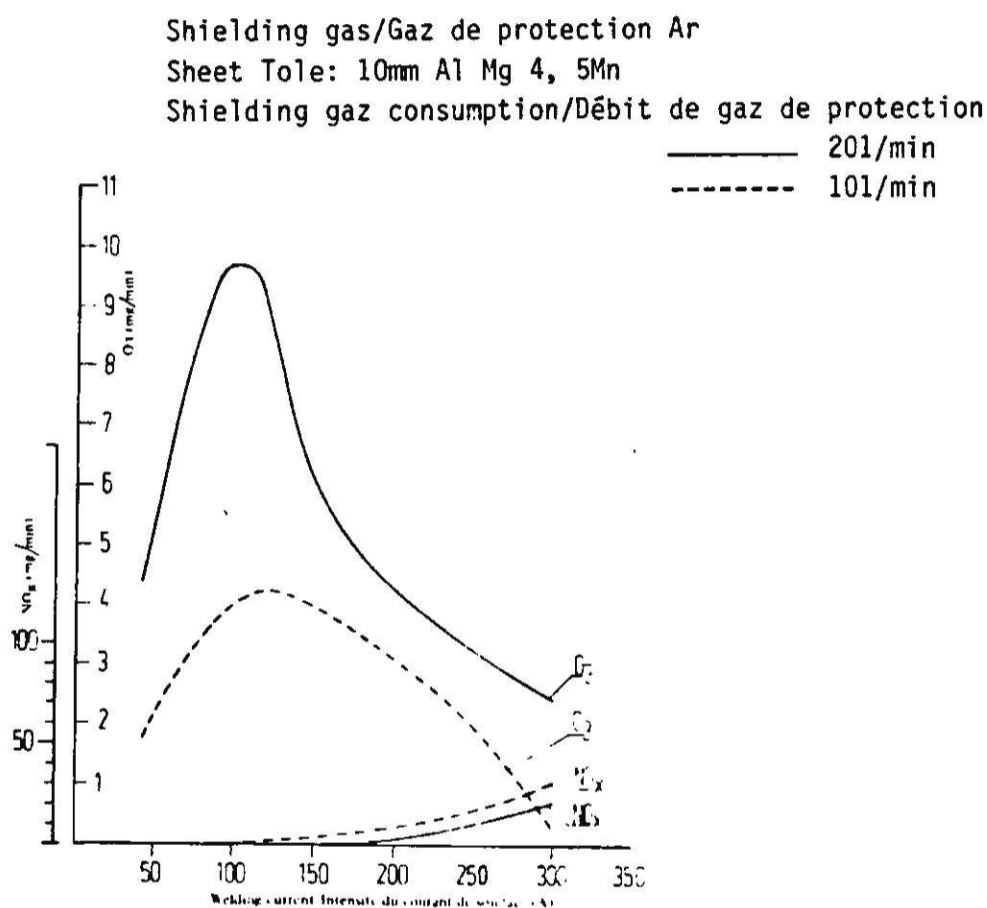
Par contre, la concentration de monoxyde de carbone émis augmente avec l'intensité du courant, et ce pour les trois mélanges de gaz.

B) Procédé Tig:

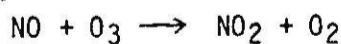
La quantité d'ozone augmente lors de l'augmentation de l'intensité du courant dans les faibles intensités, puis atteint un plateau (à $\sim 125A$) pour ensuite décroître dans la plage des fortes intensités. La concentration de NO_x est faible mais croît avec l'augmentation de l'intensité du courant (voir figure 2.9).

Figure 2.9

INFLUENCE DE L'INTENSITÉ DU COURANT SUR L'ÉMISSION DE GAZ (TIG)



En cas de soudage intermittent (soudage: 15 sec, pause: 15 sec) au lieu de soudage continu, la formation d'ozone croît uniquement dans la plage supérieure des valeurs d'intensité du courant, du fait que la formation d'oxydes d'azote est moindre pour les courtes périodes de soudage, ne permettant pas ainsi la réaction de l'oxyde d'azote avec l'ozone pour former du bioxyde d'azote.



Pour les autres procédés, nous n'avons pas de documentation.

2.1.3 INFLUENCE DE LA TENSION ET DE LA LONGUEUR D'ARC

La tension du courant électrique est considérée comme la pression électrique ou la différence de niveau électrique entre deux points d'un circuit. C'est la tension entre ces deux points qui provoque le passage du courant lorsque le circuit est fermé (électrode touche à la pièce à souder).

La tension se mesure en volts. Pour pouvoir amorcer un arc, la tension entre l'électrode et la pièce doit atteindre une certaine valeur (tension d'amorçage: entre 45 et 100 V selon l'électrode). Lorsque l'arc est amorcé, la tension existant entre l'électrode et la pièce est beaucoup plus faible (tension d'arc: 15 à 45 V). Pour une même électrode, cette tension est d'autant plus faible que l'arc est tenu plus court.

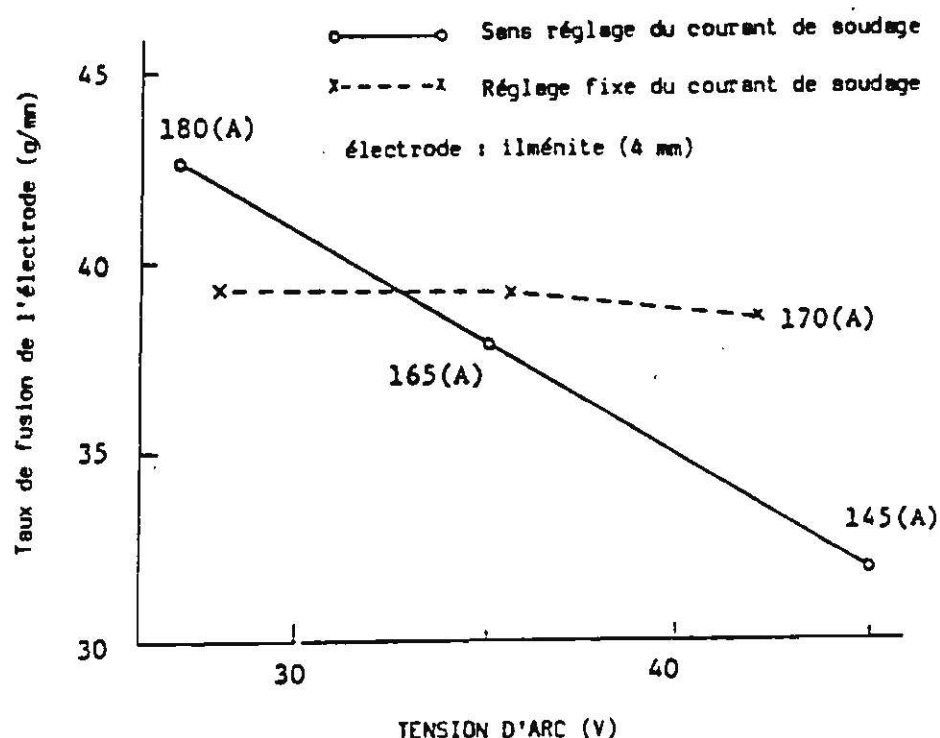
La tension d'arc varie selon le type d'électrode (nature, forme et diamètre), la longueur d'arc et l'intensité du courant:

- La tension d'arc est généralement plus élevée pour les électrodes de petit calibre que pour celles de gros diamètres.
- La tension d'arc est fonction croissante de la longueur d'arc pour une intensité de courant donnée.
- Dans le cas de densité de courant faible (10 et 20 A/mm² pour les électrodes réfractaires ou lentement fusibles comme les électrodes enrobées), la tension d'arc est peu affectée par l'intensité du courant.
- Dans le cas de densité de courant élevée (50 à 200 A/mm² pour les électrodes fusibles), la tension d'arc est reliée selon une fonction croissante à l'intensité du courant.

Notons que l'augmentation de la tension ne modifie pas le taux de fusion de l'électrode (figure 2.10).

Figure 2.10

RELATION ENTRE LA TENSION D'ARC ET LE TAUX DE FUSION DE L'ÉLECTRODE



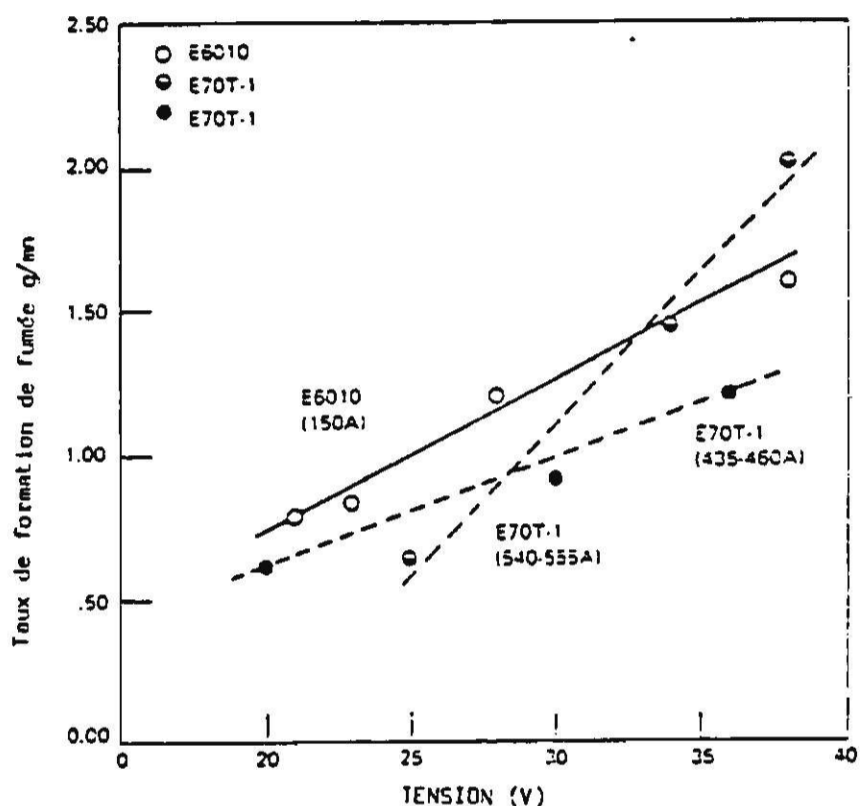
Influence sur les contaminants

Fumées de soudage:

Les variations de tension ont un effet réel sur les concentrations de fumées émises (figure 2.11).

Figure 2.11

TAUX DE FORMATION DE FUMÉE D'UNE ÉLECTRODE ENROBÉE E6010 ET D'UNE ÉLECTRODE CREUSE E70T-1 EN FONCTION DE LA TENSION POUR DES NIVEAUX D'INTENSITÉ CHOISIS



Comme on peut régler la tension en modifiant la longueur de l'arc, il n'est pas étonnant que les émissions de fumées soient influencées par la longueur d'arc, de la même façon que par les variations de tension.

Selon une étude, le contact de l'arc avec l'air ambiant et la détérioration possible du gaz de protection peuvent être les principales causes de l'augmentation de l'émission de fumée pendant les variations de tension et de longueur d'arc.

Autres contaminants:

La croissance de la longueur d'arc a pour effet de diminuer les niveaux de concentration d'ozone émis avec une augmentation de la concentration d'oxyde d'azote (NOx).

2.1.4 INFLUENCE DE LA DENSITÉ DU COURANT

La densité de courant se mesure en A/po^2 ou A/mm^2 . Pour les électrodes réfractaires ou lentement fusibles (ex.: électrodes enrobées), la densité de courant est faible et varie de 10 à 20 A/mm^2 . Pour les électrodes fusibles, la densité de courant est plus élevée, soit de 50 à 200 A/mm^2 .

Si on applique un courant constant à des électrodes de divers diamètres, la densité de courant sera inversement proportionnelle au diamètre de l'électrode.

Influence sur les contaminants

Les études essayant de faire le parallèle entre l'influence de la densité du courant et la concentration de fumées émises ont apporté beaucoup de confusion. Les chercheurs ont alors plutôt essayé de voir l'influence de la puissance fournie.

2.1.5 INFLUENCE DE LA PUISSANCE FOURNIE

Pour que l'opération de soudage puisse se poursuivre à vitesse régulière, il est nécessaire que la quantité de chaleur produite dans l'arc par unité de temps soit constante. Cette quantité de chaleur est proportionnelle à la puissance de l'arc, c'est-à-dire au produit de la tension aux bornes de l'arc par l'intensité du courant de soudage. La puissance s'exprime en watt. Ce produit doit donc rester constant, ce qui signifie que lorsque la tension diminue, l'intensité du courant doit augmenter, et inversement.

Influence sur les contaminants

Fumées de soudage:

Il s'agit d'études préliminaires, mais de toute évidence, une augmentation de la puissance aura pour effet d'augmenter la concentration de fumées émises. Dans l'avenir, cette représentation pourrait avoir une importante application pratique, car elle permet de prévoir avec plus de précision le taux de formation de fumée d'une électrode déterminée que le ferait la seule connaissance du courant ou de la tension.

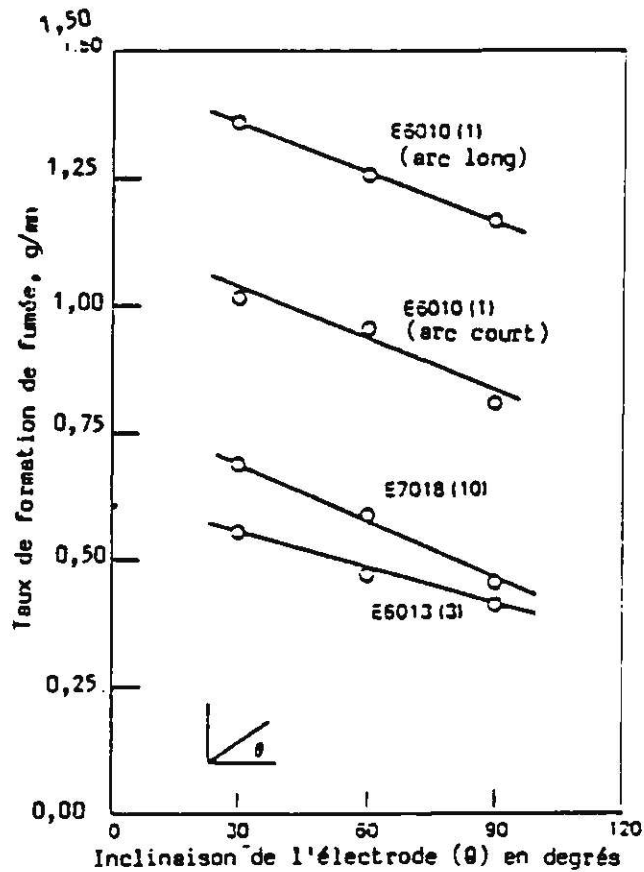
2.1.6 INFLUENCE DE L'INCLINAISON DE L'ÉLECTRODE

Influence sur les contaminants

Il a été observé des variations du taux de formation de fumée qui peuvent être reliées à l'angle que fait l'électrode par rapport à la pièce à souder. C'est lorsque l'électrode est presque perpendiculaire à la pièce à souder que la quantité de fumée produite est la plus basse. Plus l'inclinaison de l'électrode augmente, plus la quantité de fumée émise s'accroît. Mais ceci peut être attribué à l'augmentation de la longueur d'arc. En général on observe une augmentation de fumée de 15 à 20% pour une variation angulaire de 30°.

Figure 2.12

EFFET DE L'INCLINAISON DE L'ÉLECTRODE SUR LES TAUX DE
FORMATION DE FUMÉE DES ÉLECTRODES ENROBÉES



2.1.7 INFLUENCE DE LA POSITION DE SOUDAGE

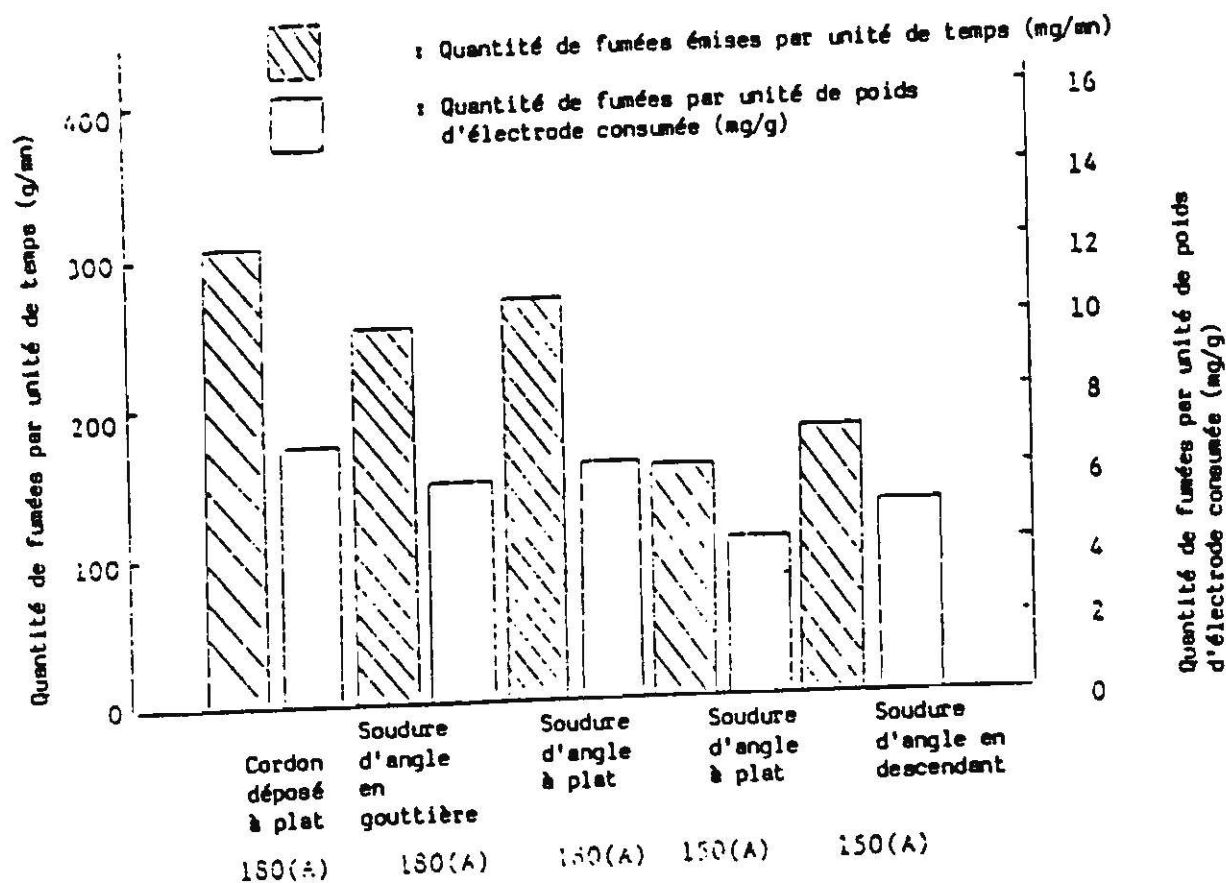
Influence sur les contaminants

Fumées de soudage:

Les émissions de fumée peuvent varier selon la position de soudage et la géométrie de l'assemblage (figure 2.13). On remarque que les cordons de soudure déposés à plat produisent régulièrement 15 à 20% de plus de fumée que les soudures d'angle. Ces différences sont attribuées au contact croissant de la fumée sur les pièces adjacentes, ce qui se traduit par un dépôt important de particules.

Figure 2.13

EFFET DE LA GÉOMÉTRIE ET DES POSITIONS DE SOUDAGE
SUR LA PRODUCTION DE FUMÉE



Une autre étude faite pour comparer les positions de soudage à l'horizontale et à la verticale a été faite. Le tableau 2.1 résume les résultats de cette étude.

Tableau 2.1

RÉSULTATS D'ÉCHANTILLONNAGE OBTENUS LORS DE SOUDAGE À L'HORIZONTALE
(FLAT) ET À LA VERTICALE AVEC ÉLECTRODE DE TYPE E-11018

Welding Position	Filter Location							
	Inside Helmet (à l'intérieur visière)				Outside Helmet			
	Fume Wt., mg(1)	Sample Vol., m ³	Sampling Time, s	Concentration, mg/m ³	Fume Wt., mg	Sample Vol., m ³	Sampling Time, s	Concentration, mg/m ³
Flat	0.45	9.55	85(3)	47.2	5.6	7.85	80(3)	713
Vertical	ND(2)	13.90	292(4)	--	0.2	13.8	300(4)	14.4

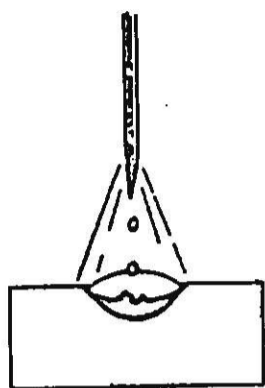
- (1) 2 échantillons par catégorie ont servis pour faire la moyenne du poids de fumées
- (2) N.D.: non détecté
- (3) 1 électrode utilisée par test
- (4) 4 électrodes utilisées par test

On remarque que la différence de poids de fumées (mg) ou les concentrations (mg/m³) est très grande entre les deux types de positions.

2.1.8 INFLUENCE DE LA MÉTHODE DE TRANSFERT

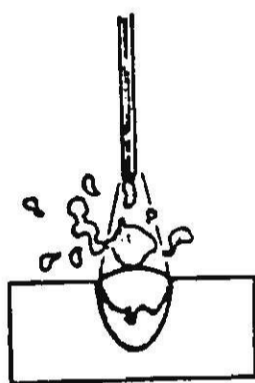
Le transfert du métal de l'électrode fusible vers le métal de base s'effectue suivant trois modes différents.

1) Transfert par pulvérisation (Spray)



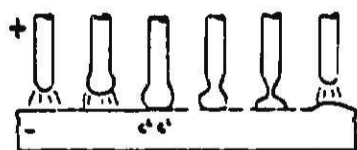
Le métal transite dans l'arc sous la forme de fines gouttelettes de diamètre inférieur à celui de l'électrode. L'emploi de gaz inertes conduit à ce type de transfert. L'intensité du courant est élevée.

2) Transfert globulaire (globules)



Le métal transite dans l'arc sous la forme de grosses gouttes dont le rythme est plus lent que le cas précédent. Ce transfert est observé sous protection de CO₂. Ce type de transfert se produit avec de faibles intensités de courant. Il présente peu d'intérêt pour la soudure, à cause de son rythme trop lent et sa pénétration médiocre. Il est utilisable seulement en position à plat.

3) Transfert par court circuit



La fusion est en général globulaire mais la goutte pendante touche le bain de fusion formant un pont liquide, ce qui provoque un court-circuit momentané entre l'électrode et la pièce.

Influence sur les contaminants

Fumées de soudage:

Quelques études démontrent qu'en général le transfert par pulvérisation produit plus de fumées de soudage que les deux autres méthodes de transfert.

Le tableau 2.2 présente un résumé des effets des différents paramètres physiques sur les concentrations de fumées et de gaz émis lors du soudage.

D'autres paramètres de base reliés aux conditions de soudage ont probablement un impact sur la concentration et la composition des fumées et des gaz émis. Mais malheureusement nous n'avons pas ou peu trouvé de documentation sur ces sujets. Voici une nomenclature non exhaustive de ces différents items:

- conditions de l'atmosphère: .luminosité
 - .présence d'autres polluants
 - .température de la pièce
- diamètre de la buse de soudure
- débit du gaz protecteur

TABLEAU 2.2 RÉSUMÉ DES EFFETS DES PARAMÈTRES PHYSIQUES SUR LES ÉMISSIONS DE CONTAMINANTS LORS DU SOUDAGE

38.

