

# SOMMAIRE

<b>Introduction :</b>	<b>3</b>
<b>1. Le soudage au gaz (au chalumeau) :</b>	<b>4</b>
a) Soudage oxyacétylénique :	5
b) Brasage :	7
c) Soudobrasage :	9
<b>2. SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE :</b>	<b>11</b>
a) Soudage manuel à l'arc électrique avec électrode enrobée :	13
b) Soudage à l'arc électrique type TIG Tungstène inert gas :	18
c) Soudage semi automatique : MIG, MAG :	21
d) Soudage à l'arc électrique sous flux ou Soudage à l'arc électrique submergé :	25

## **Conclusion :**

27

## INTRODUCTION

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

Le soudage est une opération de micro-métallurgie consistant à exécuter un cordon fondu liant les bords de deux pièces. Il constitue un moyen d'assemblage privilégié pour toute construction faisant intervenir des matériaux métalliques.

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

## I. Principaux procédés de soudage :

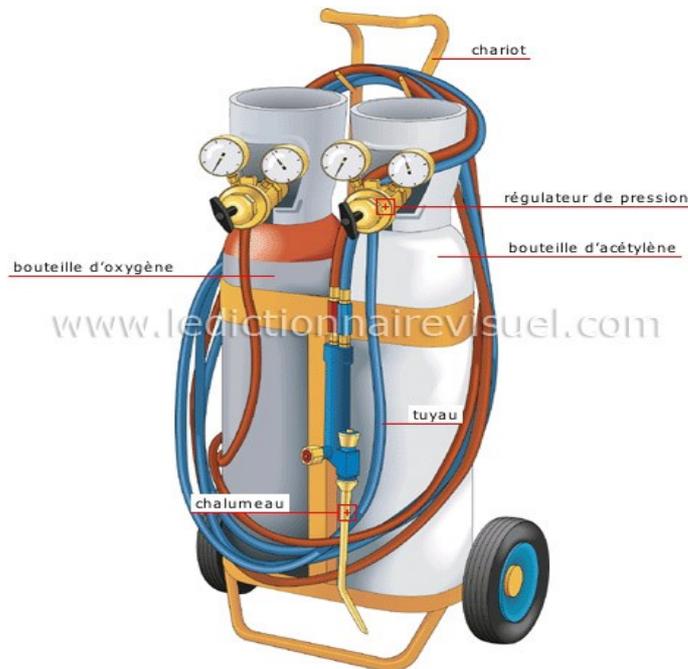
### 1. Le soudage au gaz (au chalumeau) :

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

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



### ➤ *Soudage oxyacétylénique :*



### ✓ PRINCIPE :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

L'un, l'O<sub>2</sub>, le comburant du mélange, a pour rôle d'activer la flamme l'autre, l'acétylène, le combustible, celui de la créer.

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

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

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

Dans le soudage, le contact avec l'air ambiant empêche la soudure de se faire, car il entraîne immédiatement une oxydation des métaux à son contact. C'est pourquoi, le soudage doit toujours se faire sous protection, ici **protection gazeuse**, qui crée une enveloppe gazeuse entre les métaux et l'air ambiant, ennemi du soudeur.

### ✓ EN PRATIQUE :

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

Puis il allume l'acétylène, il règle le débit pour que la flamme touche juste la buse (en augmentant le débit, la flamme se crée plus en avant) ensuite il allume l'oxygène et règle le débit pour ne voir qu'un seul dard (langue à l'intérieur de la flamme) Si le débit est trop fort il y a deux dards. Le dard doit être assez court.