PARAMÈTRES PHYSIQUES	EFFET SUR LES FUMÉES DE SOUDAGE	EFFET SUR LES AUTRES CONTAMINANTS
Polarité et type de courant	Le soudage en courant continu et en polarité inversée (électrode positive) émet le plus de fumées	Aucune documentation disponible
Intensité de courant	Une augmentation de l'intensité de courant entraîne une augmentation de la concentration des fumées	En MIG - MAG, une augmentation de l'intensité de courant entraîne une augmentation de la concentration d'ozone jusqu'à un certain niveau, et par la suite une diminution de l'ozone à cause de l'augmentation des fumées. En TIG, une augmentation de l'intensité de courant entraîne une augmentation de la quantité d'ozone jusqu'à un plateau (125A), puis une diminution. Une augmentation de l'intensité de courant fait que les NO _x augmentent à partir du moment où l'ozone décroît.
Tension et longueur d'arc	Une augmentation de la tension (=augmentation de la longueur d'arc) entraîne une augmentation des fumées	Une augmentation de la tension entraîne une diminution de l'ozone et une augmentation des NO _x
Puissance	Une augmentation de la puissance entraîne une augmentation de fumées	
Inclinaison de l'électrode	Les fumées augmentent lorsque l'inclinaison de l'électrode passe de 90° à 30°	Aucune documentation disponible
Position de soudage	On observe une augmentation des fumées de 15 à 20% lorsque les cordons de soudure sont déposés à plat plutôt qu'en angle. Les fumées sont plus abondantes en soudage à l'horizontal qu'en vertical	
Méthode de transfert	Le soudage en transfert par pulvérisation produit plus de fumées	

2.2 CLASSIFICATION ET CONDITIONS DES ÉLECTRODES

Il existe une multitude d'électrodes sur le marché, actuellement. Ces électrodes varient en fonction du type de procédé de soudage pour lequel elles sont destinées, et pour un même procédé, en fonction du travail à exécuter.

Dans un premier temps, nous tâcherons de démêler les divers codes employés pour la classification de ces électrodes.

2.2.1 Divers codes employés

Les électrodes sont toutes désignées par un code numérique (AWS: "American Welding Society") et par un code couleur (NEMA: "National Electric Manufacturing Association"). Le "Canadian Standard Association" (CSA) a adopté les deux classifications américaines.

<u>Type de procédé</u>	<u>No. de la norme C.S.A.</u>
. Arc avec électrode enrobée	W.48.1, W.48.2, W.48.3
. Arc avec fil fourré	W.48.5
. Arc sous atmosphère protégée avec fil solide	W.48.4
. Arc submergé	W.48.6

Regardons plus en détail ces différentes normes

2.2.1.1 Électrodes pour acier doux (C.S.A. W.48.1-1976, "Mild Steel Covered Arc Welding Electrodes")

Elles sont désignées par 4 ou 5 chiffres précédés de la lettre E, pour électrode. Le code ressemblerait donc à ceci:

$$E(x, xx, y, z)$$

x

x = Deux (2) (ou trois (3)) premiers chiffres. Ils indiquent la charge de rupture du métal déposé en 1000 lbs/po² (PSI)
(ex.: 45,60,70,80,90,100,110,120)

y = Position de soudure. Le chiffre un (1) indique une électrode pouvant être utilisée en toutes positions (à plat, horizontale, au plafond, verticale...); le chiffre deux (2) indique une utilisation à plat et à l'horizontal; le chiffre trois (3) montre une utilisation à plat seulement, en rainure profonde; et le chiffre quatre (4) une utilisation verticale descendante.

z = Donne des caractéristiques de l'enrobage

y et z = Précisent le courant et la polarité

Les deux derniers chiffres donnent les mêmes propriétés. Par exemple, une E6010 sera semblable à une E8010, sauf pour les propriétés physiques. Vous trouverez dans le tableau 2.3 divers autres exemples.

Tableau 2.3

ÉLECTRODES POUR ACIER DOUX

Electrode Classification	Type of Covering	Capable of Producing Satisfactory Welds In Positions Shown*	Type of Current*
E6010	E7010	F, V, OH, H	dc, reverse polarity
E6011	E7011	F, V, OH, H	ac or dc, reverse polarity
E6012	E7012	F, V, OH, H	ac or dc, straight polarity
E6013	E7013	F, V, OH, H	ac or dc, either polarity
	E7014	F, V, OH, H	ac or dc, either polarity
	E7015	F, V, OH, H	dc, reverse polarity
	E7016	F, V, OH, H	ac or dc, reverse polarity
	E7018	F, V, OH, H	ac or dc, reverse polarity
E6020	E7020	H-Fillets	ac or dc, reverse polarity
		F	ac or dc, either polarity
	E7024	H-Fillets, F	ac or dc, either polarity
E6027	E7027	H-Fillets	ac or dc, straight polarity
		F	ac or dc, either polarity
	E7028	H-Fillets, F	ac or dc, either polarity
	E7038	F	ac or dc, reverse polarity
	E7046	V-Down	ac or dc, either polarity
	E7048	V-Down	ac or dc, either polarity

* The abbreviations, F, V, OH, H, and H-Fillets indicate welding positions (see Figure 5) as follows:

F = Flat
H = Horizontal
H-Fillets = Horizontal Fillets
I = Vertical Progression upwards
I-Down = Vertical Progression downwards
OH = Overhead

2.2.1.2 Électrodes pour aciers faiblement alliés
(C.S.A., W.48.3, "Low Alloy Steel Arc Welding Electrodes")

La classification de ces électrodes est identique à la précédente, sauf qu'une lettre souvent elle-même accompagnée d'un chiffre a été ajoutée à la fin des chiffres afin de désigner correctement la composition chimique du métal déposé. Une classification complète serait donc, par exemple, E-7010-A1, E-8016-C2, etc... Le détail de la composition chimique de ce métal versus le code employé est le suivant:

<u>Code</u>	<u>Composés chimiques</u>
A1	½% Mo
B1	½% Cr, ½% Mo
B2	1½% Cr, ½% Mo
B3	2½% Cr, 1% Mo
C1	2½% Ni
C2	3½% Ni
C3	1% Ni, 0.35% Mo, 0.15% Cr
D1 et D2	0.25% à 0.45% Mo, 1.25 à 2.00% Mn
G	0.50% min Ni, 0.30% min Cr, 0.20% min Mo, 0.10% V
M	1.3% à 1.8% Mn, 1.25% à 2.50% Ni, 0.40% Cr, 0.25% à 0.50% Mo, 0.05% max V

Le tableau 2.4 présente quelques électrodes utilisées pour le soudage sur aciers faiblement alliés

Tableau 2.4

ÉLECTRODES POUR ACIERS FAIBLEMENT ALLIÉS

NOTE: Single values shown are maximum percentages, except where otherwise specified

Electrode Classification*	Chemical Composition, Per Cent								
	Carbon	Manganese	Phosphorus	Sulphur	Silicon	Nickel	Chromium	Molybdenum	Vanadium
CARBON MOLYBDENUM STEEL ELECTRODE									
E7010-A1	0.12	0.60	0.03	0.04	0.40	—	—	0.40 — 0.65	—
E7011-A1	0.12	0.60	0.03	0.04	0.40	—	—	0.40 — 0.65	—
E7015-A1	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	—	—	0.40 — 0.65	—
E7016-A1	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	—	—	0.40 — 0.65	—
E7018-A1	0.12	0.90	0.03	0.04	0.80	—	—	0.40 — 0.65	—
E7020-A1	0.12	0.60	0.03	0.04	0.40	—	—	0.40 — 0.65	—
E7027-A1	0.12	1.00	0.03	0.04	0.40	—	—	0.40 — 0.65	—
CHROMIUM-MOLYBDENUM STEEL ELECTRODES									
E8016-B1	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	—	0.40 — 0.65	0.40 — 0.65	—
E8018-B1	0.12	0.90	0.03	0.04	0.80	—	0.40 — 0.65	0.40 — 0.65	—
E8015-B2L	0.05	0.90	0.03	0.04	1.00	—	1.00 — 1.50	0.40 — 0.65	—
E8016-B2	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	—	1.00 — 1.50	0.40 — 0.65	—
E8018-B2	0.12	0.90	0.03	0.04	0.80	—	1.00 — 1.50	0.40 — 0.65	—
E8018-B2L	0.05	0.90	0.03	0.04	0.80	—	1.00 — 1.50	0.40 — 0.65	—
E9015-B3L	0.05	0.90	0.03	0.04	1.00	—	2.00 — 2.50	0.90 — 1.20	—
E9015-B3	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	—	2.00 — 2.50	0.90 — 1.20	—
E9016-B3	0.12	0.90	0.03	0.04	0.60	—	2.00 — 2.50	0.90 — 1.20	—
E9018-B3	0.12	0.90	0.03	0.04	0.80	—	2.00 — 2.50	0.90 — 1.20	—
E9018-B3L	0.05	0.90	0.03	0.04	0.80	—	2.00 — 2.50	0.90 — 1.20	—
E8016-B4	0.05	0.90	0.03	0.04	1.00	—	1.75 — 2.25	0.40 — 0.65	—
E8016-B5	0.07 — 0.15	0.40 — 0.70	0.03	0.04	0.30 — 0.60	—	0.40 — 0.60	1.00 — 1.25	0.05
NICKEL STEEL ELECTRODES									
E8016-C1	0.12	1.20	0.03	0.04	0.60	2.00 — 2.75	—	—	—
E8018-C1	0.12	1.20	0.03	0.04	0.60	2.00 — 2.75	—	—	—
E8016-C2	0.12	1.20	0.03	0.04	0.60	3.00 — 3.75	—	—	—
E8018-C2	0.12	1.20	0.03	0.04	0.60	3.00 — 3.75	—	—	—
E8016-C3	0.12	0.40 — 1.10	0.03	0.03	0.80	0.80 — 1.10	0.15	0.35	0.05
E8018-C3	0.12	0.40 — 1.10	0.03	0.03	0.80	0.80 — 1.10	0.15	0.35	0.05

Tableau 2.4 (Suite)

ÉLECTRODES POUR ACIERS FAIBLEMENT ALLIÉS

MANGANESE-MOLYBDENUM STEEL ELECTRODES

E9015-D1	0.12	1.25 — 1.75	0.03	0.04	0.60	—	—	0.25 — 0.45	—
E9018-D1	0.12	1.25 — 1.75	0.03	0.04	0.80	—	—	0.25 — 0.45	—
E10015-D2	0.15	1.65 — 2.00	0.03	0.04	0.60	—	—	0.25 — 0.45	—
E10016-D2	0.15	1.65 — 2.00	0.03	0.04	0.60	—	—	0.25 — 0.45	—
E10018-D2	0.15	1.65 — 2.00	0.03	0.04	0.80	—	—	0.25 — 0.45	—

ALL OTHER LOW-ALLOY STEEL ELECTRODES

EXX10-G	—	1.00 min*	—	—	0.80 min*	0.50 min*	0.30 min*	0.20 min*	0.10 min*
EXX11-G	—	1.00 min*	—	—	0.80 min*	0.50 min*	0.30 min*	0.20 min*	0.10 min*
EXX13-G	—	1.00 min*	—	—	0.80 min*	0.50 min*	0.30 min*	0.20 min*	0.10 min*
EXX15-G	—	1.00 min*	—	—	0.80 min*	0.50 min*	0.30 min*	0.20 min*	0.10 min*
EXX16-G	—	1.00 min*	—	—	0.80 min*	0.50 min*	0.30 min*	0.20 min*	0.10 min*
EXX18-G	—	1.00 min*	—	—	0.80 min*	0.50 min*	0.30 min*	0.20 min*	0.10 min*
E7020-G	—	1.00 min*	—	—	0.80 min*	0.50 min*	0.30 min*	0.20 min*	0.10 min*
E9018-M	0.10	0.60 — 1.25	0.03	0.03	0.80	1.40 — 1.80	0.15	0.35	0.05
E10018-M	0.10	0.75 — 1.70	0.03	0.03	0.60	1.40 — 2.10	0.35	0.25 — 0.50	0.05
E11018-M	0.10	1.30 — 1.80	0.03	0.03	0.60	1.25 — 2.50	0.40	0.30 — 0.55	0.05
E12018-M	0.10	1.30 — 2.25	0.03	0.03	0.60	1.75 — 2.25	0.30 — 1.50	0.30 — 0.55	0.05

*The suffixes A1, B3, C2, etc., designate the chemical composition of the electrode classification.

*In order to meet the alloy requirements of the G group, the weld deposit need have the minimum, as specified in Table 2 of only one of the elements listed

2.2.1.3 Électrodes pour acier inoxydable (C.S.A. W.48.2-1977, "Corrosion-Resisting, Chromium-Nickel Steel Covered Welding Electrodes")

La classification de ce type d'électrode, quoiqu'en partie similaire à ce qu'on a vu jusqu'à maintenant, est plus complexe à cause des différents alliages rencontrés dans les aciers inoxydables. Les principaux alliages contiennent, soit du chrome (15 à 25%), soit du chrome et du nickel (14 à 30% - 6 à 36%) (alliages de type austénite), soit du carbone (0.05% et 1%) (quelques-uns des aciers inoxydables du type martensite).

La lettre E, pour électrode, et les trois premiers chiffres, se rapportant à la composition, restent semblables. Après ces chiffres, on aura à l'occasion une ou plusieurs lettres indiquant une modification à la composition chimique de base. En dernier lieu, deux chiffres désignent le type de courant à utiliser. Voir les exemples au tableau 2.5.

Tableau 2.5

ÉLECTRODES POUR ACIER INOXYDABLE

Electrode Classification	Carbon	Chromium	Nickel	Molybdenum	Calcium Plus Tantalum	Manganese	Silicon	Phosphorus	Sulphur	Tungsten	Copper
	Per Cent	Per Cent	Per Cent	Per Cent	Per Cent	Per Cent	Per Cent	Per Cent	Per Cent	Per Cent	Per Cent
E307	0.13	18.0-20.5	9.0-10.5	0.5-1.5	—	3.3-4.75	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E308	0.02	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E308L	0.04	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E308Mo	0.08	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E308MoL	0.04	18.0-21.0	9.0-12.0	2.0-3.0	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E309	0.15	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E309L	0.04	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E309Cb	0.12	22.0-25.0	12.0-14.0	0.5	0.7-1.0	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E309Mo	0.12	22.0-25.0	12.0-14.0	2.0-3.0	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E310	0.20	25.0-28.0	20.0-22.5	0.5	—	1.0-2.5	0.75	0.03	0.03	—	0.5
E310L	0.25-0.45	25.0-28.0	20.0-22.5	0.5	—	1.0-2.5	0.75	0.03	0.03	—	0.5
E310Cb	0.12	25.0-28.0	20.0-22.5	0.5	0.7-1.0	1.0-2.5	0.75	0.03	0.03	—	0.5
E310Mo	0.12	25.0-28.0	20.0-22.5	2.0-3.0	—	1.0-2.5	0.75	0.03	0.03	—	0.5
E312	0.15	28.0-32.0	8.0-10.5	0.5	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E318-0-2	0.10	14.5-16.5	7.5-9.5	1.0-2.0	—	1.0-2.5	0.60	0.03	0.03	—	0.5
E318	0.02	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-2.5	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E318L	0.04	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-2.5	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E317	0.08	18.0-21.0	12.0-14.0	3.0-4.0	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E317L	0.04	18.0-21.0	12.0-14.0	3.0-4.0	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E318	0.02	17.0-20.0	11.0-14.0	2.0-2.5	6xC mm to 1.00 max	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E320	0.07	18.0-21.0	32.0-36.0	2.0-3.0	8xC mm to 1.00 max	1.0-2.5	0.60	0.04	0.03	—	3.0-4.0
E330	0.25	14.0-17.0	32.0-37.0	0.5	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E330Mo	0.25-0.45	14.0-17.0	32.0-37.0	0.5	—	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E347	0.02	18.0-21.0	9.0-11.0	0.5	8xC mm to 1.00 max	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E348	0.13	18.0-21.0	8.0-10.0	0.30-0.65	1.75-1.2	1.0-2.5	0.90	0.04	0.03	1.25-1.75	0.5
E410	0.12	11.0-13.5	0.80	0.5	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E410MA	0.02	11.0-12.5	4.0-5.0	0.40-0.70	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E430	0.10	15.0-18.0	0.80	0.5	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E501	0.10	4.0-6.0	0.40	0.45-0.65	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E502	0.10	8.0-10.5	0.40	0.85-1.20	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E503	0.10	6.0-8.0	0.40	0.45-0.65	—	1.0	0.90	0.04	0.03	—	0.5
E507	0.25	16.0-18.75	4.5-5.0	0.75	0.15-0.30	0.25-0.75	0.75	0.04	0.03	—	0.25-0.40

2.2.1.4 Électrodes pour le soudage à l'arc avec fil fourré (C.S.A., W.48.5-1970, "Mild Steel Electrodes for Flux Cored Arc Welding")

Cette norme donne des spécifications au niveau des électrodes utilisées pour le soudage des aciers doux et faiblement alliés sous ou sans protection gazeuse. Le système de classification est le même que le précédent. On aura par exemple, une électrode E70T-3, où le E est pour électrode, les deux chiffres suivants précisent la charge de rupture, le T désigne une électrode fourrée, et le dernier chiffre informe sur la composition chimique du métal d'apport. Pour d'autres exemples, voir le tableau 2.6.

Tableau 2.6

ÉLECTRODES POUR LE SOUDAGE À L'ARC AVEC FIL FOURRÉ

Electrode Classification	Chemical Composition, Per Cent						
	Manganese	Silicon	Nickel	Chromium	Molybdenum	Vanadium	Aluminum
E60T-7	1.50	0.90	0.50	0.20†	0.30†	0.08†	1.8
E60T-8	1.50	0.90	0.50	0.20†	0.30†	0.08†	1.0
E70T-1	1.75	0.90	0.30†	0.20†	0.30†	0.08†	...
E70T-2	no chemical requirements						
E70T-3	no chemical requirements						
E70T-4	1.50	0.90	0.50	0.20†	0.30†	0.08†	1.8
E70T-5	1.50	0.90	0.30†	0.20†	0.30†	0.08†	...
E70T-6	1.50	0.90	0.50	0.20†	0.30†	0.08†	...
E70T-9	1.50	0.90	0.30†	0.20†	0.30†	0.08†	...
E70T-G	no chemical requirements						

*Chemical composition requirements for electrodes are based on the analysis of deposited weld metal.

†These elements may be present but are not intentionally added. Table 1 — Add the following two lines to Table 1:

Electrode Classification	Chemical Composition, Per Cent	
	Manganese	Silicon
E70T-G1	no chemical requirements	
E70T-G2	no chemical requirements	

2.2.1.5 Électrodes pour le soudage sous protection gazeuse (C.S.A., W.48,4-1978, "Solid Mild Steel Electrodes for Gas Metal Arc Welding")

La classification de ce type d'électrode est très similaire à la précédente. Par exemple, on aurait une E70S-5, où tous les chiffres et lettres indiquent les mêmes paramètres que précédemment, sauf pour le S, qui désigne une électrode solide et dénudée.

Tableau 2.7

ÉLECTRODES POUR LE SOUDAGE SOUS PROTECTION GAZEUSE

Electrode Classification	Chemical Composition, Per Cent							
	Carbon	Manganese	Silicon	Phosphorus	Sulphur	Titanium	Zirconium	Aluminum
E70S-1	0.06	0.90 to 1.40	0.40 to 0.70	0.025	0.035	0.05 to 0.15	0.02 to 0.12	0.05 to 0.15
E70S-2	0.06 to 0.15	0.90 to 1.40	0.45 to 0.70	0.025	0.035	—	—	—
E70S-4	0.07 to 0.15	0.90 to 1.40	0.65 to 0.85	0.025	0.035	—	—	—
E70S-5	0.07 to 0.19	0.90 to 1.40	0.30 to 0.50	0.025	0.035	—	—	0.50 to 0.90
E70S-6	0.07 to 0.15	1.40 to 1.85	0.80 to 1.15	0.025	0.035	—	—	—
E70S-7	0.07 to 0.15	1.50 to 1.85	0.65 to 0.85	0.025	0.035	—	—	—
E70S-G	No chemical requirements							

Notes:

(1) Single values shown are maxima.

(2) The maximum percentage of copper shall be 0.50, which shall include any copper coating applied to the electrode.

2.2.1.6 Électrodes pour arc submergé (C.S.A., W.48.6-1977, "Bare Mild Steel Electrodes and Fluxes for Submerged Arc Welding")

C'est encore une fois une classification similaire aux précédentes, avec toutefois de nouvelles variables dues à la combinaison fil-décapant. Par exemple, dans une électrode F-72-EH14-N, F est pour flux, 7 est pour la charge de rupture, 2 indique que le fil-décapant a un dépôt de métal ayant une face minimale d'impact de 20 lb-pi., à -20°F, EH14 précise la composition chimique, et N le grade nucléaire.

Ce qui nous intéresse étant la composition chimique, on regardera plus soigneusement les indications Exxx.

Tableau 2.8

ÉLECTRODES POUR ARC SUBMERGÉ

Chemical Composition, Per Cent							
Electrode Classification	Carbon	Manganese	Silicon	Sulphur	Phosphorus	Copper*	Total Other Elements
Low Manganese Classes							
EL8	0.10	0.30—0.55	0.05	}	}	}	}
EL8K	0.10	0.30—0.55	0.10—0.20				
EL12	0.07—0.15	0.35—0.60	0.05				
Medium Manganese Classes							
EM5K†	0.06	0.90—1.40	0.40—0.70	}	0.030	0.30	0.50
EM12	0.07—0.15	0.85—1.25	0.05				
EM12K	0.07—0.15	0.85—1.25	0.15—0.35				
EM13K	0.07—0.19	0.90—1.40	0.45—0.70				
EM15K	0.12—0.20	0.85—1.25	0.15—0.35				
High Manganese Class							
EH14	0.10—0.18	1.75—2.25	0.05				

2.2.1.7 Note finale sur les divers codes employés

L'information contenue dans les diverses classifications peut permettre de prévoir quel type de contaminants (autres que les composants majeurs, tel fer ou aluminium) on pourrait retrouver dans l'environnement de travail. Il faut toutefois noter que la composition chimique minimale de métal déposé tel que présentée dans les normes ne donne pas d'indications sur tous les constituants chimiques de l'électrode, et qu'en plus certains de ces éléments chimiques sont en si faibles concentrations que même s'ils sont très toxiques, ils ne représentent pas de réel danger.

(Pour plus d'informations sur le contexte particulier du D.S.C. Maisonneuve-Rosemont, se référer au rapport produit en août 1986 par Julie McCabe, et intitulé "Regard statistique sur les analyses de métaux échantillonnés sur le territoire du D.S.C. Maisonneuve-Rosemont").

2.2.2 Enrobages d'électrodes

Dans cette section, nous nous attarderons sur le procédé le plus répandu dans les usines, soit le soudage à arc manuel avec électrode enrobée, et principalement sur les divers enrobages rencontrés pour les électrodes reliées à ce procédé.

2.2.2.1 Utilités des enrobages

Mais tout d'abord à quoi sert l'enrobage? Dans un premier temps, il génère un gaz protecteur autour de l'arc et prévient l'oxydation du métal fondu au fur et à mesure de la progression de l'arc. Il procure aussi des agents désoxydants et du décapant ("flux") pour nettoyer la soudure, et évite la formation de grains dans la structure métallique. Grâce à lui, l'arc s'établit et se maintient plus facilement, le risque de coller lors de l'ignition est réduit, et l'arcage entre les côtés de la tige et l'ouvrage est prévenu puisque l'enrobage est habituellement non conducteur.

Il permet aussi d'ajouter des éléments pour constituer certains alliages et c'est également lui qui laisse une couche de scories (laitier) protégeant le bain de soudure de l'air et en ralentissant le refroidissement. Ce laitier dissout et retient les oxydes de fer et de manganèse qui réduiraient les propriétés physiques de la soudure et il contrôle la forme et le fini du cordon par sa composition.

On constate que l'enrobage d'électrode joue plusieurs rôles très importants au bon fonctionnement du procédé. Mais tout n'est pas si simple, car il existe plusieurs types d'enrobages et chacun a ses propriétés et ses contaminants particuliers. Regardons maintenant ces divers enrobages.