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

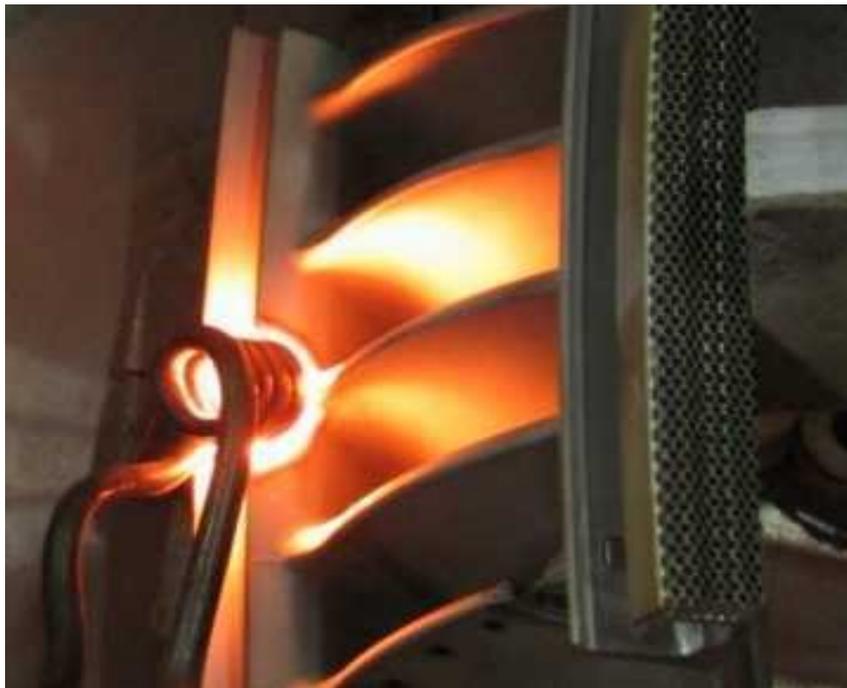
C'est le contrôle visuel qui permet de déterminer que la bonne température est atteinte, la couleur et l'aspect du métal sont observés en permanence par le soudeur.

Celui-ci amène alors la baguette de soudage au niveau de l'espace entre les deux pièces à souder et il commence par les pointer : c'est-à-dire faire des points

de soudure avant de les souder complètement ; ceci permet de stabiliser les deux pièces l'une par rapport à l'autre et confère au cordon de soudure une meilleure résistance aux forces de traction et de torsion.

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

➤ **Brasage :**



✓ **PRINCIPE :**

Le brasage permet l'assemblage de deux pièces métalliques à l'aide d'un **métal de nature différente**. Ce métal a une température inférieure à celle des pièces à assembler et lui seul participe à la constitution du joint d'assemblage, en se fusionnant au contact du métal de base plus chaud. L'assemblage des pièces se fait par recouvrement, comme pour un collage. Ce procédé permet de créer un **joint d'étanchéité** par pénétration du métal d'apport par capillarité entre les deux tuyaux de métal.

### ✓ EN PRATIQUE :

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

Le métal d'apport est un alliage, on parle de procédé hétérogène. Il s'agit généralement d'un alliage d'étain binaire voire ternaire, avec divers métaux comme le plomb, l'argent mais aussi le cuivre, l'antimoine, le bismuth, l'indium, le cadmium, le zinc, l'or...

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

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

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

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

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

- En dessous de 220 °C, le brasage est dit tendre, Il trouve son application en plomberie, sanitaire, zinguerie, pour la création d'une étanchéité à l'aide de

joint brasés au niveau de tuyauterie d'alimentation d'eau sur laquelle ne sera pas appliqué de contraintes mécaniques fortes.

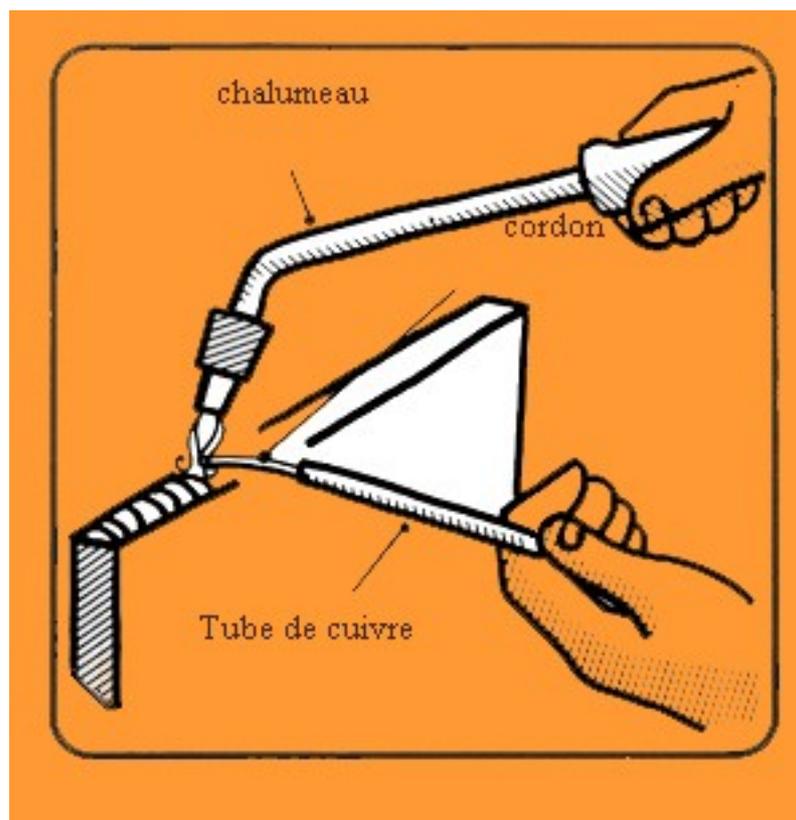
Mais aussi en électronique (circuits imprimés), en électricité (connexion de fils) ou encore en ferblanterie et en zinguerie.