2.2.2.2 Divers types d'enrobage rencontrés

Selon la littérature consultée, on retrouvera quatre ou cinq grandes catégories. Il y a d'abord l'enrobage à base de rutil, qui contient beaucoup d'oxydes de titane (TiO_2). Vient ensuite l'enrobage cellulosique, contenant de la cellulose ou sodium et au potassium, de la silice, du titane et ayant une forte teneur en hydrogène. Il y a aussi l'enrobage oxydant, à base d'oxydes et de silicates de fer et l'enrobage acide, qui contient les mêmes oxydes que le précédent, mais également des ferro-alliages (ferro-manganèse, ferro-silicium, ferro-titane). En dernier lieu, on retrouve l'enrobage basique, à forte teneur en carbonates inorganiques (de calcium, de magnésium) et entouré d'un "fondant" (fluor spath, cryolite). Il est à faible teneur en hydrogène. Le tableau 2.9 donne le détail des divers types d'enrobages généralement rencontrés. Le chiffre à côté du type d'enrobage réfère au dernier chiffre rencontré dans la classification, ou "z" (voir 2.2.1.1)

Tableau 2.9

TYPES D'ENROBAGES

<u>COURANT</u>	<u>POLARITÉ</u>	<u>TYPE D'ENROBAGE</u>
CA ou CC	Inversée (positive)	0 - À base de cellulose sodium
	Normale (négative)	1 - À base de cellulose, calcium et potassium
		2 - Base de rutil (TiO_2) et sodium
		3 - Base de rutil et potassium
		4 - Base de rutil et poudre de fer
		5 - Basse teneur en hydrogène (basique) plus sodium
		6 - Basse teneur en hydrogène (basique) plus potassium
		7 - Base de cellulose plus poudre de fer
8 - Basse teneur en hydrogène (basique) plus poudre de fer		

Pour compléter ce rapide survol des différents enrobages, mentionnons une dernière variété que nous avons relevé dans une unique source et qui s'appelle l'enrobage neutre. Il contiendrait de faibles quantités de divers éléments susmentionnés.

2.2.2.3. Quelques grands principes et/ou caractéristiques

En plus de la composition de l'enrobage, l'épaisseur de celui-ci influencera les caractéristiques d'utilisation et l'émission de fumées. En effet, plus l'épaisseur du recouvrement augmente, meilleures sont les caractéristiques de l'arc. On retrouvera donc le recouvrement "en bain de nettoyage", obtenu par arrosage de la tige et n'ayant que quelques mils d'épaisseur. Il peut être de plusieurs types, dépendamment du procédé et/ou de l'utilisation prévue, qui est principalement le rechargement ou le soudage par points. On aura par la suite ce qu'on rencontre dans la majorité des cas, soit un recouvrement mince, moyen ou épais. Le mince compte pour 10 à 20% du poids total de l'électrode. Appliqué par extrusion, on le retrouve par exemple, sur le E6011, E6012, E7015, E8016, etc... Le moyen compte pour 20 à 35% du poids total de l'électrode et la poudre de fer est présente en quantité de 20 à 35% dans l'enrobage proprement dit, (exemples: E7014, E7010, E8018,...). L'épais compte également pour 20 à 35% du poids total de l'électrode et il est riche en poudre de fer (ex.: E6022, E7024, E7028, ...).

En résumé, on peut dire que les électrodes avec un dépôt épais de scories (laitier) génèrent peu de gaz. Ils transportent un ampérage élevé et ont des vitesses de déposition rapides; ils sont donc bons pour des joints larges effectués à plat. De l'autre côté, les électrodes créant beaucoup de gaz ont peu de scories. Ils travaillent avec un ampérage plus faible et leurs vitesses de déposition sont plus lentes; ils sont donc utilisés pour souder en position verticale et au-dessus de la tête. Bien entendu, on aura une grande variété entre ces deux "extrêmes".

L'addition de poudre de fer à l'enrobage, tant qu'à elle, accroît la vitesse de déposition et tire un meilleur profit de l'énergie utilisée pour la production de l'arc. À l'extrême, un enrobage épais et à haute teneur en poudre de fer créera un creuset relativement profond à la pointe de l'électrode. Dans ce cas, la chaleur de l'arc sera contenue dans le creuset, et on aura une longueur d'arc constante en gardant la pointe de l'électrode en contact avec le métal à souder. C'est ce qu'on appelle "drag electrode" ou littéralement électrode "à trainer".

2.2.2.4. Détail des composants et exemples

En dernier lieu, comme complément d'information, nous reproduisons des extraits d'un article paru dans la revue "Prévention" de décembre '82; en premier, on donnera un peu plus de détails sur les principaux composants rencontrés et sur le métal d'apport, puis ceci sera suivi d'exemples d'électrodes régulièrement rencontrés et de leur contenu.

COMPOSANTS DES ENROBAGES

La rutilé

De couleur brune ou noire, elle permet un arc stable et lisse.

L'argile, le silicium, le mica, le kaolin

Ils fournissent la base du mélange qui donne l'adhérence à la tige, la friabilité, la vitesse de refroidissement, la viscosité et la tension du surface du laitier.

Les composés de potassium comme le feldspar, le titanate et autres

Pour stabiliser et faciliter l'arc par ionisation, c'est-à-dire en produisant des oxydes conducteurs dans l'atmosphère de l'arc. Certains composés chimiques peuvent aussi être utilisés.

La chaux carbonate de calcium

Composé important des tiges à bas hydrogène. Elle enlève les impuretés permettant un dépôt plus pur de métal. Elle est utilisée dans les enrobages basiques; elle peut être remplacée par des carbonates de magnésium.

Cellulose

Sert de base au mélange. Ses fibres retiennent le mélange, facilite l'extrusion et sa combustion produit du CO₂ qui empêche l'oxydation.

Ferromanganèse

Un mélange de manganèse à 80% avec de la chaux; sert à enlever l'oxygène de l'atmosphère en le transformant en oxyde qui passe dans le laitier au lieu d'aller dans le métal d'apport. Le manganèse améliore les propriétés mécaniques du métal en annulant l'effet du soufre en trace dans le métal d'apport.

Les oxydes de fer (magnétites, hématites et autres)

Utilisés pour faire des laitiers lourds pouvant retenir en solution solide plusieurs oxydes formés dans la soudure. Utilisés dans les enrobages acides.

Silicate de sodium

Avec de l'eau, il forme un liquide visqueux qui sert de liant aux composés.

Poudre de fer

Dans des proportions de 10 à 50% dans l'enrobage, il stabilise l'arc et se dépose comme le métal d'apport, augmentant le taux de dépôt et améliorant l'apparence.

En conclusion, l'enrobage est composé de stabilisateur d'arc de désoxydant de métal, de composant de laitier, de producteur de gaz d'enveloppe, de métal d'apport et d'alliage d'apport, de liant et de divers composés chimiques facilitant la production.

Le métal de la tige est souvent constant, d'une tige à l'autre, ce qui change c'est l'enrobage. Les types E70, E80, E90, E100, E110 et E120 sont des aciers faiblement alliés; les propriétés d'alliage sont obtenues par les enrobages.

La série E80, E90, E100 sont des enrobages à la cellulose ou bas hydrogène. Les tiges sont faiblement alliées. Les E110, E120 sont bas hydrogène, ceci est dû au fait que le transfert des alliages se fait mieux avec des caractéristiques bas hydrogène.

LE MÉTAL D'APPORT

On retrouve le manganèse, le phosphore, le soufre, le silicium, le nickel, le chrome et le molybdène dépendant du type d'électrode. Ceux-ci servent d'alliages et sont à l'état de trace (1% environ).

EXEMPLES D'ÉLECTRODES ET DE LEUR COMPOSITION TYPIQUE

E6010

L'enrobage est blanc-gris. Un taux élevé de cellulose produisant du CO₂, CO et H₂O faisant enveloppe, peut être utilisé pour souder du galvanisé.

E6011

L'enrobage est bas en cellulose et les matériaux ionisables comme les composés de potassium sont introduits pour stabiliser l'arc.

E6012

De couleur brune. L'enrobage est composé de rutile, d'argiles, de silicium, de feldspar, peu de cellulose.

E6013

Le même enrobage que 6012, plus de cellulose; il y a plus de rutile en pourcentage, des composés de potassium (titane et feldspar).

E7014

Le même enrobage que 6012 et 6013 mais avec 30% en poids de poudre de fer.

E7015, E7016

Bas hydrogène. Elles sont du type bas hydrogène utilisé pour les aciers durs à souder (avec plus de 0.3% de C ou faiblement alliés) qui ont tendance à fissurer. Ceci est dû à l'hydrogène contenu dans le métal d'apport et le métal à souder. À ce moment, il n'y a pas d'H₂ dans l'enrobage. Le composé principal est la chaux, le fluorspar et des alliages ferreux pour désoxyder.

E7016

Le même que 7015 mais contient des composés de potasse en plus.

E7018

Très populaire. Mêmes composés que 7015 et 7016 avec haute teneur de poudre de fer (25 à 40% en poids).

E6020

Enrobage noir ou rouge dépendant de l'oxyde de fer utilisé. Composé d'oxyde de fer, d'oxyde de manganèse et de composés de silicium. Il réabsorbera les oxydes contenus dans le métal d'apport. Il est délaissé pour des types à poudre de fer.

E7024, E6027

L'enrobage est constitué de poudre de fer en pourcentage appréciable (plus de 30%). Ce métal se dépose comme du métal d'apport. L'enrobage est du même type de 6012, 6013. Le poids de l'enrobage est de 50%. La tige centrale est du même type que E6012.

E6027

Enrobage similaire au 6020 avec haut pourcentage de poudre de fer, très fort enrobage, 50% de métal d'apport égal au E6010, E6012. Est remplacé par le bas hydrogène à poudre de fer comme E7028.

E7028

Comme E7018, sauf l'enrobage est plus épais, 50% du poids; plus de poudre de fer, 50% du poids d'enrobage.

Tableau 2.10

TABLEAU DES ENROBAGES D'ELECTRODES

E4510 E4520	Wash dip coated	Oxyde de fer rouge, Chaux	Silicate, peuvent contenir plusieurs alliages en production spéciale.
E6010	High cellulose Sodium	Enrobage léger	Taux élevé de cellulose, dégage du CO, CO ₂ et H ₂ O
E6011	High cellulose Potassium	Enrobage léger	Bas en cellulose, élevé en composés de potassium, manganèse 0.5 à 1%
E6012	High titania Sodium	Enrobage léger	Bas en cellulose, contient rutile, argiles, silice, composés de potassium, manganèse 0.5 à 1%
E6013	High titania Potassium	Enrobage léger	Contient cellulose, élevé en rutile, argiles, silice composés de potassium, manganèse 0.5 à 1%
E7014	Iron powder Titania	Enrobage moyen	Plus ferromolybdène, cellulose, rutile, argiles, silice, composés de potassium. 30% en poids de poudre de fer, manganèse 0.5 à 1%
EXX15	Low hydrogen Sodium	Enrobage léger	Chaux fluorspar, alliages ferreux
EXX16	Low hydrogen Potassium	Enrobage léger	Chaux fluorspar, alliages ferreux
EXX18	Iron powder 25 à 40% Low hydrogen	Enrobage moyen	Chaux fluorspar, alliages ferreux, fluorures 5-7.0, manganèse 1-0 à 2-0%
E6020	High iron Oxide	Enrobage épais (noir ou rouge)	Oxyde de fer, oxyde de manganèse, silice
E7024	Iron powder 30% Titania	Enrobage épais 50% du total	Plus de ferromolybdène, cellulose, rutile, argiles, silice, composés de potassium, manganèse 0.5 à 1%
E6027	Iron powder 30% high iron oxide	Enrobage épais 50% du total	Cellulose, rutile, argiles, silice, composé de potassium, oxyde de manganèse 10 à 20%
E7010A-1	High cellulose Potassium	Enrobage léger	Plus de ferromolybdène
E7020A-1	High iron oxide	Enrobage épais	Plus de ferromolybdène
EXX28	Iron powder 25 à 40% Low hydrogen	Enrobage épais 50%	Chaux, fluorspar, alliages ferreux
E80XX	Cellulose ou bas hydrogène		Chaux, fluorspar, alliages ferreux

2.3 CLASSIFICATION ET CONDITION DES MÉTAUX À SOUDER

2.3.1 CLASSIFICATION DES MÉTAUX

Il existe plusieurs systèmes de codes servant à classifier les métaux (ASME, ASTM, ACI, AISI, SAE, etc..). Selon la littérature, le système de codification de l'"American Society of Mechanicals Engineers" (ASME) semble être la plus populaire (codification dérivée de ASTM). En plus de ces différents types de codifications, il existe un système de codification dit unifié ("Unified Numbering System") qui permet de faire le lien entre les différents numéros de classification de chaque système. Ainsi, à partir d'un numéro unifié il est possible d'obtenir la description de l'alliage, sa composition chimique, de même que le numéro de correspondance pour chacun des systèmes de codification.⁽¹⁾

Côté pratique, des recherches ont été faites auprès d'un fournisseur québécois de métaux afin de connaître les méthodes de classification utilisées dans l'industrie. Selon les renseignements obtenus, la majorité des métaux vendus codifiés sont classifiés selon la codification de l'ASTM ("American Society for Testing and Materials"). Le volume des spécifications de l'ASTM (pour feuilles) représente un bon outil afin de retrouver les composants des métaux. Certaines limites sont toutefois rencontrées si l'on veut suivre ce classement pour obtenir la composition exacte des métaux soudés. Ainsi, les acheteurs (industries) n'ont pas nécessairement en main les numéros de codification du métal qu'ils achètent. En effet, dans bien des cas les fournisseurs savent d'avance la spécification décrite par les acheteurs, et le numéro de codification n'apparaît pas nécessairement sur les documents de transaction et les tickets de livraison. De plus, les métaux vendus ne sont pas tous classifiés. Selon les informations obtenues, il n'y aurait environ que 70% des métaux vendus qui seraient classifiés. Les métaux non classifiés (autre nom: "Second", "Excess"..) représentent la balance, soit environ 30%, pourcentage qui devrait aller en augmentant dans l'avenir selon la personne interrogée. Les entreprises utilisent les métaux non classifiés dans les cas où cette classification est non nécessaire. Le coût d'achat est moindre et le métal remplit quand même le besoin particulier de l'acheteur.

Pour le cas des métaux non classifiés, il devient donc impossible de déterminer leur composition exacte. Toutefois les principaux constituants peuvent être identifiables via le type de métal.

Finalement, mentionnons qu'une des sources de littérature (7) divise les métaux soudés en quatre groupes principaux en fonction du métal de base, soit:

- les alliages ferreux
- les matériaux à base de cuivre
- les alliages d'aluminium
- les alliages à base de nickel

2.3.2 INFLUENCE DU MÉTAL SOUDÉ ET DES DIMENSIONS DE LA PIÈCE

L'ensemble des sources d'informations s'accordent pour dire que le métal de base (non recouvert) n'est pas une variable très importante sur le taux de production de fumées. La composition des fumées est légèrement modifiée par le changement du métal de base alors que leur taux de production ne change pas significativement.

Le métal soudé influencera toutefois indirectement les fumées produites et leurs composantes, dans ce sens qu'il "dictera" d'une certaine façon certains paramètres du soudage (type de procédé, électrodes...). D'autre part, les dimensions de la pièce soudée (grandeur, forme..) peuvent déterminer la position du soudeur par rapport aux endroits à souder et également affecter le type de ventilation utilisable pour extraire la fumée.

En conclusion, disons que le métal soudé ainsi que ses dimensions n'ont pas d'impact direct sur la production des fumées de soudage. Ces variables auront toutefois un impact sur d'autres paramètres du soudage (procédé utilisé, électrode, position du soudeur, utilisation de la ventilation).

2.3.3 CONDITION DE LA SURFACE

Tel que mentionné précédemment, le métal de base non recouvert n'intervient que dans une faible proportion dans la production de l'ensemble de la fumée. Toutefois lorsque la pièce à souder est recouverte, peinte ou dégraissée, il peut se produire éventuellement des concentrations élevées de fumée nocive, quel que soit le procédé de soudage (11).

Le tableau 2.11 présente les données recueillies concernant les principales conditions de surface de métal pouvant être rencontrées dans l'industrie. Il faut noter que le contenu de ce tableau ne doit évidemment pas être considéré comme étant exhaustif. Dans la première colonne, on retrouve l'identification du type de recouvrement, dans la deuxième, l'identification du ou des composés pouvant être émis et finalement dans la troisième colonne, des citations provenant des sources de littérature et permettant de préciser certains points sur le sujet (variables pertinentes, facteurs contributifs,..).

Tableau 2.11
PRINCIPALES CONDITIONS DE SURFACE

53. RECOUVREMENT DE LA SURFACE	COMPOSÉS POUVANT ÊTRE ÉMIS DURANT LE SOUDAGE	REMARQUES																												
<p>Solvants de nettoyage et de dégraissage</p> <p>-Hydrocarbures chlorés -Trichloroéthylène -Perchloroéthylène -Méthylchloroforme (1,1,1-Trichloroéthane) -Tétrachlorure de carbone (Incluant la présence de ces solvants dans l'air)</p>	<table border="0"> <thead> <tr> <th align="left"><u>Composé</u></th> <th align="left"><u>Source</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Phosgène</td> <td>1-2-4-7-10-11</td> </tr> <tr> <td>Phosphine</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Chlorure d'hydrogène</td> <td>1-2-4-7-10</td> </tr> <tr> <td>Acide chloroacétique</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Chlorure de dichloroacétyle</td> <td>2-4-7-10</td> </tr> <tr> <td>Chlore</td> <td>2-4-10</td> </tr> <tr> <td>Monoxyde de carbone</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table> <table border="0"> <thead> <tr> <th align="left"></th> <th align="left"><u>Source</u></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aldéhyde</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>-acroléine</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>-formaldéhyde</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>-acétaldéhyde</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Monoxyde de carbone</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	<u>Composé</u>	<u>Source</u>	Phosgène	1-2-4-7-10-11	Phosphine	1	Chlorure d'hydrogène	1-2-4-7-10	Acide chloroacétique	1	Chlorure de dichloroacétyle	2-4-7-10	Chlore	2-4-10	Monoxyde de carbone	2		<u>Source</u>	Aldéhyde	1-10	-acroléine	1-10	-formaldéhyde	1	-acétaldéhyde	1	Monoxyde de carbone	1	<p>-Le trichloroéthylène est le solvant le plus souvent utilisé (2,4).</p> <p>-Les rayons ultraviolets et la chaleur de l'arc décomposent les hydrocarbures chlorés (2,4,10).</p> <p>-Concernant le trichloroéthylène le principal produit de décomposition est le chlorure de dichloroacétyle. Ce gaz est généré trois fois plus rapidement que le phosgène (4). Selon des études effectuées, le taux de décomposition du trichloroéthylène diminue en fonction de la distance entre l'arc et la source du solvant. Le taux de décomposition est plus élevé lors du soudage sous protection gazeuse que lors du soudage TIG (2,4).</p> <p>-La décomposition du perchloroéthylène produit autant de phosgène que de chlorure de dichloroacétyle ((2,4) La décomposition du perchloroéthylène produit du phosgène à un taux plus rapide que le trichloroéthylène (2,4,11)</p> <p>-Le tétrachlorure de carbone engendre de plus fortes concentrations de phosgène que les autres solvants chlorés (soudage sous protection gazeux) (10). Le tétrachlorure de carbone et le trichloroéthylène produisent des quantités de phosgène comparables (2).</p> <p>-La décomposition du méthyl chloroforme produirait cinq fois plus de chlorure d'hydrogène que de phosgène (2).</p> <p>-A cause de l'intensité du rayonnement ultra-violet, le soudage de l'aluminium fait couvrir un risque important de production de phosgène en présence de solvants chlorés (soudage sous protection gazeuse) (10).</p> <p>-Lorsque des huiles recouvrent la pièce métallique, des aldéhydes (notamment l'acroléine) peuvent être émises (énoncé pour le soudage sous protection gazeuse et le soudage par point) (10).</p> <p>-La décomposition de résidus organiques lors du soudage à l'arc peut produire de l'acroléine, formaldéhyde, monoxyde de carbone et de l'acétaldéhyde (1).</p>
<u>Composé</u>	<u>Source</u>																													
Phosgène	1-2-4-7-10-11																													
Phosphine	1																													
Chlorure d'hydrogène	1-2-4-7-10																													
Acide chloroacétique	1																													
Chlorure de dichloroacétyle	2-4-7-10																													
Chlore	2-4-10																													
Monoxyde de carbone	2																													
	<u>Source</u>																													
Aldéhyde	1-10																													
-acroléine	1-10																													
-formaldéhyde	1																													
-acétaldéhyde	1																													
Monoxyde de carbone	1																													
<p>Autres résidus organiques -(incluant les résidus d'huile)</p>																														

Tableau 2.11 (suite)

RECOUVREMENT DE LA SURFACE	COMPOSÉS POUVANT ÊTRE ÉMIS DURANT LE SOUDAGE	REMARQUES
<p>Surface ayant une couche protectrice métallique obtenue par:</p> <ul style="list-style-type: none"> -électrolyse -projection métallique -immersion dans un bain de métal fondu (galvanisation, étamage, etc) 	<p>Les composés émis dépendent de la nature du métal utilisé pour le recouvrement (Zinc, cadmium, nickel, chrome, cuivre, étain, aluminium ...)</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Les métaux de placage électrolytique les plus souvent utilisés sont le cadmium, le chrome et le nickel, le cadmium représenterait le plus grand risque à cause de sa volatilité (7). -La galvanisation représente le type de recouvrement métallique de surface le plus fréquent. Le terme galvanisé est utilisé pour plusieurs types de recouvrement métallique, la galvanisation au zinc demeurant la plus fréquente (7). -Le soudage de pièces galvanisées au zinc produit des fumées contenant de l'oxyde de zinc. Le cadmium est souvent en trace avec le zinc. Toutefois dans des circonstances normales, le cadmium présent ne constitue pas un risque pour le soudeur lorsque la pièce est ultérieurement soudée (7). -Le soudage d'un acier galvanisé (au zinc) lors des procédés MMA et MIG produit jusqu'à trois fois plus de fumées comparativement au soudage d'un acier non recouvert. Cette fumée contient entre 57 et 78% en poids d'oxyde de zinc (7). -Le soudage des aciers galvanisés peut soumettre les soudeurs à des doses inacceptables de vapeurs de zinc et de plomb (citation avec études environnementales à l'appui) (11).

Tableau 2.11 (Suite)

55.

RECOUVREMENT DE LA SURFACE	COMPOSÉS POUVANT ÊTRE ÉMIS DURANT LE SOUDAGE	REMARQUES
Surfaces peintes	Selon les composantes des peintures	<p>-Des travailleurs en Suède ont identifié quelques 150 composés provenant des surfaces peintes qui peuvent être sujettes au soudage (7). -Lors d'expériences effectuées, une centaine de substances se formant lors de la décomposition de la peinture ont été identifiées (11).</p> <p>Cas particuliers cités dans les sources de référence: -Peinture à base de plomb (4,10). -Peinture contenant des chromates (11). -Cas particuliers des apprêts "Primer" .Le soudage des aciers traités par des peintures à base de zinc peut soumettre les soudeurs à des doses inacceptables de vapeur de zinc et de plomb (citation appuyée par des prélèvements environnementaux effectués en zone respiratoires des soudeurs) (11). .Les apprêts riches en zinc exigent une ventilation accrue compte tenu des hautes concentrations d'oxyde de zinc dans la fumée (7). .Des études ont été effectuées pour les émissions de fumées lors du soudage d'acier recouvert d'apprêt (29 apprêts différents étudiés) (9)</p> <p>Conclusion de ces études: -Du plomb et du cadmium furent retrouvés dans les particules émises durant le soudage de tous ces apprêts. Ces émissions sont toutefois considérées comme faibles pour la plupart des apprêts. -La production de fumées totales n'est pas augmentée lors de la présence d'un apprêt sur l'acier soudé. Toutefois, les apprêts riches en pigments de zinc constituent une exception.</p>

Tableau 2.11(Suite)

56. RECOUVREMENT DE LA SURFACE	COMPOSÉS POUVANT ÊTRE ÉMIS DURANT LE SOUDAGE	REMARQUES
Surface recouverte de matières plastiques	Selon le type de plastique	<p>-Le soudage de métaux cadmiés ou plastifiés demandent de très grandes précautions en raison des émissions de cadmium et de gaz chlorés (11).</p> <p>-Selon une étude, la soudure à l'arc manuel de métaux recouverts d'un polymère (polyéthylène no.4007) produirait du formaldéhyde, du monoxyde de carbone et des hydrocarbures divers (7)</p> <p>-Un dénommé Whitman classifie en quatre groupes les revêtements plastiques sujets au soudage: (7)</p> <p>a) Les recouvrements d'hydrocarbures tel le polystyrène et le phénol-formaldéhyde qui peuvent émettre du dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone, des aldéhydes, des acides organiques et quelques monomères de départ.</p> <p>b) Les recouvrements contenant du chlore où il y a la possibilité de formation de chlore et de phosgène en plus des produits de décomposition des hydrocarbures.</p> <p>c) Les recouvrements contenant de l'azote tels les résines polyuréthane et isocyanates qui peuvent produire de l'ammoniaque, du cyanure d'hydrogène, du bioxyde d'azote et peut-être du diisocyanate de toluène</p> <p>d) Les revêtements contenant du fluor tels les polymères de fluorocarbure peuvent produire des fluorures organiques et inorganiques.</p> <p>-Les matériaux recouverts de plastique peuvent être soudé normalement par la soudure par résistance. Dans ce cas la formation de monoxyde de carbone, de chlorure d'hydrogène et de formaldéhyde a été rapportée (7).</p> <p>-Le volume de l'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) "Matières plastiques et adjuvants" fournit plusieurs informations sur les produits de décomposition et de combustion des matières plastiques. Ce volume peut être consulté pour des cas spécifiques.</p> <p>-Les gaz de décomposition provenant du soudage thermoplastique (sur du teflon) comprennent de l'oxyfluorure de carbone, du fluorure d'hydrogène et du perfluoroisobutylène (1)</p>

CHAPITRE III- CONTAMINANTS DÉGAGÉS LORS DES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS DE SOUDAGE

INTRODUCTION

=====

Afin de faciliter la compréhension de ce chapitre, nous croyons important d'expliquer les sources des différents contaminants émis lors du soudage à l'arc électrique. Ces sources sont sensiblement les mêmes pour tous les procédés de soudage à l'arc.

Les fumées de soudage

La production d'un arc électrique provoque de violentes transformations physiques et chimiques des matières qui traversent l'arc. Le métal et l'enrobage subissent alors une fusion rapide et dans une certaine mesure, ils se vaporisent. L'oxydation des vapeurs et la réaction des composants de l'enrobage sont suivies par la condensation et l'agglomération pour aboutir à la production de fines particules de fumée.

Selon des études, le métal de base contribue peu à la production totale des fumées. Cette dernière proviendrait en grande partie de l'enrobage et du fil à souder. Donc, en connaissant la composition de ces deux paramètres, on peut prévoir qualitativement les composants éventuels de la fumée.

En milieu industriel, les oxydes métalliques retrouvés dépendront du type d'électrodes utilisées spécifiquement pour le soudage sur divers métaux de base. Le soudage sur acier doux produit plus de fumées. On retrouve surtout des oxydes de fer et de manganèse. Les travaux de soudage sur acier inoxydable produisent moins de fumées que ceux sur acier doux. On retrouve les mêmes métaux principaux, mais également du chrome (avec une forte proportion de chrome hexavalent) et du nickel. D'autres métaux principaux pourront être retrouvés lors du soudage sur d'autres métaux.

Les gaz de soudage

En plus des fumées, le soudage engendre des gaz qui peuvent provenir des produits de décomposition des revêtements d'électrodes, des réactions au gaz protecteur, de l'oxydation à température élevée des éléments présents dans l'arc, de la décomposition des revêtements du métal de base (peinture, dépôt plastique ou métallique, décapant) et des effets photochimiques.

Les principaux gaz produits lors du soudage et qui présentent des effets sur la santé sont l'ozone et les oxydes d'azote.

L'ozone est produit par l'action des rayons ultra-violetts émis par l'arc électrique sur l'oxygène atmosphérique. La réaction de transformation de l'oxygène en ozone se produit pour les longueurs d'onde situées entre 130 et 175 nm.

L'ozone est une molécule très instable et se décompose sous l'action de la chaleur dégagée par l'arc, de certaines poussières contenues dans les fumées de soudage et de la réaction avec les oxydes d'azote.

Les oxydes d'azote (NO , NO_2 , N_2O_3 , N_2O_4) sont produits par la combinaison de l'oxygène et de l'azote atmosphérique sous l'action de la chaleur dégagée par l'arc électrique. La première réaction à se produire implique la formation de NO . Après dilution dans l'air ambiant, le NO réagit avec l'oxygène pour former le NO_2 . La transformation du NO en NO_2 est suffisamment lente par contre pour que les deux contaminants soient présents en même temps dans l'air ambiant.

3.1 CONTAMINANTS DÉGAGÉS LORS DU SOUDAGE À L'ARC AVEC ÉLECTRODE ENROBÉE

Fumées de soudage

Le soudage à l'arc avec électrode enrobée sur acier doux produit des taux assez élevés de fumées. La composition des fumées dépend surtout de la nature de l'enrobage de l'électrode. Le tableau 3.1 donne un aperçu de la composition de la fumée dans le cas de diverses catégories d'électrodes (selon l'enrobage).

Tableau 3.1

ANALYSE DES FUMÉES ÉMISES PENDANT LE SOUDAGE À L'ARC DE L'ACIER DOUX AU MOYEN D'ÉLECTRODES ENROBÉES

TYPE D'ÉLECTRODE	COURANT D'ARC A	TENSION D'ARC V	FUMÉES TOTALES, g/ÉLECTRODE	ANALYSE DES FUMÉES, EN % DU POIDS					
				Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	MnO_2	CaO	F^-
Neutre	200	32	0,5-1,5	36,2	31,4	<0,1	14,4	---	---
Acide	135	29	<1,0	26,6	45,8	1,6	12,2	---	---
Rutile	160	21	<0,5	70,9	10,7	3,3	7,1	---	---
Basique (chaux fluorure)	210	25	1,0-2,5	24,8	6,7	<0,1	4,7	16,6	20,7

On peut également retrouver du sodium, du potassium et de l'aluminium. Lors du soudage avec électrode enrobée sur l'acier inoxydable, il faut tenir compte du chrome et du nickel qui sont dégagés. Le tableau 3.2 nous présente dans quelles proportions on peut retrouver ces métaux.

Tableau 3.2

COMPOSITION CHIMIQUE DE LA FUMÉE LORS DU SOUDAGE DE L'ACIER INOXYDABLE

Matériau de soudage	Cr_2O_3	NiO	Fe_2O_3	MnO	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	F
E 308 Soluble	7.26	0.59	6.89	9.04	6.67	8.57	0.98	4.23	0.12	2.87	22.14	17.66
E 308 Total	5.44	0.02	0.14	0.59	4.66	0.28	0.74	0.14	0.02	2.80	22.04	17.5
E 310 Soluble	9.34	1.69	6.81	10.46	5.80	5.35	0.83	3.88	0.09	5.90	23.49	18.63
E 310 Total	5.85	0.06	0.17	0.74	5.36	0.38	0.77	0.08	0.02	5.66	23.07	15.1
E 430 Soluble	4.85	0.03	10.57	1.52	2.06	0.31	4.38	16.95	2.67	29.99	1.64	17.46
E 430 Total	4.41	< 0.01	0.31	< 0.01	0.39	< 0.01	3.94	0.07	0.01	26.64	1.56	10.9
ER 308 Soluble	23.31	3.97	52.12	15.81	1.45	-	-	-	-	-	-	-
ER 308 Total	tr.	< 0.01	0.13	0.17	0.12	-	-	-	-	-	-	-

Le procédé de soudage avec électrode enrobée est parfois utilisé pour d'autres alliages. Vous trouverez les analyses de fumées produites lors du soudage de deux différents alliages dans les tableaux 3.3 et 3.4.

Tableau 3.3

ANALYSE DE LA FUMÉE PRODUITE PENDANT LE SOUDAGE DE L'ALLIAGE D'ALUMINIUM 57 SH (Al-2, Mg-0, 25Cr) AU MOYEN D'ÉLECTRODES ENROBÉES

Électrode		Tension moyenne d'arc V	Intensité moyenne d'arc A	Analyse de la fumée en % du poids						Quantité de fumées g/électrode
Desi- gnation	Diam. mm			Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	CaO	F	Cl	
42	3.0	25	140	30.7	<0.3	-	<0.1	7.9	25.2	<1.0
42	3.0	28	150	35.6	<0.3	1.9	-	6.3	23.7	<1.0
42	3.0	29	160	-	<0.3	3.0	-	6.6	26.9	<1.0
42	3.0	28	185	45.8	-	-	-	3.3	-	<1.0
43	4.0	25	120	18.8	2.6	3.8	-	2.4	28.5	<1.0
44	4.0	24	90	27.5	-	-	-	8.7	-	<1.0
44	4.0	26	115	32.8	2.7	2.0	0.7	11.1	25.0	<1.0

Tableau 3.4

ANALYSE DE LA FUMÉE FORMÉE PENDANT LE SOUDAGE D'ALLIAGE À BASE DE CUIVRE AVEC DU BRONZE RECOUVERT ET DES ALLIAGES MONEL

Desi- gnation	Diam. mm	Tension moyenne d'arc V	Intensité moyenne d'arc	Métal de base % en poids	Analyse de la fumée en % du poids											Quantité de fumées g/électrode	
					Fe ₂ O ₃	MnO	NiO	Cr ₂ O ₃	CuO	ZnO	SeO ₂	P ₂ O ₅	As ₂ O ₃	PbO	CaO		F
39	4.0	26	150	Cu-32Sn-35Pb-2Mn	-	8.2	0.8	<0.1	35.6	4.2	-	0.21	0.06	-	-	-	1.0-1.5
39	4.0	26	140	Cu-15Zn	-	7.9	-	-	39.4	8.0	-	-	-	0.04	-	-	1.0-1.5
39	4.0	29	110	Cu-33Zn	-	-	-	-	33.6	24.2	3.3	-	-	-	-	-	1.0-1.5
39	4.0	27	170	Cu-33Zn	<0.1	7.3	-	<0.1	35.2	-	2.3	-	-	0.01	<1	4.5	1.0-1.5
40	3.25	28	115	Cu-33Zn	<0.1	3.0	-	<0.1	25.8	36.7	2.9	-	-	0.01	2.5	12.8	0.5-1.0
41	3.25	28	120	Cu-33Zn	0.1	0.1	-	<0.1	24.6	43.6	2.6	-	-	0.11	1.8	12.7	0.5-1.0
38	4.0	23	135	Cu-70Mn	-	-	14.3	-	35.7	-	-	-	-	-	-	<1	1.0-1.5

Lors de l'utilisation du procédé de soudage avec électrode enrobée, on peut retrouver des fluorures dans les fumées en concentration 100 fois moindre que le pourcentage de particules. Les fumées contenant des fluorures ne sont engendrées qu'au cours des procédés de soudage qui mettent en jeu un fondant de base à faible teneur en hydrogène ou alcalin.

Gaz de soudage

Le procédé de soudage avec électrode enrobée ne produit pas de concentration importante d'ozone, à cause de la faible intensité de l'arc et des effets d'atténuation des particules de fumées. L'utilisation d'un extracteur d'air local permettant d'éliminer les fumées pourraient augmenter la production d'ozone pendant ce procédé. Car l'effet destruction d'ozone causé par les fumées ne seraient plus présents. À titre d'exemple, la concentration d'ozone retrouvée dans la zone respiratoire d'un soudeur est de 0,06 ppm.

On retrouve en très faible concentration du NO₂ dans la zone respiratoire (à l'intérieur du masque de soudage). Les concentrations sont inférieures à 5 ppm.

Les concentrations de monoxyde et dioxyde de carbone sont non significatives, sauf dans le cas de surfaçage.

Résumé partiel des composés pouvant être dangereux lors du procédé de soudage avec électrode enrobée sur différents matériaux.

Alliage	Contaminant
Acier doux	Totalité de la fumée
Acier inoxydable	Chrome, nickel
Fonte et alliages au nickel	Nickel baryum
Aluminium	Aluminium (1)
Alliage de cuivre	Cuivre
Surfaçage	manganèse, monoxyde de carbone

(1) L'IRSST ne peut analyser que les composés d'Al solubles.

3.2 CONTAMINANTS DÉGAGÉS LORS DU SOUDAGE À L'ARC SOUS PROTECTION GAZEUSE (TIG)

Fumées de soudage

En principe, les concentrations de fumées de soudage dans la zone respiratoire sont comprises entre 1 et 4 mg/m³. Dans les travaux effectués par Hydro Ontario, on a découvert que même la dose de 0,001 mg/m³ de Cr VI proposée par Niosh n'était pas dépassée pendant le soudage de l'acier inoxydable avec le procédé Tig.

Le tableau 3.5 présente les résultats suivants de concentrations de fumées de soudage et de leurs composantes selon différents alliages, telles que mesurées par "The Welding Institute".

Tableau 3.5

CONCENTRATIONS DE FUMÉES DE SOUDAGE ET DE LEURS COMPOSANTES SELON DIFFÉRENTS ALLIAGES

PROCÉDÉ UTILISÉ	ANALYSE DE FUMÉES, EN mg/m ³							
	Total	Fe	Cu	Mn	F	C ₇	2n	Al
Tig avec rayon "Supersteel" (recouvert de Cu) 3/8 pouce	2.24	0.19	0.01	0.06	0.01	0.01	0.03	-
	1.71	0.14	0.01	0.02	-	0.01	0.01	-
Tig Ar/75HE Bronze	1.4	0.24	0.01	-	-	-	0.04	-
	1.9	0.46	0.02	-	-	-	0.05	-
Tig Ar/75HE Brass avec 3% Si-Bronze	10	0.69	0.78	-	-	-	4.22	-
	1.9	0.35	0.14	-	-	-	0.51	-

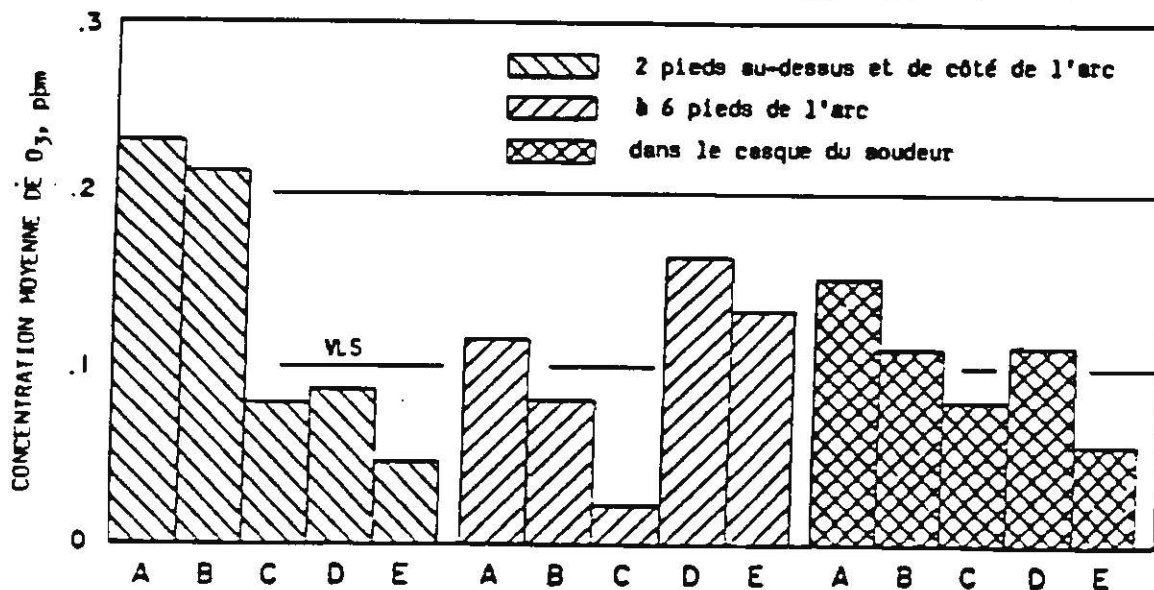
Gaz de soudage

Les recherches entreprises par Fay sur l'exposition à l'ozone ont démontré que le procédé Tig peut présenter dans la zone respiratoire des concentrations proches de la norme (voir le tableau 3.6). L'une des raisons des fortes concentrations d'ozone dans le soudage de l'aluminium est due à ce que la surface du métal réfléchit de 70 à 90% de la lumière ultraviolet qui engendre l'ozone. Cela constitue également un effet observé dans le cas du soudage de l'acier inoxydable et, dans une moindre mesure, dans celui du soudage de l'acier doux.

Tableau 3.6

CONCENTRATIONS D'OZONE MESURÉES À DIVERS ENDROITS PENDANT LE SOUDAGE

Essai	Méthode de soudure	Métal de base	Gaz protecteur	Courant, A
A	SAET	Acier inoxydable	Argon, 30 pi ³ /h	160 c.c.
B	SAET	Aluminium	Argon, 40 pi ³ /h	225 c.c.
C	SAET	Bronze	Argon, 25 pi ³ /h	125 c.c.
D	SAG	Acier inoxydable	Argon + 1% O ₂ , 30 pi ³ /h	240 c.c.
E	SAG	Aluminium	CO ₂ , 30 pi ³ /h	230 c.c.



3.3 CONTAMINANTS DÉGAGÉS LORS DU SOUDAGE À L'ARC SOUS PROTECTION GAZEUSE (MIG-MAG)

Fumées de soudage

La composition de la fumée émise par ces procédés dépend surtout de celle du fil d'apport et du gaz protecteur. Le taux de production de fumée est fonction de la tension, de l'intensité du courant, du gaz protecteur et des modes de transfert. Plusieurs études ont été faites à ce sujet.

L'étude de Heil et Hill démontre que les gaz protecteurs à base d'argon produisent moins de fumée que ceux à base de CO₂, surtout à cause de la plus faible réactivité chimique des gaz inertes et des modes de transfert différents.

L'étude de Pres démontre qu'en variant trois paramètres (tension, intensité et gaz protecteur) on obtient des concentrations différentes des fumées totales et de l'ozone (voir tableau 3.7)

Lors du soudage sur acier doux, on retrouve des concentrations variables de fumées de soudage selon la composition du gaz protecteur. Le soudage utilisant de l'argon émet des concentrations moyennes de fumées tandis qu'on retrouve des concentrations fortes lorsque le bioxyde de carbone est utilisé.

On note que la composition des fumées varie également selon le gaz protecteur. Il y a une plus grande proportion de silicium et de manganèse lors de l'utilisation de CO₂ plutôt que d'argon. Cependant, nous ne pouvons pas généraliser la composition des fumées émises car elle dépend aussi de la composition du métal d'apport.

On retrouve différentes composantes à l'intérieur des fumées de soudage, mais les plus importantes sont le nickel et le chrome.

Le soudage de l'aluminium non allié forme une fumée composée uniquement d'oxyde d'aluminium, alors qu'en y ajoutant du magnésium et du silicium, on diminue cette production de près de 90%, le reste étant de l'oxyde de magnésium ou de silicium. De plus, on a remarqué qu'une augmentation de la tension et de l'intensité du courant provoque une diminution du taux de formation de fumées.

Gaz de soudage

Le procédé de soudage (de l'aluminium) sous protection gazeuse représente la source la plus dangereuse d'ozone, mais des variations importantes se produisent selon le gaz protecteur utilisé et la composition particulière de l'alliage. Ainsi on a démontré qu'avec le procédé Mag (CO₂), la production d'ozone diminue par des facteurs de 10 à 15 fois comparativement au procédé Mig (Argon).

Tableau 3.7

SUBSTANCES TOXIQUES PRODUITES LORS DU SOUDAGE À L'ARC SOUS GAZ PROTECTEUR

Procédé de soudure	Matériau de la feuille	Gaz protecteur	\dot{V}_G l/min	I_s A	U_s V	wire Ø mm	V_{Dr} m/min	Substance toxique dangereuse	Quantité de substance toxique mg/m ³	Substance moins dangereuse
SAC	St 37	CO ₂	16	230	36	1,6	5,5	Fumées	750	CO, O ₃
		CO ₂	16	250	36	1,2	9,5	Fumées	570	CO, O ₃
	St 37	82%Ar + 18%CO ₂	16	150	22	1,2	4,0	O ₃	6,5	Fumées
		82%Ar + 18%CO ₂	16	270	30,5	1,2	9,0	Fumées	700	O ₃
	St 37	82%Ar + 13%CO ₂ + 5%O ₂	16	200	33	1,2	9,2	O ₃	15	Fumées
MIC*	AlZnMg1 w.S-AlMg1	Ar	16	250	34	1,6	7,5	Fumées	1600	O ₃
		Ar	16	230	31	1,6	5,4	O ₃	140	Fumées
	CrNi18 9	Ar	16	150	30	1,2	3,8	O ₃	8	Fumées
		Ar	16	250	42	1,2	13,2	Fumées	1600	O ₃
	CrNi18 9	Ar + 1%O ₂	16	150	19,5	1,2	4,5	O ₃	8	Fumées
		Ar + 1%O ₂	16	250	32,5	1,2	7,5	Fumées	800	O ₃
SAT	AlMgSi1	Ar	20	170	19	-	-	O ₃	5	NO _x
		Ar	20	110	12,5	-	-	O ₃	10	NO _x

I_s = Courant de soudageV_G = Composition du gaz protecteurV_s = Tension de soudageV_{Dr} = Diamètre de l'électrodeV_G = débit du gaz protecteur

* MIC = soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode fusible

Le métal d'apport au silicium (ex: Er 4043) produit les plus dangereuses concentrations d'ozone. Elles sont causées en partie par le taux assez faible d'émission de particules et par les longueurs d'onde des puissants rayons U.V. situés dans la bande de formation de l'ozone. Les métaux d'apport renfermant du magnésium (ex: ER 5356) produisent moins d'ozone, puisqu'ils favorisent des taux supérieurs de formation de fumée.

On retrouve des concentrations assez élevées d'ozone lors du soudage sur acier inoxydable et moins élevées lors du soudage sur acier doux, mais à des concentrations suffisamment élevées pour que des mesures environnementales soient prises.

Des concentrations moyennes de bioxyde d'azote peuvent être retrouvées dans la zone respiratoire des travailleurs.

La concentration de monoxyde de carbone sera faible lors de l'utilisation du procédé Mig, mais forte lors de l'utilisation du procédé Mag.

PROCÉDÉ	ALLIAGE	CONTAMINANT À RISQUE
Mig	Acier doux	Fumée de soudage []moyenne O ₃ , NO ₂
Mag	Acier doux	Mêmes composantes + CO
Mig	Acier inoxydable	Ni, Cr, O ₃
Mag	Acier inoxydable	Ni, Cr, O ₃ , CO
Mig	Aluminium	Al*, O ₃ , CO
Mag	Aluminium	Al*, O ₃ , CO

* Selon le type d'alliage

3.4 CONTAMINANTS DÉGAGÉS LORS DU SOUDAGE AVEC FIL FOURRÉ

Ce procédé engendre de fortes quantités de fumées. Les quantités de fumées produites sont nettement plus élevées lors de ce procédé que pour les procédés MIG et MAG.

La présence du fondant (flux) dans l'âme de l'électrode amène celui-ci en plein centre de la zone intense de chaleur, augmentant ainsi la production de fumées.