- Entre 780 et 800 °C on parlera de brasage fort,

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

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

➤ **Soudobrasage :**



✓ Principe :

Il s'agit d'un assemblage ayant une haute résistance mécanique.  
La température de chauffe est supérieure à 950°C.  
Il est surtout utilisé pour les métaux ferreux, mais aussi le cuivre, nickel, chrome...  
On utilise un chalumeau butane propane ou un chalumeau oxygaz.  
Ce procédé permet de déposer le métal d'apport à l'angle formé par deux pièces disposées à la perpendiculaire l'une de l'autre. Et de les solidariser. [6]  
Les métaux des pièces soudées peuvent être de nature différente (par exemple acier et cuivre) Ceci permet donc une utilisation dans les rénovations, la modification de l'existant étant possible sans utiliser le même type de métal que l'existant. Le cordon de soudure sera constitué du métal d'apport, enrobé, qui sera un alliage (cuivre, acier, nickel, soufre, plomb, étain, cadmium...).

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

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

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

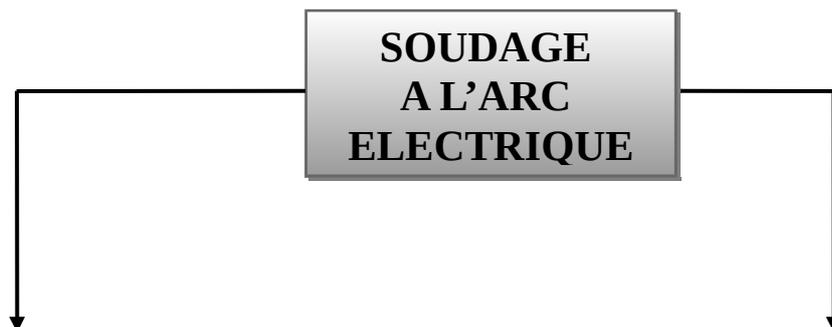
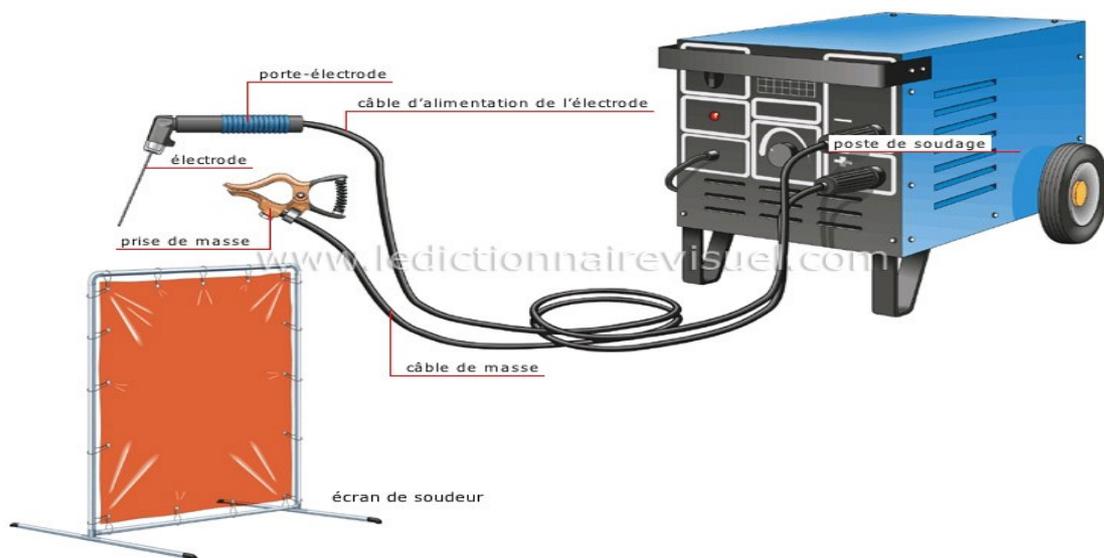
### ✓ EN PRATIQUE :