Le fil fourré utilisé contient du flux dont les composants s'apparentent à ceux utilisés dans l'enrobage des électrodes lors du soudage à l'arc manuel. En général la nature des fumées obtenues par ce procédé sera similaire à celle retrouvée dans le procédé à l'arc électrique. Toutefois les problèmes des gaz polluants pourraient être plus prononcés. (Se référer aux autres procédés pour l'évaluation des gaz émis).

Concernant l'exposition aux métaux, certains éléments sont mentionnés dans la littérature spécifiquement pour ce procédé. Le soudage de l'acier inoxydable avec le procédé à l'arc à électrode creuse (ou fil fourré) produit plus de chrome dans la fumée que le procédé à l'arc électrique manuel.

De plus, compte tenu que le taux de production de fumée est plus élevé, le problème de contrôle de ce facteur de risque pour le soudage à l'arc à électrode creuse peut s'avérer plus difficile (de 70 à 90% du chrome présent serait sous forme hexavalente)

3.5 CONTAMINANTS DÉGAGÉS LORS DU SOUDAGE/COUPAGE AU PLASMA

=====

Dans l'ensemble, les risques reliés à ce procédé sont similaires à ceux rencontrés dans le procédé TIG, avec toutefois l'introduction de nouveaux problèmes:

- Les émissions ultra-violet du procédé de soudage au plasma sont plus intenses que celles des procédés à l'arc avec gaz inerte.
- Les productions d'ozone et de bioxyde d'azote peuvent excéder les normes en l'absence de ventilation à la source.
- Les niveaux de bruit à la position du soudeur peuvent être situés entre 110 et 120 dBA.

Pour ce procédé, la production de fumée totale est généralement inférieure au procédé de soudage à l'arc ordinaire à l'exception toutefois du coupage automatique à haute vitesse. Des expériences menées au Danemark lors du coupage de l'acier au jet de plasma ont démontrées que les concentrations de fumées peuvent dépasser les normes dans la zone respiratoire du soudeur et dans l'ensemble de l'atelier.

Les composantes de fumées sont dépendantes du métal de base et sont généralement semblables à celles formées lors du soudage à l'arc.

Lors du coupage par jet de plasma, les facteurs influençant les émissions de fumées et de rayonnement cités dans la littérature sont les suivants:

- le matériel à couper,
- le gaz alimentant le jet de plasma,
- la puissance utilisée,
- la vitesse de coupe,
- le modèle de bec (lors d'expérience, un des modèles de bec produisait des niveaux de fumées acceptables sans aération.)

3.6 CONTAMINANTS DÉGAGÉS LORS DU SOUDAGE PAR RÉSISTANCE

=====

Ce procédé n'entraîne normalement pas de production de radiations et de quantités toxiques de gaz. Pour ce procédé, les risques sont minimes.

Toutefois selon deux sources de références, la présence de résidus d'huile sur les pièces à souder peut engendrer la formation d'aldéhydes irritants pour les yeux et le système respiratoire.

Selon une autre source de littérature, des fumées toxiques peuvent être produites dans certaines circonstances, plus précisément lors du soudage de métaux non-ferreux ou de métaux recouverts (plaqués).

CHAPITRE IV- CONTRÔLE DES RISQUES

INTRODUCTION

"Il est nécessaire, afin d'assurer la protection des travailleurs contre les risques d'inhalation des fumées de soudage, de capter ces dernières à leur source d'émission, où à défaut, dans des cas particuliers, d'avoir recours à une ventilation générale des ateliers" (1).

Le choix de la technique de "ventilation" se fait en fonction du niveau de risque et des contraintes liées aux opérations de soudage. Pour évaluer le niveau de risque attribuable à une opération de soudage à l'arc, deux facteurs doivent être considérés:

- 1- La composition chimique des fumées, leur toxicité et la valeur limite d'exposition qui leur est associée. Par ordre de toxicité croissante, on retrouve:
 - le soudage sur acier doux ou faiblement alliés dont les polluants majeurs sont le fer, le potassium, le calcium, etc...
 - le soudage sur des aciers alliés (aciers inoxydables, aciers réfractaires) qui dégagent en quantité notable des éléments tels le chrome, vanadium, nickel, etc...

- 2- La quantité de fumées dégagées lors du soudage. On peut classer par ordre de débit d'émission de fumées croissant:
 - les électrodes enrobées de petit diamètre (<3,5 mm) dont le débit d'émission est modéré
 - les électrodes enrobées de diamètre voisin de 4 mm et les fils pleins de diamètre d'environ 1.2 mm pour lesquels le débit d'émission est élevé;
 - les électrodes enrobées de gros diamètre (> 5 mm) les fils fourrés de gros diamètre (> 1.6 mm) utilisés sous protection de CO₂ et les électrodes enrobées de haut rendement dont le débit d'émission est très élevé.

Les contraintes reliées aux opérations de soudage sont également importantes: la nature et la conduite de l'opération de soudage, les conditions locales de travail et de tout l'environnement du poste (dimensions des pièces, degré de mobilité des soudeurs, qualité requise pour les soudures, etc..)

Ainsi compte tenu des conditions variées reliées aux différentes opérations de soudage, il n'existe pas de solution universelle qui peut être utilisée pour toutes les situations.

Lorsque le niveau de risque et les contraintes reliées aux opérations de soudage sont bien identifiés, le choix d'un système de ventilation se fait en trois étapes:

- 1- Sélection de la technique de ventilation à utiliser;
- 2- Calcul des débits d'air à mettre en jeu et des caractéristiques géométriques des dispositifs de ventilation;
- 3- Détermination des caractéristiques des systèmes d'apport d'air de compensation.

(1) Guide Pratique de ventilation; opération de soudage à l'arc, INRS (1984)

Nous présentons dans ce chapitre des informations concernant différentes techniques de ventilation utilisées dans le milieu de travail. Pour chacune de ces techniques, nous donnons une description de la technique de ventilation et les conditions d'utilisation, un exemple des calculs des vitesses d'air nécessaires ainsi que les avantages et désavantages de chacun des systèmes. Plus loin, on retrouve un résumé de ces techniques ainsi que les recommandations émises par l'INRS vis-à-vis ces systèmes.

4.1 VENTILATION GÉNÉRALE

La ventilation générale seule comme technique d'assainissement de l'air pour les fumées de soudage n'est envisagée que dans le seul cas où il est techniquement impossible d'installer une ventilation locale et où les fumées sont peu toxiques et émises à faible débit.

La ventilation générale se veut donc complémentaire à une ventilation locale déjà en place permettant ainsi l'extraction des fumées échappées à la ventilation locale. La ventilation générale seule ne protège donc pas le travailleur au niveau de sa zone respiratoire.

L'installation d'une ventilation générale suppose une étude approfondie de nombreux facteurs souvent difficiles à évaluer.

À titre d'exemple, mentionnons:

- le nombre et la répartition des sources de pollution,
- le débit d'émission,
- la température des sources,
- la toxicité des fumées,
- la géométrie des locaux,
- conditions climatiques (hiver — été),
- etc...

Le tableau 4.1 présente les avantages et inconvénients de la ventilation générale utilisée seule.

Tableau 4.1

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE L'UTILISATION DE LA VENTILATION GÉNÉRALE SEULE

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> .Pas d'intervention de l'opérateur. .N'interfère pas avec soudage. .Convient aux grosses pièces, sources nombreuses, mobiles, disséminées à émissions faibles <u>et</u> peu toxiques. 	<ul style="list-style-type: none"> .Agit au niveau de l'ambiance, le soudeur est mal protégé. .Pollution résiduelle toujours présente. .Ne convient qu'aux émissions faibles et peu toxiques. .Prévision et contrôle des mouvements de l'air difficiles. .Demande des débits élevés, donc des coûts élevés.

Selon l'ACGIH, le débit à mettre en jeu dans le cas d'une ventilation générale est estimé à partir de la formule suivante:

$$Q = N - K \frac{d}{a}$$

- Q = débit de ventilation générale (m³/s)
 N = nombre de soudeurs dans l'atelier
 d = masse de fumée émise par unité de temps de travail et par soudeur.
 Émission régulière dans le temps (Kg/s)
 a = valeur limite d'exposition des fumées (Kg/m³)
 k = facteur de sécurité tenant compte de la toxicité des polluants, de la position du travailleur par rapport aux sources d'émission, de la qualité de la distribution de l'air dans le local, de la disposition des sources et des pointes de pollution (valeur comprise entre 2 et 10)

Voyons un exemple d'application pour la ventilation générale. Considérons le cas d'un atelier mécanique où les opérateurs soudent en semi-automatique (MAG) avec fils d'apport sur de l'acier doux. Dû aux dimensions des pièces, aucune aspiration locale ne peut être envisagée. Nous devons donc installer une ventilation générale.

Voici quelques données:

- l'entreprise consomme par mois, 3 tonnes de fil pleins (fil d'apport pour le soudage)
- l'horaire de travail est de 170 heures par mois
- un facteur K* de 5 est retenu dans ce cas particulier

- * La masse de fumée produite par soudeur est de 1161 mg/min (E) ou $19,35 \times 10^{-6}$ Kg/sec
- * La masse de fil fondu par unité de temps et par soudeur est de 147.1g/min (Ma) ou $2,45 \times 10^{-3}$ Kg/sec
- * Ces données sont obtenues à partir de mesures effectuées sur un banc d'essai.

L'analyse chimique des fumées permet de retenir une valeur limite d'exposition de 5 mg/m³ ou $a = 5 \times 10^{-6}$ Kg/m³

- a) la masse de produits d'apport consommés par unité de temps de travail est égale à:

$$P = \frac{2722 \text{ Kg}}{170 \text{ hres} \times \frac{60 \text{ minutes}}{\text{hres}} \times 60 \frac{\text{sec}}{\text{min}}}$$

$$= 4.45 \times 10^{-3} \text{ kg/sec}$$

- b) le débit global d'émissions de fumées est de:

$$ND = P \left(\frac{E}{Ma} \right)$$

$$= 4,45 \times 10^{-3} \frac{\text{Kg}}{\text{s}} \frac{(19,35 \times 10^{-6} \text{ Kg } 5^1)}{2,45 \times 10^{-3} \text{ kg } 5^1}$$

$$= 3.51 \times 10^{-5} \text{ Kg/s}$$

N= nombre de soudeurs
 D= masse de fumées
 P= masse de produits d'apport consommés
 E= masse de fumée, par soudeur
 Ma= masse de fil fondu, par soudeur

c) $Q = K \frac{ND}{a}$

$$= 5 \times \frac{3,51 \times 10^{-5} \text{ KgS}^{-1}}{5 \times 10^{-6} \text{ Kg/m}^3}$$

$$= 35 \text{ m}^3/\text{sec} = 126000 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$= 74000 \text{ pi}^3/\text{min}$$

Il serait donc nécessaire d'avoir une ventilation de 74000 CFM, ce qui représente des coûts très importants.

4.2 VENTILATION LOCALE

Deux grands principes peuvent être utilisés en ventilation locale:

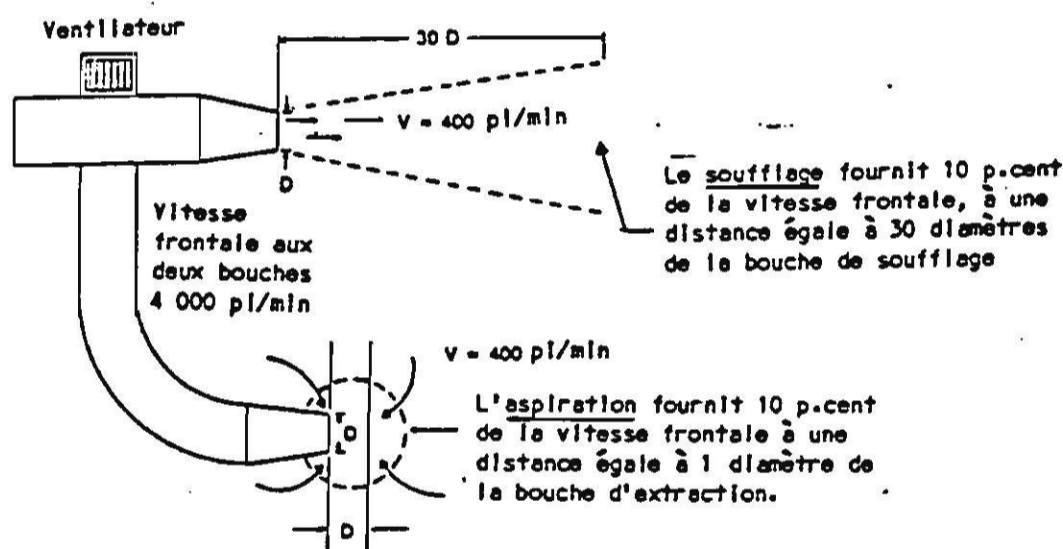
- 1) l'utilisation de ventilateurs de soufflage qui rejettent la fumée loin du soudeur et la dispersent dans l'atmosphère générale;
- 2) l'aspiration des particules de fumées. La fumée captée peut ensuite être dispersée, expulsée ou filtrée.

Une troisième possibilité consiste à utiliser un appareil combinant ces deux modes, mais son application est restreinte.

Pour que ces méthodes soient efficaces, il faut que l'appareil soit placé convenablement par rapport à l'arc de soudage. La principale différence entre ces deux systèmes est que le soufflage déplace la fumée plus rapidement que l'aspiration.

Figure 4.1

DIFFÉRENCE DE VITESSES DE L'AIR AUX ENVIRONS D'UNE HOTTE D'ÉVACUATION ET D'UNE HOTTE D'ASPIRATION



Ainsi, la figure 4.1 démontre que lors du soufflage, la vitesse de l'air évacué chute jusqu'à 10% de la vitesse frontale après un parcours équivalent à 30 fois le diamètre de la hotte d'aération. La même diminution se produit dans un trajet équivalent à un diamètre de hotte lorsque l'air est aspiré dans la hotte. Il est donc évident que les appareils d'aspiration devront fonctionner plus près de la source de fumées, ou à un plus grand débit, pour atteindre la vitesse nécessaire au transport des particules.

Plusieurs études ont démontrées que la vitesse horizontale nécessaire pour déplacer des particules d'un diamètre de 1 micron (sensiblement la dimension des particules de fumées de soudage) était égale à 102 pi/min ($0,5 \text{ m/sec}$). Les recommandations de l'ACNOR et de l'ANSI concernant les vitesses de circulation de l'air nécessaires à la lutte contre les fumées de soudage sont égales à 100 pieds linéaires par minute ($0,5 \text{ m/s}$) au-delà de la zone de soudage. Pour la ventilation utilisant le principe d'aspiration, les normes présentent les données en fonction des formes géométriques requises pour les hottes et du débit permettant d'y parvenir. On n'y retrouve toutefois aucun détail particulier indiquant que les ventilateurs de soufflage servent à contrôler la fumée.

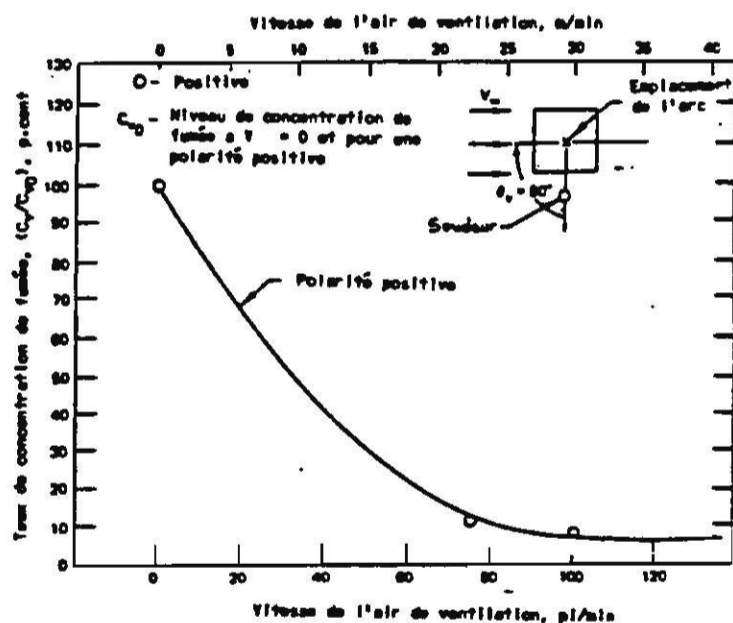
4.2.1 VENTILATION PAR SOUFFLERIE

D'après une étude de l'"American Welding Society", la déviation et la capture de la fumée dépendent beaucoup du courant d'air par rapport à l'emplacement du soudeur. La figure 4.2 illustre les concentrations de fumées en fonction de la vitesse de l'air de ventilation et de l'orientation du soudeur. D'après ces données, on peut constater que l'on obtient le meilleur rendement lorsque l'appel d'air passe de gauche à droite en face du soudeur droitier (figure 1.a). Un courant dirigé dans le dos ou en face du soudeur (figure 1.b) peut provoquer des concentrations dans la zone respiratoire qui seraient supérieures à celles qu'on trouve sans aucune ventilation.

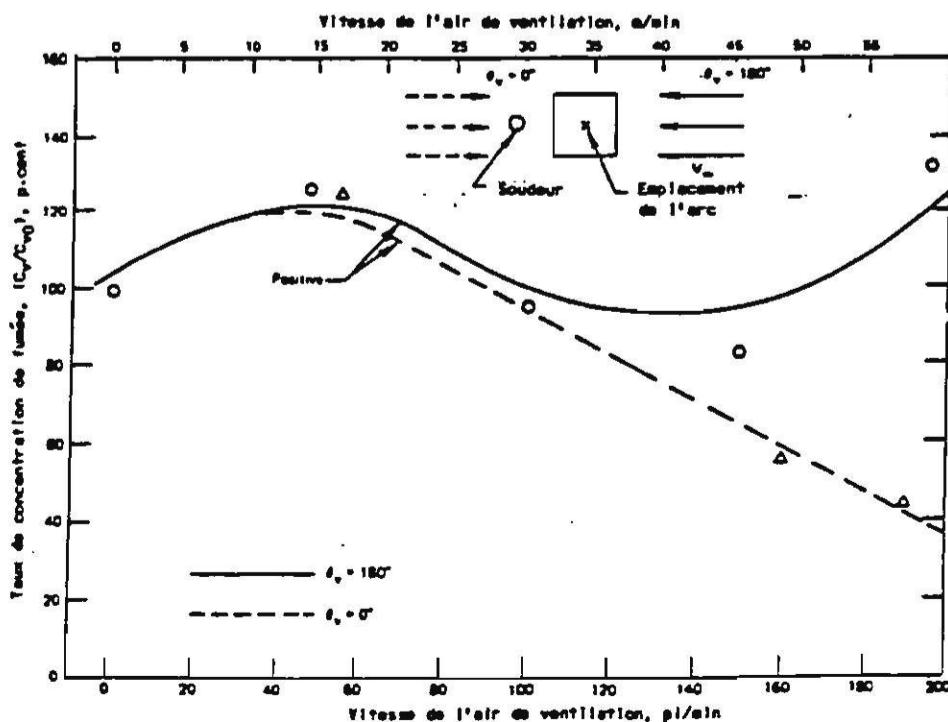
Figure 4.2

RELATION ENTRE LA CONCENTRATION DE FUMÉES ET LA VITESSE DE SOUFFLAGE DE L'AIR LORSQUE LE SOUDEUR EST PLACÉ À A) 90° ET B) 0° OU 180° DU COURANT D'AIR

- a) concentration de fumée dans la zone respiratoire en fonction d'une vitesse de ventilation pour $\theta_v = 90^\circ$
($c_{v0} = 37 \text{ mg/m}^2$)



- b) Concentration de fumée en fonction de la vitesse de l'air de ventilation pour 0° et 180°



Le tableau 4.2 présente les données d'une enquête menée par NIOSH au sujet des ventilateurs personnels pour contrôler l'exposition aux fumées.

Tableau 4.2

CONCENTRATIONS DE FUMÉE POUR DIVERS DÉPLACEMENTS D'AIR ORIENTÉS

<u>Conditions</u>	<u>Fumées totales (mg/m³)</u>	
	1er emplacement	2ème emplacement
<u>Aucun soufflage de l'air</u>		
- concentration dans la région	0,15	0,30
- concentration dans zone respir.	5,8	26,2
<u>Tirage transversal (90° p/r aux soudeurs)</u>		
- concentration dans la région	0,50	0,11
- concentration dans zone respir.	4	1,9
<u>Ecoulement d'air dirigé derrière le dos du soudeur</u>		
- concentration dans la région	0,55	0,55
- concentration dans zone respir.	10,1	5,4

Suite à cette étude, NIOSH ne recommande pas les ventilateurs de soufflerie portatifs comme moyen de contrôle, sauf dans le cas d'un soudage répété lorsque le soudeur demeure absolument stationnaire. Des vitesses d'appel d'air transversal de 0,5 m/sec à un angle de 90° par rapport au soudeur peuvent être intéressantes lorsque le panache de fumée ne contamine pas l'espace de travail des autres employés ou lorsque les déplacements du soudeur sont assez restreints afin que celui-ci n'obstrue pas la circulation de l'air.

4.2.2 VENTILATION PAR ASPIRATION DES POLLUANTS

Cette technique de ventilation consiste à capter les polluants dès leur émission avant qu'ils ne pénètrent dans la zone respiratoire du travailleur et ne soient émis dans l'atmosphère du local de travail.

On observe généralement 5 composantes dans un système de captation locale: hotte d'aspiration, tuyau ou conduits, purificateur d'air, ventilateur et une cheminée.

Pour conclure sur la ventilation locale, examinons le tableau 4.3 qui énumère 9 principes de base.

Tableau 4.3

PRINCIPES DE BASE LORS DE L'UTILISATION DE LA VENTILATION LOCALE

- 1- Envelopper au maximum la zone de production de polluants
- 2- Placer le dispositif de captage le plus près de la zone d'émission des polluants
- 3- Ne pas placer l'opérateur entre le système d'aspiration et la source de polluants
- 4- Placer le(s) système(s) de captage en utilisant les mouvements naturels des polluants
- 5- Capturer les polluants avec une vitesse d'air suffisante
- 6- Répartir uniformément les vitesses d'aspiration au niveau de la zone de captage des polluants
- 7- Compenser les sorties d'air par des entrées d'air correspondantes
- 8- Éviter les courants d'air
- 9- Rejeter l'air pollué en dehors des zones d'entrée d'air neuf

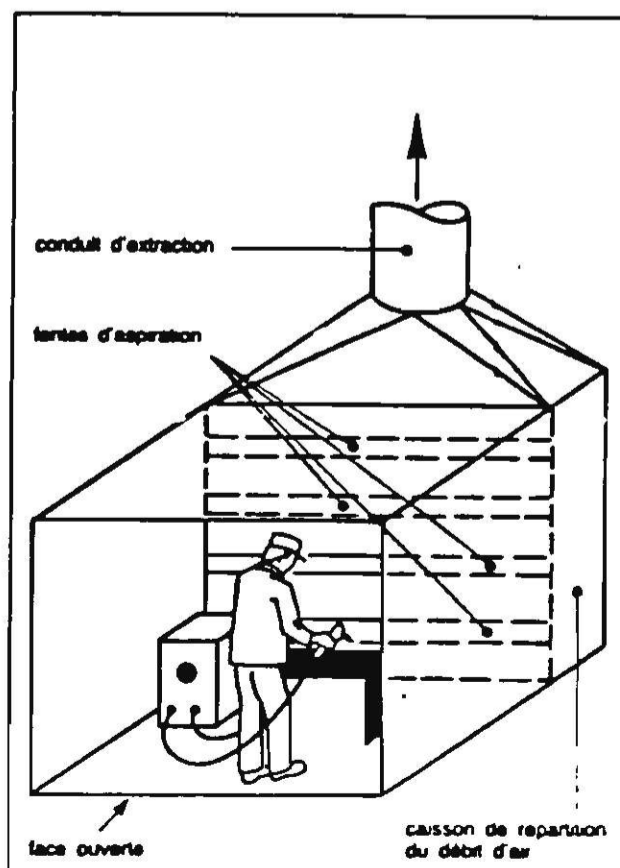
4.2.2.1 Cabine de soudage

La cabine de soudage est recommandée dans à peu près tous les cas de soudage étant donné que c'est une technique de captage qui, bien appliquée, enveloppe à la fois la source de pollution et l'opérateur. Le poste se trouve donc bien isolé.

La figure 4.3 illustre la configuration que prend une cabine de soudage incluant l'opérateur.

Figure 4.3

CABINE DE SOUDAGE



Trois conditions de base doivent être remplies pour qu'une cabine de soudage soit efficace:

- 1- Le soudeur ne doit JAMAIS se trouver entre le point d'émission et la face aspirante.
- 2- L'écoulement de l'air au niveau de la face ouverte, doit être uniforme.
- 3- Le débit d'aspiration est calculé comme suit:
 $Q = AV$
 Q: débit air aspiré (m^3/s)
 A: aire surface ouverte (m^2)
 V: vitesse air moyenne dans la face ouverte (m/s)

La vitesse choisie sera de 0,5m/s (100pi/min).

Exemple de calcul

Un exemple de calcul permet de bien saisir la portée de cette formule:

- hauteur de la face ouverte = 2 m
- longueur de la face ouverte = 1,5 m
- la vitesse à considérer est de 0,5 m/s

L'aire est donc la largeur multipliée par la hauteur (2m X 1.5M), soit 3.0 m^2

$$Q = A.V = 3.0m^2 \times 0.5m/s = 1,5 m^3/sec$$

$$= 5400 m^3/h$$

$$= 3200 pi^3/min$$

Les avantages et les inconvénients des cabines de soudage apparaissent au tableau 4.4.

Tableau 4.4

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES CABINES DE SOUDAGE

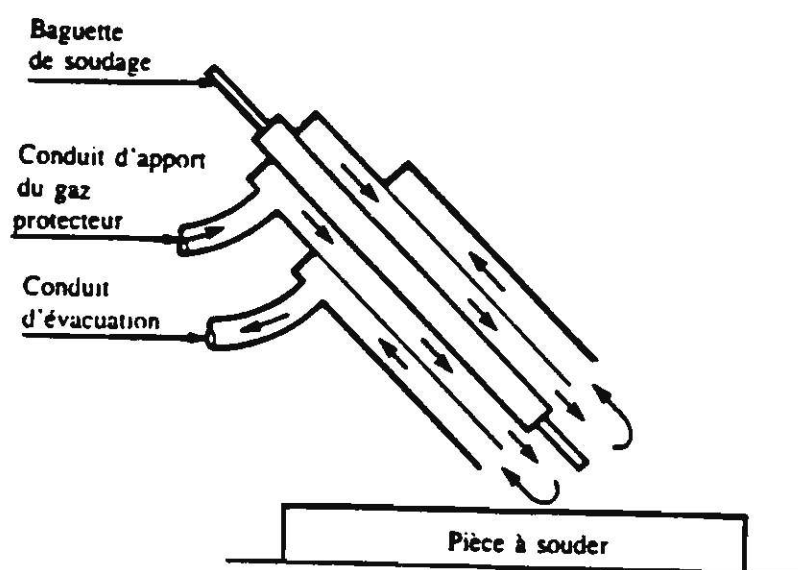
AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . Captage sans intervention du soudeur. . Ventilation efficace. . Isole bien le poste. 	<ul style="list-style-type: none"> . L'opérateur doit se positionner correctement. . Pour travail fixe seulement. . Convient mal pour pièces de grandes dimensions. . Opérateur se sent isolé.

4.2.2.2 Aspiration localisée à l'outil

La figure 4.4 donne l'exemple d'une torche aspirante

Figure 4.4

ASPIRATION LOCALE LIÉE À L'OUTIL



Comme on le voit sur cette figure l'aspiration est réalisée à proximité de l'arc grâce à des buses de petites tailles qui sont directement situées sur la torche.

L'évacuation de l'air aspiré est obtenu par l'utilisation d'un tuyau flexible relié à un groupe de déprimogène à faible débit et à haute dépression.

Le débit recommandé est de 50-110 m³/hre (1).

Le tableau 4.5 présente les avantages et les inconvénients d'un tel système.

Tableau 4.5

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE L'ASPIRATION LOCALISÉE À L'OUTIL

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> • Solution applicable pour travail poste mobile. • Captage à la source. • Meilleure visibilité du cordon de soudure. 	<ul style="list-style-type: none"> • Intervention de l'opérateur pour les réglages. • Perturbation de la protection gazeuse. • Gêne due à l'augmentation de poids à la taille de la torche. • Augmentation de la consommation de gaz protecteur. • Augmentation du temps de nettoyage torche. • Efficacité réduite en soudage au plafond ou en angle extérieur.

(1) Il n'existe pas de critères permettant de se prononcer sur la validité de ces débits.

4.2.2.3 Aspiration localisée à poste fixe (tables aspirantes)

On retrouve trois techniques de ce type de captage de fumées: les tables à aspiration en partie arrière (aspiration latérale), les tables à aspiration au travers du plan de travail (aspiration vers le bas) et les établis de soudage comportant une hotte d'extraction fixe située au-dessus du plan de travail.

Ces tables sont généralement utilisées pour le soudage de pièces de petite dimensions. Dans le cas des deux premières tables (à aspiration latérale et vers le bas), on recommande d'installer des écrans latéraux (mobiles s'il est nécessaire de permettre le passage des pièces) afin d'enfermer au maximum la source d'émission.

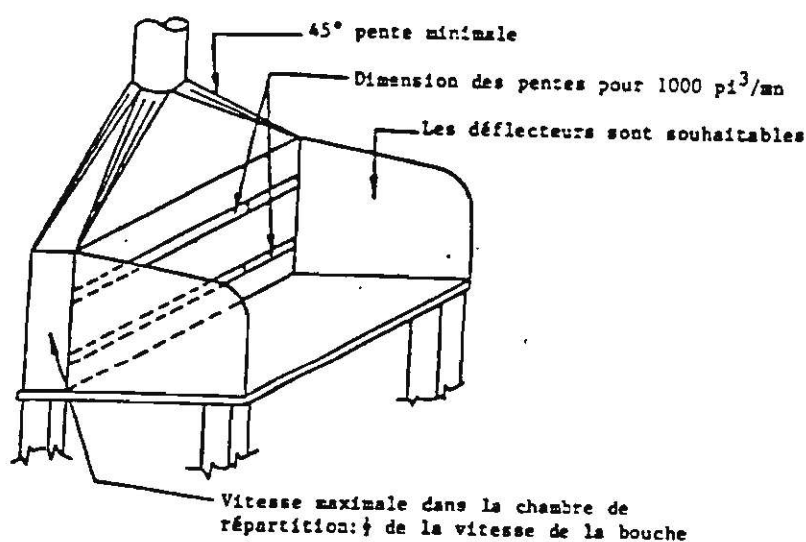
A) Table à aspiration latérale

La table à aspiration latérale est un banc de soudage dont l'aspiration se fait par des fentes situées sur le côté, face au soudeur.

Lorsqu'on choisit cette technique, le débit d'aspiration doit être calculé de façon à induire une vitesse de captage au point d'émission de fumées le plus éloigné de l'aspiration de 0,5 m/s. Des modèles sont déjà établis en fonction du type de soudage réalisé. Ainsi la figure 4.5 présente les dimensions suggérées et le débit nécessaires pour le soudage à l'arc avec électrodes. La figure 4.6 présente également les caractéristiques recommandées lors du soudage à l'arc sous protection gazeuse.

Figure 4.5

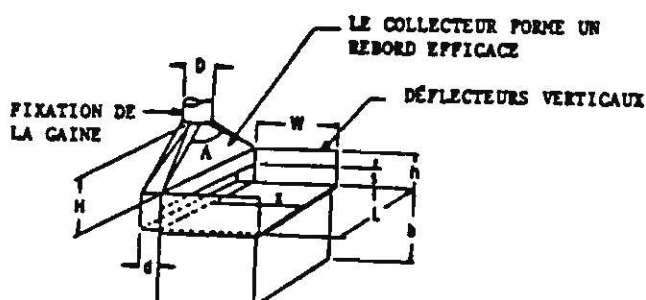
TABLE À ASPIRATION LATÉRALE (forme d'établi recommandé par l'ACGIH pour le soudage à l'arc avec électrode enrobée)



$Q = 350 \text{ pi}^3/\text{mn}$ par pied linéaire de la hotte
 Longueur de la hotte = selon les dimensions de l'espace de travail
 Largeur de l'établi = 24 po maximum
 Vitesse dans la gaine = 1000 à 3000 pi³/mn
 Perte à l'entrée = 1,78 + 0,25 de VP de la gaine

Figure 4.6

TABLE À ASPIRATION LATÉRALE (rendement recommandé pour le soudage à l'arc sous gaz protecteur)



L = 24 po
W = 21 po
H = 8 po
S = 3 po
h = 6 po

D = 8 po
b = 36,5 po
A = 90°
d = 8 po
100 p.cent de la durée de l'arc

$$Q = 2,42 L W v_c$$

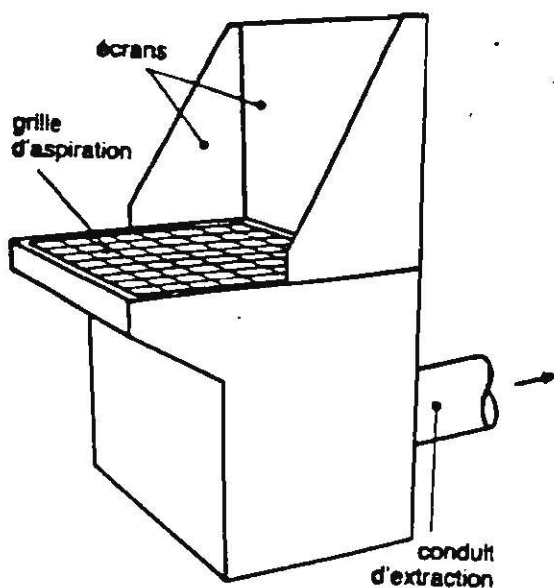
	Sens du soudage	
	Parallèle à la fente	
v_c (pi/mn) à $x = W$		104
Q (pi ³ /mn)		882
v_{FENTE} (pi/mn)		1764

B) Table à aspiration au travers du plan de travail

Le système de table avec grille d'aspiration a le principal désavantage que de hautes vitesses au-dessus du soudage sont requises pour ramener les fumées chaudes vers le bas, en opposition à la direction naturelle. Le taux d'extraction nécessaire est assez élevé pour cela et il faut faire attention aux effets sur le soudage lui-même.

Figure 4.7

TABLE À ASPIRATION VERS LE BAS



Dans le cas de ces tables, on doit respecter les conditions suivantes:

- le soudage doit être fait uniquement à la verticale de la grille d'aspiration;
- le point d'émission doit être situé au-dessus de cette grille à une hauteur ne dépassant pas 25% de la racine carrée de l'aire totale de l'ouverture d'aspiration dans le plan de travail:

$$h = 0,25 \sqrt{A}$$

où h (m): hauteur entre le point d'émission et la grille d'aspiration

A (m²): aire totale de la grille d'aspiration

- qu'il n'y ait pas de risques de perturbation du gaz protecteur si le soudeur s'approche trop près de la grille.

On peut alors calculer le débit d'air aspiré de façon à avoir une vitesse d'air moyenne au travers de la surface totale de la grille d'aspiration de 0,75 m/s:

$$Q = A \times V$$

où Q (m³/s): débit d'aspiration

A (m²): aire totale de la grille d'aspiration

V_g (m/s): vitesse d'air moyenne au travers de la grille 0,75 m/s

Le tableau 4.6 illustre les avantages et les inconvénients des établis à aspiration latérale ou vers le bas.

Tableau 4.6

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES ÉTABLIS À ASPIRATION LATÉRALE
OU VERS LE BAS

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> • Captage sans intervention du soudeur. • S'apparente à un travail sur établi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solution généralement limitée à des pièces relativement de faibles dimensions. <p><u>Inconvénients particuliers aux tables à aspiration vers le bas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ne s'applique bien qu'aux pièces de faible hauteur. • Les pièces ne doivent pas obstruer la grille d'aspiration. • Aspiration contraire au sens naturel de propagation des fumées. • Problèmes de nettoyage et de pertes d'outils au travers de la grille.

C) Aspiration à l'aide de hotte en dôme

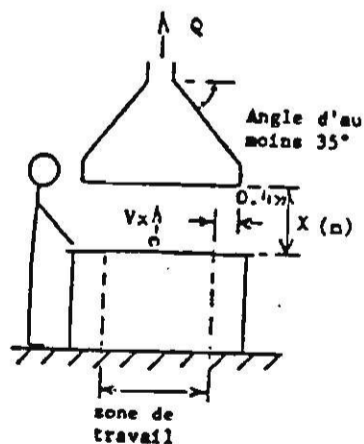
Pour les installations utilisant une hotte en dôme, certains auteurs (dont l'INRS) la déconseille pour les procédés manuels ou semi-automatique parce que la tête du soudeur se trouve souvent placée sur le trajet des fumées entre la source d'émission et le système de captage. Il n'y a donc aucune protection pour le soudeur, ce système pouvant même au contraire augmenter la pollution au niveau des voies respiratoires.

D'autres l'acceptent à la condition que la hotte soit positionnée juste en-dessous de la zone respiratoire du soudeur. Il faut alors incorporer un panneau transparent pour permettre au soudeur de voir son champ de travail. Il faut alors tenir compte des spécifications suivantes:

- la hotte doit s'étendre au-delà de l'aire de soudage afin d'inclure le volume fumées/air de la zone de travail et des courants d'air extérieurs qui peuvent faire dévier le panache;
- des cloisons arrières et sur les côtés augmentent l'efficacité de la hotte en restreignant l'aire pour l'aspiration dans la hotte et en procurant une protection contre les courants extérieurs;
- les dimensions et débits sont indiqués à la figure 4.8.

Figure 4.8

Établi comportant une hotte en dôme



HOTTE PLACÉE AU-DESSUS DE L'ÉTABLI

Débit d'extraction $Q(m^3/s) = P \cdot X \cdot V_x$
où P = périmètre ouvert de la hotte (m)

HOTTE PLACÉE AU-DESSUS D'UN GABARIT OUVERT

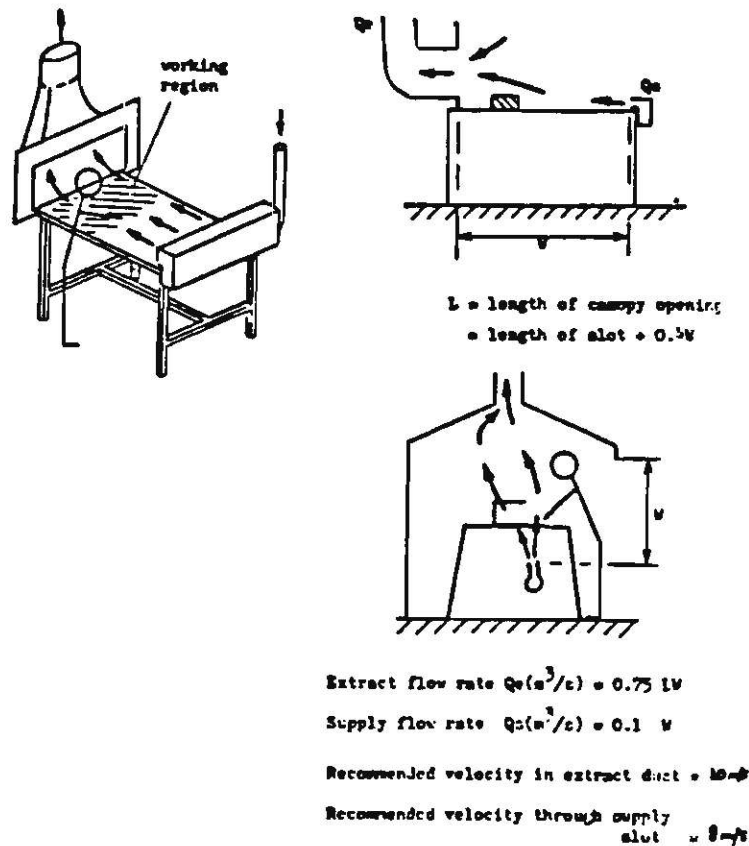
Débit d'extraction $X(m^3/s) = (10X^2 + A) V_x$
où A = surface de l'ouverture de la hotte

Vitesse de capture recommandée $V_x = 0,5 \text{ m/s}$
Vitesse recommandée dans la gaine d'évacuation = 10 m/s

Il existe des tables aspirantes combinant soit une aspiration et une induction d'air par jet, soit deux aspirations. Le système "push-pull" est le mieux pour convenir aux situations où les composants à souder ne causent pas une obstruction majeure au courant d'air. En pratique, l'utilisation de ce système est limité à la soudure de petites pièces. Le système "push-pull" peut être appliqué en dome ou de côté (figure 4.9).

Figure 4.9

SYSTÈME PUSH-PULL



Le système fonctionne comme un rideau d'air pour prévenir la perte de fumée et amener l'air contaminé à la hotte, empêchant l'arrivée de cet air en zone respiratoire du soudeur. Le design de tels système doit être fait de façon à ce que des ajustements soient faciles à faire.

4.2.2.4 Aspiration localisée à poste mobile

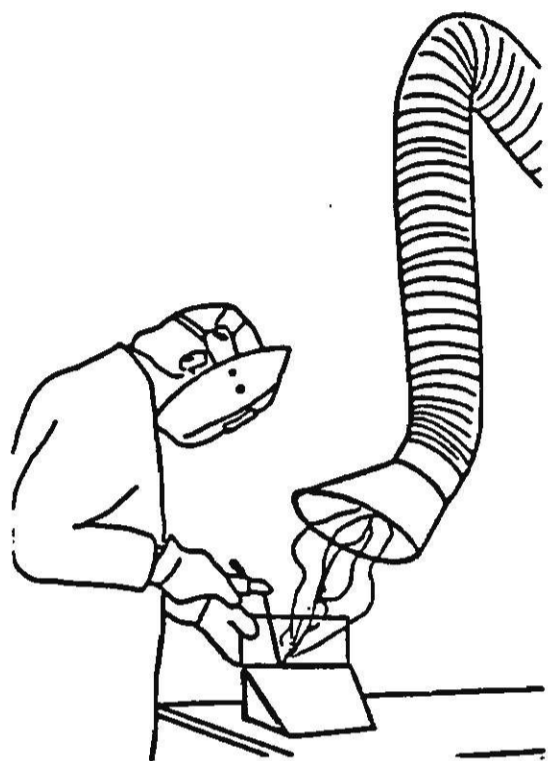
Nous avons vu précédemment que la ventilation générale n'est pas suffisante dans la majorité des cas. Cela est encore plus vrai dans les milieux où plusieurs soudeurs travaillent séparé par des cloisons ce qui crée des endroits où l'air est stagnant et où la fumée peut s'accumuler.

Chaque poste de soudage peut alors être muni d'une hotte d'aspiration mobile et ces extracteurs locaux peuvent être reliés au moyen de tuyaux à un système central d'évacuation. Il existe également des appareils qui fonctionnent sur le même principe mais dont toutes les composantes se retrouvent à chaque poste de travail. Ces appareils peuvent être semi-autonome ou portatif (voir chapitre suivant).

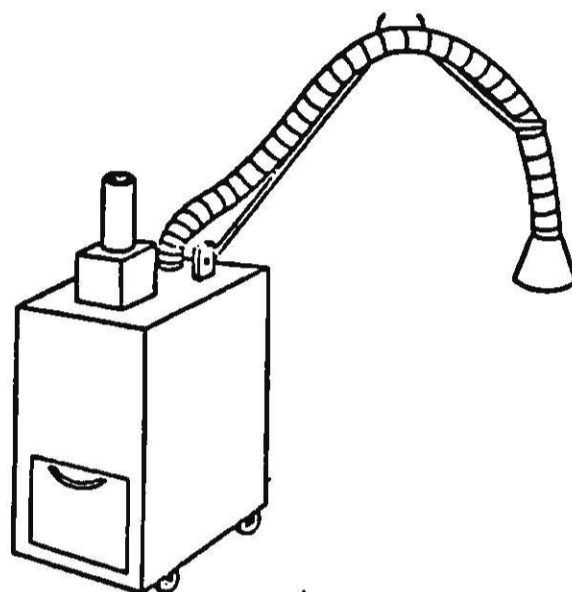
L'aspiration localisée à poste mobile est effectuée à l'aide de bras orientables ou articulés et de bouches d'aspiration qui peuvent être approchées ou fixées sur la pièce à souder (aimant pinces, etc..). Ce type de ventilation permet le captage de fumées de soudage à l'aide de dispositifs qui peuvent être déplacés pour suivre l'avancement du cordon de soudure. La figure 4.10 présente différentes utilisations.

Figure 4.10

SYSTÈMES D'ASPIRATION LOCALISÉS À POSTE MOBILE

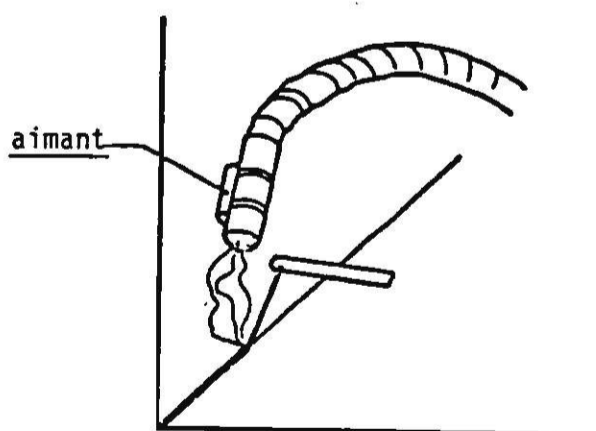


Aspiration localisée à un poste de travail

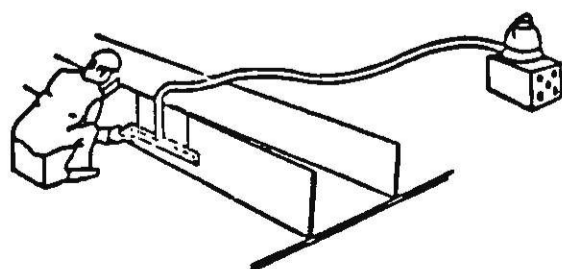


Appareil d'aspiration semi-autonome qui comprend le système d'extraction, le ventilateur, le filtre et les tuyaux

Aspiration dont la hotte d'extraction est fixée à l'aide d'un aimant



Appareil d'aspiration portatif qui rejette les fumées loin du soudeur



Des études de l'American Welding Society ont démontré que le meilleur emplacement de la gaine doit être diamétralement opposé au soudeur (180°):

soudeur → arc → hotte

Pour être efficace, la gaine doit se trouver à moins de 2,5 fois son diamètre du point d'origine de la fumée pour un rendement de captage de 100%.

Il faut s'assurer que:

- 1) l'emplacement de la hotte soit tel que l'élévation naturelle de la fumée s'ajoute au débit d'air extrait;
- 2) le volume du débit d'air et la dimension de la gaine soient assez grands pour que lorsque le panache de fumée atteint l'ouverture de la hotte, sa dispersion naturelle demeure dans les limites de l'enveloppe efficace de capture entourant la hotte.

Les plus petites hottes sont d'un encombrement réduit et peuvent être positionnées assez près de l'arc et capter les fumées avec un faible débit, mais elles nécessitent d'être déplacées très fréquemment pour suivre l'avancement du cordon de soudure. Elles peuvent être utilisées pour les soudures d'accès difficile (à l'intérieur de pièces creuses par exemple). Les dispositifs de captage à bras orientables ou articulés demandent à être déplacés moins souvent, mais au prix d'un débit d'aspiration plus élevé. Les bras simples ont un rayon d'action généralement compris entre 2 et 6 mètres. Lors de l'achat, il faut accorder une grande attention aux qualités mécaniques du bras (équilibrage, mobilité, poids) qui conditionnent sa facilité de positionnement.