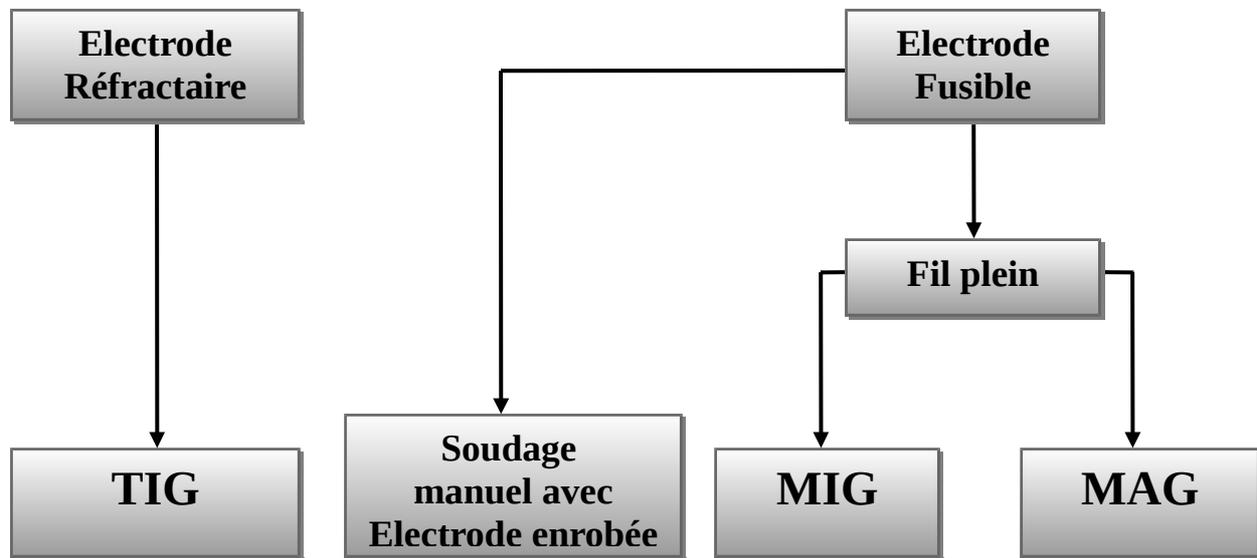
Les outils qui fournissent la chaleur pour la mise en œuvre du brasage, du soudobrasage et du soudage à la flamme sont :

- ↳ Le fer électrique qui peut atteindre une température de 250°C, voir 450°C pour les fers utilisés en ferblanterie et en chaudronnerie.
- ↳ Le fer à gaz ou la lampe à souder à cartouche de Butane, qui atteint une température de 350°C à 600°C.
  - ↳ Un système de panne en cuivre alimentée par du gaz propane.
- ↳ Le chalumeau atteint une température supérieure, il est utilisé lorsque de grandes quantités d'alliage d'apport sont nécessaires ou pour des surfaces importantes de métaux à assembler ou lorsque le point de fusion de l'alliage est élevé (alliage à base d'argent par exemple).

- Le chalumeau : est muni d'une buse, il existe différents type de buses qui permettent de faire varier le débit du mélange gazeux, 100 ou 70 litres. Ceci permet alors de faire varier la température de la flamme.