L'inconvénient le plus grave est la nécessité de demander le concours du soudeur pour assurer le fonctionnement correct du dispositif de captage, qui vient s'ajouter au travail normal du soudeur. Le tableau 4.7 présente les principaux avantages et inconvénients.

Tableau 4.7

Avantages et inconvénients de l'aspiration localisée à poste mobile

AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
<ul style="list-style-type: none"> . Solution applicable au travail à poste mobile. . Captage au voisinage de la source. . Débits faibles à moyens. 	<ul style="list-style-type: none"> . Intervention de l'opérateur pour déplacer le dispositif de captage. . L'efficacité diminue très rapidement dès que l'on s'éloigne de l'ouverture d'aspiration. . Encombrement dû au flexible dans le cas des petites hottes . Le débit d'air mis en jeu par le ventilateur peut varier en fonction de la position reliée ou tendue du bras ou du flexible

Ces dispositifs sont des dispositifs de captage inducteur et tout comme les autres systèmes déjà vus les débits d'aspiration doivent être calculés de façon à induire une vitesse d'air minimale au point de soudage de 0,5 m/s.

La vitesse d'air induite devant une ouverture d'aspiration diminuant très rapidement avec la distance, le débit d'air à mettre en jeu pour obtenir la vitesse de captage de 0,5 m/s souhaitée au point d'émission sera d'autant plus faible que le système d'aspiration localisée sera situé plus près du point de soudage et que l'opération pourra être enfermée à l'aide de collerettes, d'écrans, de parois, etc. Inversement, le soudeur utilisant un dispositif d'aspiration localisée de débit donné ne pourra pas le placer au-delà d'une certaine distance, faute de quoi la vitesse d'air induite au point d'émission serait trop faible et l'efficacité de captage médiocre.

Exemple de calcul

Soit un dispositif du bras articulé dont l'ouverture d'aspiration circulaire, sans collerette est de 0,3 m de diamètre, dans le cas où le soudeur ne peut s'approcher de la bouche d'aspiration à moins de 0,3 m du point de soudage.

Le débit d'aspiration doit être calculé en utilisant la formule qui lie débit d'aspiration, vitesse d'air induite et distance à une bouche d'aspiration sans collerette.

$$Q = (10 X^2 + A) V$$

Q (m³/s): débit d'aspiration

A (m²): aire de l'ouverture d'aspiration

X (m): distance entre l'ouverture et le point considéré

V (m/s): vitesse d'air induite dans l'axe de la bouche à la distance X

La vitesse V devant être au moins égale à 0,5m/s au point de soudage, le débit à mettre en jeu doit donc être au moins de l'ordre de:

$$Q = [10(0,3)^2 + \pi \frac{(0,3)^2}{4}] 0,5 = 0,49\text{m}^3/\text{s}$$

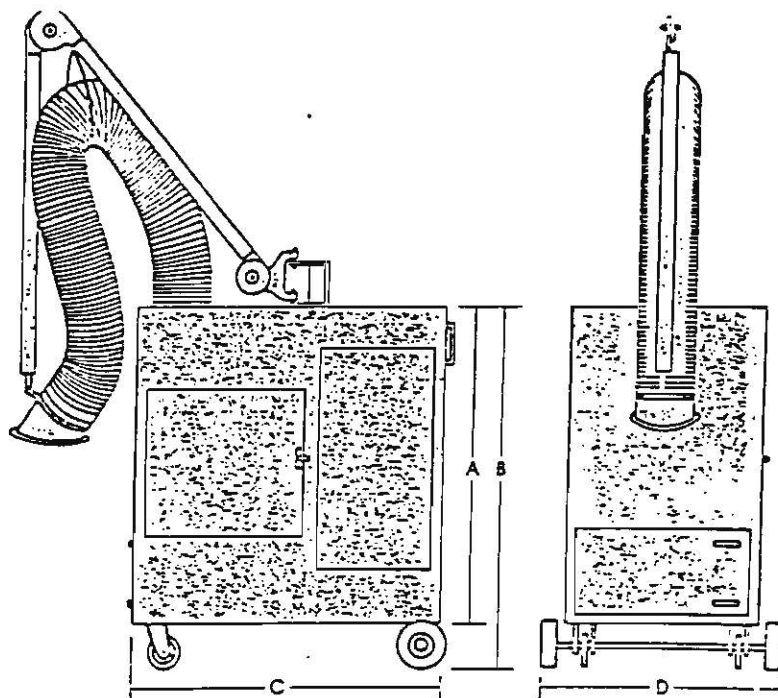
4.2.2.5 Système d'aspiration portatif

Il existe deux grands types de dispositifs d'évacuation ponctuelle des fumées: les appareils d'extraction autonomes (figure 4.11) et les aspirateurs portatifs (figure 4.12).

Le système d'extraction autonome permet de recueillir à proximité de l'arc et ensuite la filtre, recycle l'air ou l'expulse vers l'extérieur. Ils sont utiles pour un soudeur ayant besoin d'une certaine mobilité. Ces appareils sont munis de tube souple de 6 à 8 pouces de diamètre et renferment habituellement un filtre. Mais leur maniabilité est restreinte en raison de leurs dimensions.

Figure 4.11

APPAREIL D'EXTRACTION AUTONOME (SEMI-PORTATIF)



DIMENSIONS: A - 104,8 cm
 B - 121,3 cm
 C - 101,6 cm
 D - 64,8 cm

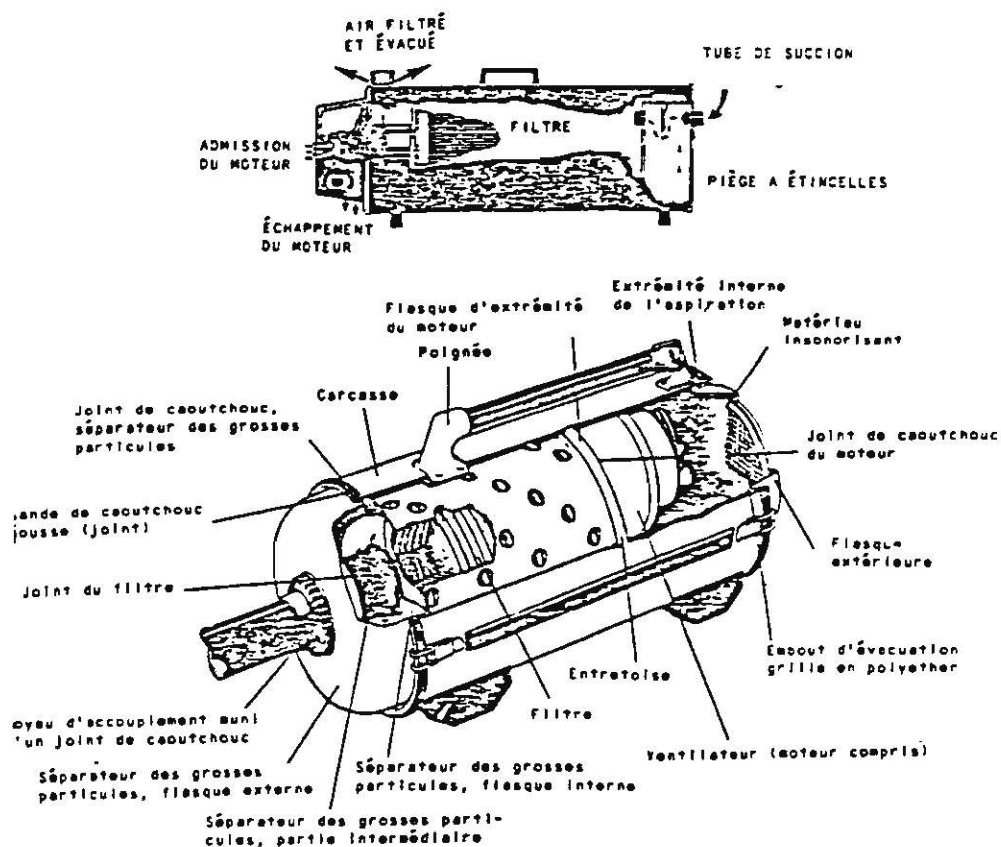
MOBILITÉ ET PORTÉE: HORIZONTAL 304,8 cm
 220°

POIDS: 136 kg

DÉBIT: 1699 m³/h

Figure 4.12

ASPIRATEURS PORTATIFS



Les aspirateurs portatifs représentent une autre possibilité lorsqu'il n'est pas possible d'utiliser la ventilation générale ou l'unité fixe d'extraction locale. Ils sont souvent munis d'un tuyau de petit diamètre (2 à 3 pouces, 5 à 8 cm). Ces appareils fonctionnent généralement à grande vitesse et à faible débit, ce qui fait qu'ils ne sont efficaces que s'ils sont placés au voisinage immédiat de l'arc (2 po, 5 cm environ). Le fait que la plupart de ces appareils ressemblent aux aspirateurs domestiques présente un inconvénient puisque l'on peut avoir tendance à les utiliser en tant qu'appareils de nettoyage. Cela peut entraîner des frais d'exploitation supérieurs et aboutir à une diminution de la durée de vie du filtre.

Les dispositifs portatifs d'aspiration et de filtration que l'on trouve dans le commerce sont offerts dans diverses tailles en même temps que des capacités de filtre et débit d'air variable.

Pour choisir un appareil portatif convenable, il est nécessaire de tenir compte des points suivants:

- a) la fréquence de remplacement ou de nettoyage du filtre;
- b) la diminution du débit d'air en fonction de l'encrassement du filtre;
- c) l'efficacité de filtration;
- d) la convenance par rapport au soudeur

4.3 CHOIX DU SYSTÈME DE VENTILATION EN FONCTION DU TYPE DE SOUDAGE

Le document de l'INRS sur la ventilation lors des opérations de soudage présente un guide pour le choix de la technique de ventilation en fonction du niveau de risque. Nous avons reproduit ce guide au tableau 4.8. Dans ce tableau, on peut noter que la ventilation générale ne peut être acceptée qu'en dernier recours et lors de faibles dégagements de fumées peu toxiques lorsqu'aucune autre solution n'est techniquement applicable. Une étude sérieuse doit alors être faite lors de la conception de l'installation. De même, l'utilisation de hotte en dôme pour des procédés manuels ou semi-automatique est exclue puisque la tête du soudeur se trouve placée entre la fumée et le système de captage.

Tableau 4.8

GUIDE POUR LE CHOIX DE LA TECHNIQUE DE VENTILATION EN FONCTION DU NIVEAU DE RISQUE (ESPACES NON CONFINÉS)

Guide pour le choix de la technique de ventilation en fonction du niveau de risque (espaces non confinés)

Niveau de risque		Cabine de soudage	Aspiration à la source				Ventilation générale (1)	Hotte en dôme
Nature des produits utilisés	Débit d'émission de fumées		Aspiration localisée à poste fixe		Aspiration localisée à poste mobile	Aspiration liée à l'outil		
			Aspiration latérale	Aspiration vers le bas				
Soudage avec produits pour aciers alliés (inoxydables, réfractaires).	très élevé	recommandé	utilisable	utilisable (3)	déconseillé (2)	déconseillé	déconseillé	à exclure
	élevé							
Rechargement extradur avec produits fortement alliés	modéré	recommandé	recommandé	utilisable (3)	utilisable (4)	utilisable (4)	déconseillé	à exclure
Soudage avec produits pour aciers ordinaires ou très faiblement alliés	très élevé	recommandé	recommandé	utilisable (3)	utilisable (4)	utilisable (4)	déconseillé	à exclure
	élevé							
	modéré							

Notes:

- (1) Il s'agit de la ventilation générale utilisée seule en tant que technique principale d'assainissement de l'air
- (2) Sauf pièces de très grandes dimensions, à condition de respecter strictement les critères de ventilation et de prévoir une ventilation générale complémentaire
- (3) Pièces de faible hauteur
- (4) Sous réserve d'un respect particulièrement strict des conditions correctes d'utilisation et d'entretien

4.4 ÉQUIPEMENTS

4.4.1 Hottes d'aspiration

Nous avons déjà souligné que la vitesse de capture des fumées de soudage recommandée était de 0,5 m/s (ACNOR, ANSI). Afin de réaliser une capture satisfaisante de la fumée à cette vitesse de capture, deux principes fondamentaux doivent être respectés:

- 1) l'emplacement de la hotte doit être fait de façon à ce que l'élévation naturelle de la fumée s'ajoute au débit d'air extrait;
- 2) le volume du débit d'air et la dimension de la hotte doivent être assez grands pour que lorsque le panache de fumée atteint l'ouverture de la hotte, sa dispersion naturelle demeure dans les limites de l'enveloppe de capture efficace entourant la hotte.

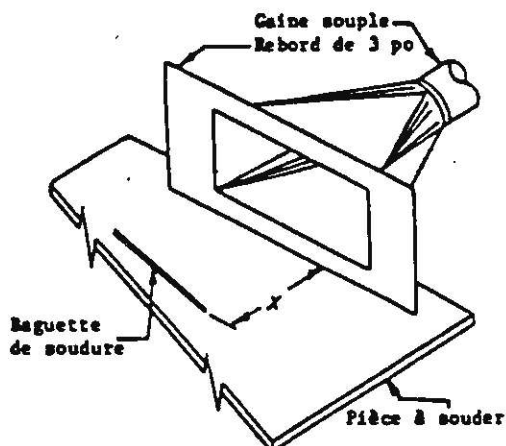
Il est donc important de positionner correctement la hotte. Des tests ont été réalisés par l'"American Welding Society" sur les caractéristiques des hottes circulaires comprenant un rebord. Ces études ont démontré que le meilleur emplacement de la hotte doit être diamétralement opposé au soudeur (c'est-à-dire à 180°) pour que la source d'émission soit entre la hotte et le soudeur. Un rendement de captage de 100% est obtenu lorsque la hotte circulaire est située à moins de 2,5 fois son diamètre du point d'émission des fumées. Le rendement de captage tombe à 50% lorsque la distance hotte - point d'émission de fumée était de 3.5 diamètres et l'extraction des fumées est inefficace si la hotte est située à 4 ou 5 diamètres de l'arc. De plus, en élevant la hotte à 1,5 diamètre (mais moins de 2,5 diamètres), on augmente légèrement le rendement.

À titre d'exemple, une hotte de 8 pouces de diamètre doit être placée à 12-16 pouces au-dessus de l'arc et à moins de 20 pouces d'un des côtés de l'arc pour obtenir un rendement de capture de 100%. Par contre, une petite hotte de 2 pouces de diamètre devra être placée à 3-4 pouces au-dessus et à moins de 5 pouces de l'un des côtés de l'arc pour une même efficacité de capture. On peut donc en conclure que pour une capacité de débit disponible, il est préférable d'avoir recours à une hotte de diamètre supérieur pour réduire la fréquence de repositionnement de la hotte par le soudeur.

Le "Southwest Research Institute" a évalué la forme de hotte en milieu de soudage. On a conclu qu'une hotte rectangulaire (12 po. X 24 po.) dont l'inclinaison par rapport à la surface de soudage est de 45°, produisait des vitesses de capture efficaces pour des débits inférieurs à ceux demandés par une hotte circulaire. La figure 4.13 représente la forme de hotte d'extraction recommandée par l'ACGIH.

Figure 4.13

CONCEPTION DE L'ÉTABLI DE SOUDAGE D'APRÈS L'ACGIH



BOTTE D'EXTRACTION PORTATIVE

X, pouces	Gaine ordinaire pi^3/mn	Rebord ou cône pi^3/mn
jusqu'à 6	335	250
6 - 9	755	560
9 - 12	1335	1000

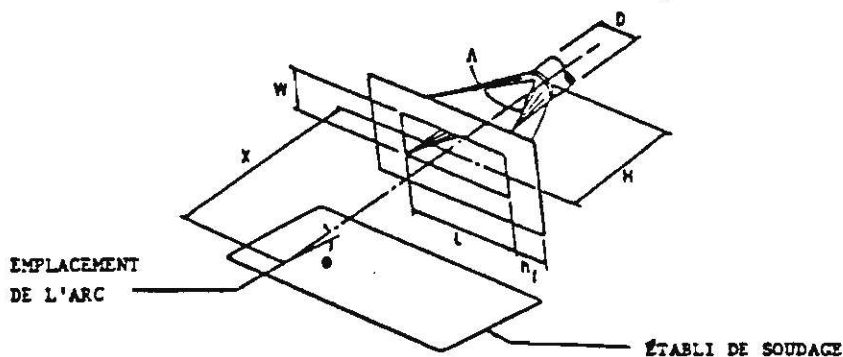
Vitesse frontale = 1500 pi/mn Vitesse dans la gaine = 3000 pi/mn minimum

Perte à l'entrée d'une gaine ordinaire = 0,93 VP de la gaine

Perte sur le rebord ou le cône d'entrée = 0,25 VP de la gaine

La figure 4.14 illustre les vitesses au point d'émission et les débits d'air nécessaires pour une grandeur de hotte selon que le soudage est fait sur de l'acier doux ou de l'acier inoxydable.

Figure 4.14

RENDEMENT D'UNE HOTTE D'ASPIRATION RECTANGULAIRE
POUR LE SOUDAGE À L'ARC ÉLECTRIQUE

L = 24 po

W = 12 po

H = 8 po

 $\phi = 45^\circ$

A = 90°

D = 8 po

 $h_f = 6$ po

X = 18 po

100 p.cent de la
durée d'arc

Métal de base

	Acier au carbone	Acier inoxydable
V_c (pi/mn) à x	20	100
Q (pi/mn)	364	1734
V_{FACE} (pi/mn)	182	870

Ces données nous soulignent que la position de la hotte par rapport au point d'émission des fumées est importante. Il est facile par l'observation de vérifier si la hotte aspire la majorité des fumées et de corriger alors la position de la hotte. Il faut que l'utilisateur soit conscient et bien informé de l'importance de bien utiliser cet outil.

4.4.2 Conduites

Le tableau 4.9 nous indique le type de matériel utilisé pour faire les conduites ainsi que leur application.

Tableau 4.9

SÉLECTION DU MATÉRIEL UTILISÉ POUR LES HOTTES ET CONDUITES

MATÉRIEL	APPLICATIONS
Acier doux	.Satisfaisant dans des environnements secs .Une peinture est généralement nécessaire pour la protection du métal .Peut être utilisé à de basses températures et situations corrosives si le métal est traité avec un revêtement de protection approprié
Acier galvanisé	.Satisfaisant dans des environnements industriels où la température ne dépasse pas 180°C .Non recommandé s'il y a des produits corrosifs présents dans l'air
Aluminium	.Recommandé pour les environnements industriels sauf si des acides ou des bases sont présents
Acier inoxydable	.Résistant dans des atmosphères corrosives .Coûteux
PVC non-plastifié ("unplasticised") et polypropylène	.Recommandé pour presque toutes les situations corrosives .Matériel de résistance limité et seulement satisfaisant si les T° dépassent 40°C (non recommandé pour une utilisation près de la zone de soudage)

4.4.3 Équipement de filtration

Pour envisager l'équipement de filtration en milieu de soudage, il faut tenir compte des deux grands types de polluants émis lors du soudage: les fumées et les gaz.

4.4.3.1 Filtration avec filtres

L'air chargé de poussières est passé à travers un filtre constitué d'une membrane fibreuse ou poreuse dont la taille réelle des pores est inférieure à celles des particules des fumées. Au fur et à mesure que les fumées sont recueillies, la résistance au débit d'air augmente, de même que l'efficacité du filtre jusqu'au point où un nettoyage ou un remplacement du filtre devient nécessaire.

Pour évaluer l'équipement de contrôle comportant un filtre, les deux considérations suivantes sont importantes:

- 1) la fréquence de remplacement (filtre jetable) ou les exigences de nettoyage (filtre réutilisable);
- 2) l'efficacité du filtre.

Le tableau 4.10 fournit certains aspects caractéristiques de diverses matières composant les filtres. Les filtres HEPA (high efficiency particulate air) ou filtres absolus sont définis comme ayant une efficacité de 99.9% pour des particules de 0,3 micron. Cependant, plusieurs inconvénients associés à ce type de filtre (coût élevé, forte opposition au passage de l'air, d'où nécessité d'un moteur plus puissant, diminution de l'efficacité en un temps relativement court), les fabricants ont adopté une filtration à plusieurs étages dans lesquels sont montés, en amont du filtre HEPA, des pré-filtres destinés à capturer une importante partie de la fumée de soudage.

Tableau 4.10

RENDEMENT DES MÉDIA-FILTRANTS SECS

TYPE DE MEDIA FILTRANTS	ASHRAE RENDEMENT PONDERAL DU DEPOUSSIERAGE	ASHRAE POURCENTAGE D'EFFICACITE D'ASPIRATION DES POUSSIERES ATMOSPHERIQUES	POURCENTAGE DE RENDEMENT STD-HIL 282 DOP	ASHRAE CAPACITE DE RETENUE DES POUSSIERES, EN GRAMMES PAR CELLULE, DE 1000 pl ³ /min
Fines saïles de mousse et deniers de matières non textiles	70-80	15-30	0	180-425
Couche de minces feuilles de fibres de verre et de cellulose	80-90	20-35	0	90-180
Lits de fibres de verre, de multiples couches de cellulose, feutre de laine	85-90	25-40	5-10	90-180
Couches de fibres de 5 à 10 µm d'une épaisseur de 1/4 à 1/2 de po	90-95	40-60	15-25	270-540
Couches de fibres de 3 à 5 µm d'une épaisseur de 1/4 à 1/2 de po	>95	60-80	35-40	180-450
Couches de fibres de 1 à 4 µm, mélange de fibres diverses et d'anilante	>95	80-90	50-55	180-360
Couches de fibres de 1 à 2 µm (habituellement fibres de verre)	NA	90-98	75-90	90-170
Couches de papier imprégné, mélange de fibres de verre diverses, diamètre 1 µm (Filtres HEPA)	NA	NA	95-99.999	500-1000
Filtres à membrane (membranes de cellulose, d'acétate, de nylon, etc. dont les cavités ont un diamètre de 1 µm ou moins)	NA	NA	~100	NA

NA: indique que cette méthode d'essai ne s'applique pas à ce niveau du filtre

SOURCE DE RENSEIGNEMENTS: ASHRAE Equipment Handbook, 1975, p. 10.7.

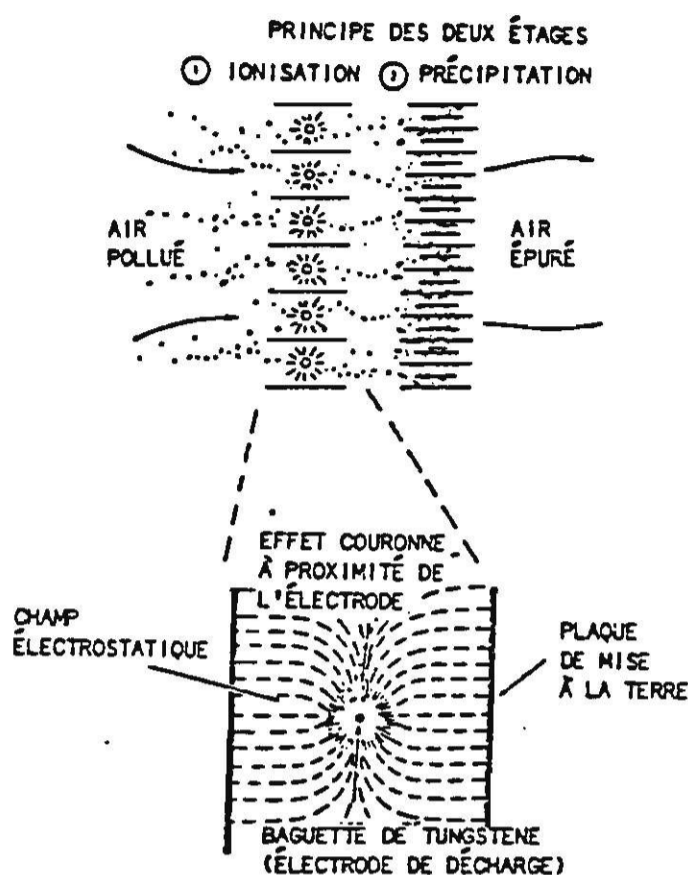
Dans le cas d'installations plus importantes comportant des gaines, la filtration mécanique se fait au moyen de cartouches filtres nettoyables ou de sacs qui sont nettoyés automatiquement par insufflation d'air comprimé passant à travers la cartouche dans le sens inverse de la capture. La poussière est recueillie dans une trémie qui peut être nettoyées mensuellement, tandis que la matière filtrante peut demander un remplacement annuel.