## 2. SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE :





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

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

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

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

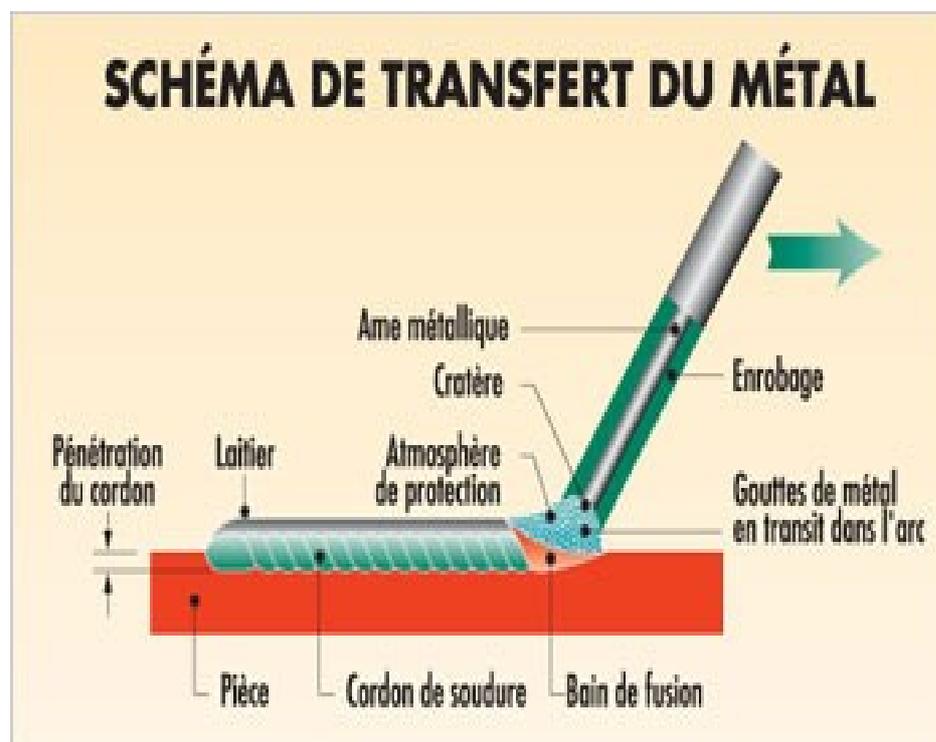
- \* La nature du métal de base
- \* les gradients de température influant sur sa structure granulaire et sur sa composition chimique
- \* l'oxydation provoquée par l'atmosphère entourant le bain de fusion

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

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

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

- *Soudage manuel à l'arc électrique avec électrode enrobée :*



- ✓ **PRINCIPE :**

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

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

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

Les applications de ce procédé sont particulièrement nombreuses. La mobilité des appareils et la grande diversité des types d'électrodes permettent d'effectuer des travaux sur un certain nombre de métaux et de leurs alliages comme les aciers non alliés ou faiblement alliés, les aciers inoxydables, les fontes et dans certaines conditions, l'aluminium, le cuivre et le nickel.

Tous les types d'assemblage (bord à bord, d'angle...) et toutes les positions de soudage (à plat, en corniche...) sont possibles.

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

Pour obtenir cette fusion il faut une température très élevée supérieure à 3000°C.

Celle-ci est obtenue par court-circuit entre deux électrodes (la pièce à souder et l'électrode constituée de métal d'apport) en créant un «arc électrique» qui est une sorte d'étincelle continue de très forte puissance qui dégage à la fois de la lumière et une chaleur intenses.

### ✓ EN PRATIQUE :

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

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

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

L'amorçage établi, l'électrode fond ainsi que, localement le métal de base.

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

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

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

### ✓ Le poste à souder :

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

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

▲ faire fondre l'électrode. Le poste à souder transforme le courant d'alimentation du secteur, afin de fournir à la sortie du poste, des intensités suffisamment élevées pour permettre la fusion de l'électrode de soudage.

▲ stabiliser l'arc électrique. La continuité de l'arc électrique permet une soudure régulière. L'onduleur qui remplace les anciens transformateurs et redresseurs, corrige les variations du courant électrique et apporte une puissance et une tension électrique constante.

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

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

- ▲ **Rôle électrique** : l'enrobage permet une bonne circulation du courant électrique, il favorise l'amorçage et la stabilisation de l'arc par ionisation de l'air.
- ▲ **Rôle physique** : l'électrode est de même nature que le métal de base, la soudure est autogène. L'enrobage confère une protection vis à vis de l'air ambiant, permettant le soudage et l'unification de l'arc électrique. Il concentre l'arc par la formation d'un cratère à son extrémité, il permet le soudage dans différentes positions et influence la forme et l'aspect du cordon, l'enlèvement des dépôts de laitier.

- ▲ **Rôle mécanique** : l'apport de matière confère une solidité à l'assemblage
- ▲ **Rôle métallurgique** : il protège le bain de fusion de l'action de l'air par formation d'une pellicule de laitier liquide et d'une veine gazeuse.
- ▲ Il ralentit le refroidissement et ajoute, dans certains cas, des éléments nécessaires à l'obtention des caractéristiques mécaniques du joint de soudure.
- ▲ Par ailleurs, l'adhérence du laitier solidifié au cordon de soudure dépend essentiellement du type d'enrobage de l'électrode (acide, basique, cellulosique ou rutile : oxyde de titane  $TiO_2$ ).