4.4.3.2 Précipitateurs électrostatiques (PES)

Dans un précipitateur électrostatique, la fumée passe au travers d'une zone d'ionisation dans laquelle une charge positive est induite aux particules. Celles-ci passent ensuite dans une enceinte de captation constituée d'une succession de plaques chargées positivement qui repoussent les particules chargées et de plaques mises à la terre qui attirent et retiennent les particules (voir figure 4.15)

Figure 4.15

PRINCIPE DE LA PRÉCIPITATION ÉLECTROSTATIQUE COMPORTANT 2 ÉTAGES



Les PES qui n'ont qu'un seul étage (dans lesquels l'ionisation et la précipitation se déroulent sur les mêmes plaques) ont tendance à être moins fiables que ceux constitués de deux étages. En effet, dans les premiers, l'accumulation de la poussière sur les plaques touche à la fois l'ionisation et le rendement de collecte, tandis que chez les PES à deux étages, seul le rendement de collecte baisse au fur et à mesure que la poussière s'accumule sur les plaques.

Comparativement aux appareils comportant des filtres mécaniques, qui ont besoin d'un moteur plus puissant pour assurer une aspiration suffisante, les PES sont plus petits (selon la capacité en m^3/min) et leur fonctionnement demande près d'un cinquième de l'énergie. Le plus petit modèle de PES peut être adapté sur l'appareil d'aspiration autonome illustré à la figure 1. Les débits d'air plus élevés des PES font que ces appareils conviennent parfaitement aux systèmes de filtration montés en permanence sur les parois ou le plafond pour la ventilation générale ou à canalisations, et à l'usage des établis de soudage ventilés.

Le rendement de collecte peut atteindre 99.5% lors de certaines applications; mais de façon générale il est compris entre 80 et 95% dans le cas de la capture des particules de fumées de soudage (inférieure à 1-1,5 micron en principe)

Il est possible que des difficultés surgissent si les plaques d'ionisation sont recouvertes d'un matériau très résistant ou si le circuit de charge est court-circuité par humidification. Les particules entrant dans le PES ne pourront pas être convenablement ionisées, d'où une diminution du rendement de collecte. Les particules traverseront l'appareil et formeront une couche de suie très visible en se déposant sur les surfaces situées dans les limites de la zone de travail.

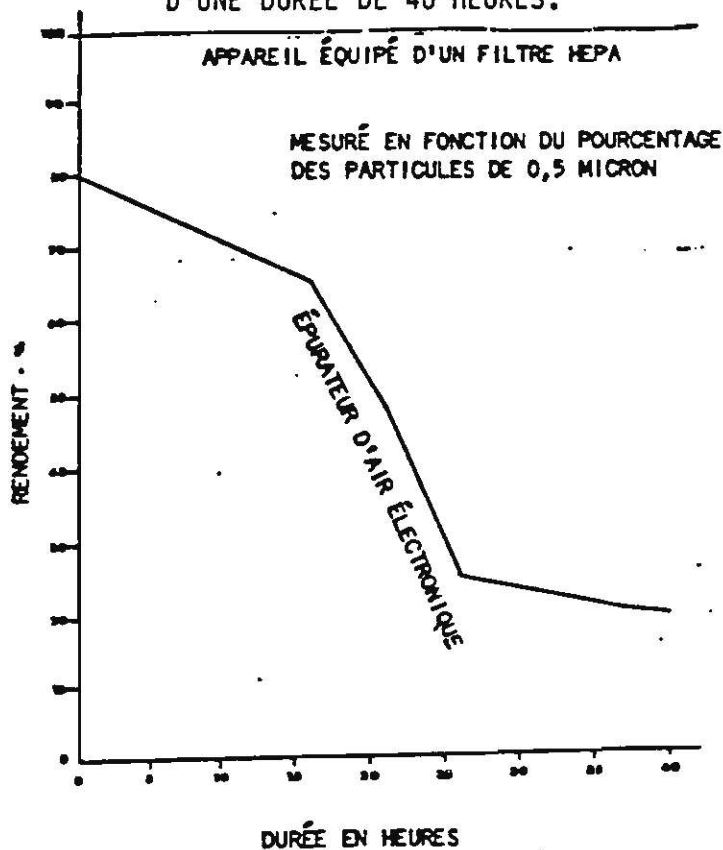
L'effet provoqué pour l'accumulation des particules sur les plaques de précipitation représentent un facteur extrêmement important de rendement. Il est indispensable de nettoyer la chambre de précipitation à des intervalles assez rapprochés (par soufflage, lavage ou agitation) afin d'assurer le rendement maximal de filtration (voir figure 4.16).

Il est important de souligner que les PES nécessitent une alimentation haute-tension continue pour créer et entretenir des champs électriques d'ionisation et d'attraction, d'où la possibilité d'amorçage d'arc électrique. Les PES ne doivent pas être utilisés lorsque des contaminants inflammables ou explosifs sont présents.

Les décharges par effet couronne dans la chambre d'ionisation peuvent former de l'ozone et des oxydes d'azote qui peuvent représenter un inconvénient potentiel pour ces appareils.

Figure 4.16

BAISSE DU RENDEMENT DANS LE CAS DE L'EMPLOI D'UN APPAREIL ÉQUIPÉ D'UN FILTRE HEPA ET D'UN ÉPURATEUR D'AIR ÉLECTROSTATIQUE PENDANT UN ESSAI D'UNE DURÉE DE 40 HEURES.



N.B.: Dans le cas de l'emploi d'un appareil équipé du filtre HEPA, il faut noter que la comparaison n'est pas valable en elle-même puisque ce filtre connaîtra de sérieuses difficultés dues à la diminution du débit d'air provoquée par la chute de pression statique à mesure de l'encrassement du filtre.

Les gaz ne peuvent être filtrés par ces méthodes, mais il peut se produire une certaine diminution des niveaux gazeux à cause de l'absorption par les particules recueillies. Les seules méthodes permettant de garantir la filtration des gaz consistent à les faire traverser un milieu chimiquement actif ou à utiliser les techniques d'épuration par voie humide.

Pour retenir une certaine quantité des gaz émis pendant le soudage, on peut incorporer dans l'équipement (de filtration avec filtre et PES) des filtres de charbon actif. Il faut tenir compte que l'efficacité d'absorption diminue considérablement à mesure que la saturation du filtre de charbon augmente, et il s'avère difficile de déterminer à quel moment, la capacité de filtration est épuisée. Avec ce type de filtre, on ne parvient pas à éliminer convenablement le monoxyde et le dioxyde de carbone et on considère comme douteuse la capacité d'élimination efficace de l'ozone. Il existe des cartouches de filtration des gaz destinées aux appareils d'aspiration de la fumée utilisant du permanganate d'aluminium qui est un puissant milieu oxydant. Il s'avère efficace pour diminuer les concentrations de contaminants gazeux actifs comme l'ozone, le CO et le NO.

4.4.4 Systèmes de ventilation locale portatifs - volet expérimental

Source: Association Canadienne de l'électricité
Préparé par: Ontario Hydro Research Division
Février 1985

Nous avons vu auparavant, qu'il existait trois modes différents de ventilation locale; localisé à l'outil, localisée à poste mobile, localisée à poste fixe.

Nous verrons dans ce qui suit les conclusions d'une étude expérimentale sur quatre modèles différents de ventilation locale portative.

Les marques de commerce de ces appareils sont: Bumble Bee, Flex, Lectrostatic* no. 821 et Tykran Phase IV.

Les paramètres suivants furent évalués pour chacun des appareils:

- test de l'efficacité de captage
- essai de la durée de service du filtre
- essai de la qualité du filtre

Une des conclusions qui ressort de cette étude est que "l'on peut se servir de plusieurs caractéristiques quantifiables afin de déterminer de manière normalisée, les possibilités offertes par un aspirateur portable".

Bien que nous ayons deux normes sur lesquelles se baser en ventilation, soit ACNOR W 117.2 et ANSI Z 49.1, il n'existe rien obligeant les fabricants à inclure les caractéristiques nécessaires dans leur documentation technique.

Voici d'après l'étude menée par Ontario Hydro Research, ces caractéristiques dites nécessaires:

- le débit nominal maximal de l'appareil (en pi^3/min);
- la surface active du filtre;

* Le modèle Lectrostatic est identique à deux autres appareils disponibles dans le commerce: Airflux fabriqué par Entectic-Castolin et Widdervac (fabriqué par Widder)

- la qualité de filtrage (à neuf et en fonction de l'encrassement par la fumée);
- l'efficacité de captage (distance arc-embouchure d'aspiration);
- la distance à partir de laquelle le profil de vitesse frontale de 0,5m/s de l'embouchure d'aspiration est fonction du filtre neuf;
- l'encrassement de fumée nécessaire pour diminuer la distance à laquelle le profil de vitesse de 0,5 m/s tombe en-dessous d'une certaine valeur fixée arbitrairement;
- capacités d'encrassement des divers filtres et la courbe d'accumulation de fumée prévue (sert à établir les durées de service relatives du filtre).

Le tableau 4.11 permet de comparer les paramètres retenus lors de l'étude en se basant sur la qualité de filtrage et l'efficacité de captage, les appareils Flex et Tykran semblent supérieurs. Toutefois deux facteurs diminuent l'intérêt que l'on pourrait leur porter: la courte durée de vie utile du filtre de l'appareil et les difficultés reliées à l'utilisation du débit d'air épuré destiné à refroidir le moteur.

Le choix "parfait" semble l'appareil Lectrostatic: surface de filtre de 14 m², qualité de filtrage de 99.1%, efficacité de captage à 23 m (avec filtre neuf) de 55%, capacité d'accumulation du filtre d'environ 5 Kg. L'inconvénient de cet appareil est le poids, 20 Kg.

Tableau 4.11

APPAREIL	PRIX (en 1982)	COÛT DU FILTRE (en 1982)	DÉBIT MAXIM. (m ³ /h)	SURFACE DU FILTRE (m ²)	QUALITÉ DU FILTRAGE	EFFICACITÉ DE CAPTAGE: Ø 23 cm (filtre neuf)	DISTANCE PAR RAPPORT AU PROF. DE VITESSE DE 0,5 m/s (cm)	CAPACITÉ DU FILTRE (kg)	POIDS (kg)
Flex	\$1517	\$55 ¹	260	2.5 ²	99.9%	90%	10.1 ⁶	-2	11
Bumble Bee	\$ 700	\$36	160	10	99.4%	41%	8.3	-2	7
Lectrostatic	\$1275 ³	\$79	210	14	99.1%	55%	8.9	-5(est)	20
Tykron	\$1550	\$69 ⁴	280	5.5 ⁴	99.8%	90%	9.5 ⁶	-4(est)	36
Temprite	\$2575	n/a ⁵	2190	n/a	85%	100%	35	-	150

¹ Se rapporte au filtre interne (le plus petit) le filtre HEPA exigeant des remplacements peu fréquents coûte 164 \$

² Se rapporte au filtre interne

³ se rapporte au modèle B03 équivalent à l'Electic

⁴ Cette donnée se rapporte à l'élément filtre secondaire (situé au centre). Le filtre HEPA exigeant des remplacements peu fréquents, coûte 145 dollars.

⁵ Note: si cette donnée ne comprend aucun coût de remplacement du filtre, elle englobe les coûts de maintenance relatif au nettoyage de l'unité de captage.

⁶ Ces valeurs ont été mesurées après avoir simulé une faible quantité de fumée sur le filtre.

Concernant la conception des aspirateurs de fumée portables, quelques notes s'imposent à partir de l'étude menée:

Moteurs: Dans le cas d'appareils à deux moteurs, la possibilité de fonctionner sur un seul moteur ne représente qu'un léger avantage.

La technique des deux moteurs n'est intéressante que si elle permet d'élever au maximum la puissance de débit de l'appareil.

Filtres: L'utilisation d'un filtre absolue à haute efficacité (HEPA) ne justifie pas l'augmentation de poids, le coût élevé, la complexité de la technique de filtrage et la perte éventuelle de débit.

En général, la qualité de filtrage d'un filtre standard s'accroît à mesure de son encrassement.

L'emploi d'un préfiltre bon marché lavable ou jetable, est une excellente idée destinée à prolonger la durée de service du filtre principal.

Embouchure et boyau d'aspiration: Le choix de la meilleur embouchure est fonction du travail à effectuer. L'embouchure circulaire représente un outil universel tandis que les embouchures rectangulaires conviennent aux cordons de soudure rectiligne et les embouchures rectangulaires courbées conviennent au soudage de tuyauterie.

Il est recommandé d'utiliser un boyau léger insensible aux jets d'étincelles et aux déplacements du chariot et dont l'intérieur offre une surface lisse pour réduire les pertes de débit (intérieur en PVC)

Élimination de la fumée: Il n'est pas recommandé de nettoyer les filtres avec l'air comprimé (rupture du filtre)

CONCLUSION:

Plusieurs paramètres peuvent être retenus dans l'évaluation de la qualité d'un appareil d'aspiration portable.

L'absence de caractéristiques identiques d'un fabricant à l'autre et un "vide juridique" ne précisant pas ces caractéristiques n'aide pas à une évaluation comparative juste.

Le meilleur choix d'un appareil d'aspiration devra tenir compte d'une analyse minutieuse des travaux à réaliser et d'une compréhension parfaite de la robustesse et de la faiblesse de l'équipement.

4.5 TRAITEMENT DE L'AIR

4.5.1 Apport d'air de compensation

L'air qu'on extrait d'un atelier à l'aide des systèmes de ventilation locale ou générale doit être compensé par des apports d'air neuf équivalents et ce pour les raisons suivantes:

- 1) Assurer l'efficacité des systèmes de ventilation: le manque d'air de compensation produit une mise en dépression de la pièce ce qui crée une résistance supplémentaire pour les ventilateurs. Il en résulte une diminution des débits d'air, particulièrement sensible dans le cas de certains ventilateurs hélicoïdes, qui amène une perte d'efficacité des systèmes de ventilation.
- 2) Éliminer les courants d'air provenant des ouvertures (portes, fenêtres, etc...) qui peuvent diminuer l'efficacité des dispositifs de captage et disperser les polluants dans tout l'atelier, remettre en suspension des poussières déposées (par exemple sur la charpente) et provoquer un inconfort thermique pour le personnel.
- 3) Éviter que l'air provenant de zones adjacentes polluées ne soit entraîné dans les zones propres.
- 4) Assurer le fonctionnement correct des appareils à combustion et des cheminées.
- 5) Diminuer les efforts d'ouverture des portes.

De façon générale, on prévoit un débit d'air de compensation égale au débit total extrait de l'atelier par les systèmes de ventilation, les machines elles-mêmes et les appareils à combustion. Même si quelques fois, on préfère introduire un débit d'air légèrement plus élevé (d'environ 10%) pour tenir compte d'éventuelles modifications de la ventilation, cette solution ne doit pas être retenue si on désire maintenir une légère dépression dans l'atelier pour éviter tout risque de fuite des polluants (par exemple vers un département adjacent propre).

Le Règlement sur la qualité du milieu de travail stipule à l'article 22 que sous réserve d'un système de recirculation un établissement ventilé mécaniquement doit être pourvu d'un système d'admission d'air frais conçu afin de remplacer le volume d'air évacué du milieu de travail par de l'air frais provenant de l'atmosphère. De même la prise d'air frais doit être placée de façon à ne pas réintroduire de l'air préalablement évacué d'un établissement.

L'introduction mécanique de l'air de compensation est recommandée et cet air neuf sera chauffé lorsque nécessaire. L'air devra être distribué à l'aide de diffuseurs (pour éviter les courants d'air) et si possible de façon à traverser d'abord la zone occupée par les travailleurs puis les zones polluées. Pour réduire les coûts de chauffage, on peut utiliser une installation de récupération de chaleur sur l'air extrait afin de préchauffer l'air de compensation.

Plus les débits d'air mis en jeu sont grands et plus les coûts d'installation et de fonctionnement sont élevés (énergie consommée par les ventilateurs et pour le chauffage de l'air de compensation, coût d'entretien des dispositifs d'épuration, etc...)

4.5.2 Traitement de l'air pollué

L'air pollué retiré par le système de ventilation de l'atelier de soudage peut être rejeté à l'extérieur ou recyclé après épuration et retourné dans l'atelier. L'avantage de la deuxième solution étant bien sûr d'ordre économique (coût de chauffage de l'apport d'air de compensation).

Le Règlement sur la qualité du milieu de travail précise à l'article 21 que les systèmes de recirculation de l'air ne doivent pas être utilisés pour la recirculation d'un gaz, vapeur, brouillard, fumée ou poussière pour lequel l'annexe A prévoit une valeur plafond (ex.: bioxyde d'azote, cadmium, manganèse, etc...) ou qui est réputé cancérigène selon la partie-V de cette annexe (cadmium, par exemple). Cet article mentionne également que le système de recirculation de l'air doit avoir une conduite destinée à évacuer l'air vicié à l'extérieur de l'établissement en cas de bris ou de mauvais fonctionnement du système de filtration de l'air. Il ne doit y avoir aucun rejet de fumées ou poussières dans un local où, avant la mise en marche de ce système de recirculation de l'air, cette fumée ou poussière était absente. Le système de recirculation de l'air doit naturellement être conçu de sorte que la concentration des poussières, fumées, gaz, vapeurs et brouillards à tout poste de travail soit inférieure à la concentration moyenne permise dans le milieu de travail selon l'annexe A.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - American Industrial Hygiene Association, 1984. **Welding health and Safety - Ressource manual.** 40 pages.
 - 2 - American Welding Society. **The welding environment.** 169 pages.
 - 3 - Burgess, William A., 1981. **Recognition of health hazards in industry - a review of materials and processes.** A Wiley-interscience publication.
 - 4 - D.S.C. Sacré-Coeur. **Programme de surveillance médico-environnementale pour les travailleurs exposés aux gaz et aux fumées de soudage.**
 - 5 - Evans, R.M. et al, 1977. **Fumes and Gases in the welding environment - a research report on fumes and gases generated during welding operations.** American Welding Society editor. 229 pages.
 - 6 - I.N.R.S., 1984. **Guide pratique de ventilation - 7. Opérations de soudage à l'arc.** Cahiers de notes documentaires No. 115 pp. 143 à 158.
 - 7 - Jenkins, A. et al, 1981. **Welding fume - Sources, characteristics, control volume 1.** The Welding Institute. 209 pages.
 - 8 - Jenkins, A. et al, 1981. **Welding fume - A critical literature review - volume 3.** The Welding Institute. 113 pages.
 - 9 - Korber, D et Fiban, H.J. **Particule Emission from welding of Painted Steel.** International J. Environ. Anal. Chem., Vol. 10, pp. 13-21. 1981.
 - 10- Lauwerys, R., 1982. **Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles.** Masson, 2ième édition.
 - 11- Tinkler, M.J. et al, 1983. **Evaluation et contrôle des fumées produites au cours du soudage - volume I - étude du problème.** Division de recherche d'Ontario Hydro et Institut canadien du soudage. 327 pages.
 - 12- Tinkler, M.J. et al, 1985. **Evaluation et contrôle des fumées produites au cours du soudage - volume II - Evaluation expérimentale.** Division de recherche d'Ontario Hydro et Institut canadien du soudage. 216 pages.
 - 13- Boillot, Jean-Paul, 1980. **Les principaux procédés de soudage.** Institut canadien de soudage, Centre du Québec.
 - 14- Michel, C. **Introduction aux procédés de soudage.** Le Québec industriel, vol. 34, no. 11. Octobre 1981.
- **Les composés d'électrodes.** Prévention, décembre 1982.

Bibliographie (suite)

- 15- C.S.S.T., 1984. **Eléments du programme de surveillance médico-environnementale pour les travailleurs exposés aux gaz et aux fumées de soudage.**
- 16- Keinig, Pomrehn et Burmeister. **Respiratory symptoms and pulmonary function in welders of mild steel: a cross-sectional study.** American journal of industrial medicine, 4, pp. 489-499. 1983.

ANNEXE 1

Vocabulaire

- Ame de l'électrode:** partie intérieure de l'électrode. Elle est conductrice du courant électrique.
- Enrobage de l'électrode:** partie extérieure de l'électrode, filée concentriquement à l'âme, non conductrice du courant. L'enrobage joue notamment sur la facilité opératoire, les caractéristiques mécaniques du métal déposé, la présentation des soudures, etc.
- Chenille, cordon, passe:** dépôts longitudinaux de métal, constituant la soudure, obtenus par les différents méthodes opératoires.
- Cratère de l'électrode:** formé à l'extrémité de l'électrode côté soudage par un retrait l'âme métallique par rapport à l'enrobage.
- Cratère du cordon de soudure:** extrémité du dépôt au moment de l'interruption du soudage.
- Laitier:** résidu de la fusion de l'enrobage qui recouvre le cordon après le soudage sous forme de scorie. Le laitier doit pouvoir s'éliminer aisément.
- Mouillage ou mouillabilité du métal déposé:** aptitude du métal déposé à s'étaler sur le métal de base; elle est fonction du type d'électrode, de l'état de surface du métal à souder, de sa nature, etc.
- Pénétration:** profondeur du bain de fusion formé dans le métal de base.
- Scorie:** matière qui, se séparant pendant la fusion des métaux, vient se vitrifier à leur surface.
- Stries:** elles matérialisent les bains successifs de solidification; elles conditionnent par leur régularité et leur rugosité l'aspect général du cordon de soudure.

ANNEXE 2composition chimique des enrobages

On retrouve ci-dessous la composition chimique des principaux éléments contenus dans l'enrobage des électrodes (les substances marquées d'un * peuvent avoir plusieurs compositions - une composition type est présentée).

<u>NOM CHIMIQUE</u>	<u>COMPOSITION CHIMIQUE TYPE</u>
Ilménite	$\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$
Amiante	$3 \text{MgO} \cdot 4 \text{SiO}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$
Talc	$3 \text{MgO} \cdot 4 \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Bentonite	Complexe d'hydroxydes d'Al, Mg, Fe
Silice, quartz	SiO_2
Cellulose	$(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$
Alumine	Al_2O_3
Muscovite, mica *	$\text{K}_2\text{O} \cdot 3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
Actinolite	$\text{CaO} \cdot \text{MgO} \cdot 2 \text{FeO} \cdot 4 \text{SiO}_2$
Magnétite	Fe_3O_4
Hématite	Fe_2O_3
Rutile, titane	TiO_2
Dolomite	$\text{MgO} \cdot \text{CaO} \cdot (\text{CO}_2)_2$
Fluorspar, fluorite	CaF_2
Cryolite	Na_3AlF_6
Oxyde de calcium	CaO
Carbonate de calcium, calcite, marbre	CaCO_3
Zirconium	ZrO_2
Feldspar *	$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{SiO}_2$
Argile *	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
Silicate de sodium	$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ ratio 3.22
Silicate de potassium	$\text{SiO}_2/\text{K}_2\text{O}$ ratio 2.11

F 6487

4040

Beausoleil, Monique et Al.

AUTEUR

Fumées de soudage : facteurs
contributifs et moyens de

F 6487