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

### **Composition de l'électrode :**

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

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

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

On distingue cinq grands types d'enrobage :

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

comprenant 50 % d'oxyde de titane et 50 % d'oxyde de fer.  
Les enrobages les plus utilisés aujourd'hui sont ceux de type B et R.

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

➤ La technique montante : la soudure est démarrée en bas et s'effectue du bas vers le haut, pour chaque moitié du diamètre du tuyau. C'est une technique plus lente, l'énergie en jeu est moyenne, l'éblouissement est aussi limité, elle est plus sécurisante. La soudure formée est de meilleure qualité, en sa défaveur, c'est une technique plus lente.

➤ La technique descendante : à l'inverse on démarre en haut pour aller vers le bas. C'est une technique qui développe plus d'énergie, l'éblouissement est important. Mais elle est souvent préférée car deux fois plus rapide.

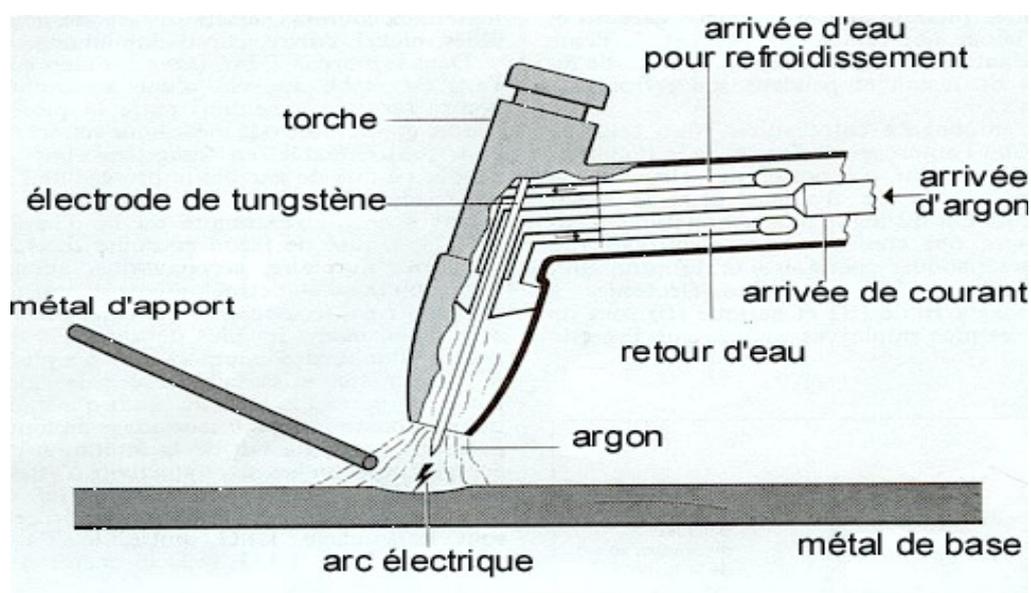
### ✓ APPLICATION :

- \* Le soudage manuel à l'arc électrique et électrode enrobée concerne surtout les postes de tuyauteurs pour des tubulures de diamètre et d'épaisseur importante. Conférant une bonne résistance mécanique aux soudures.
- \* Il convient aux aciers doux (enrobage de l'électrode type O), aux aciers faiblement alliés, aux aciers inoxydables et réfractaires, à la fonte grise, aux métaux non ferreux : nickel (après décapage à l'acide et neutralisation), cuivre et cupro-aluminium.
- \* Il est préféré au procédé TIG pour les soudures sur tuyauterie transportant du gaz, car il supprime le risque gaz lié à la présence du gaz protecteur.
- \* La rapidité de sa mise en œuvre est aussi appréciable ; sous arc électrique la température idéale de soudage qui est atteinte rapidement reste stable tout au long du soudage.
- \* Sur le plan financier son intérêt réside aussi dans le coût minime et la simplicité du matériel mis en œuvre : onduleur, porte électrode, électrode, meuleuse, brosse...
- \* Néanmoins la technique de l'arc électrique n'est pas facile, elle nécessite une bonne maîtrise. Avec un appui constant de l'électrode enrobée. Ceci en

maintenant une distance constante de 2mm avec la zone de fusion. Le métal d'apport est alternativement poussé puis tiré au niveau de la zone de soudure.

- \* Ce type de procédé de soudage se pratique en général à l'extérieur, en effet il rend possible le soudage quelques soient les conditions météo, de température, de vent....C'est le procédé de soudage idéal par tous temps.
- \* Par contre, son utilisation en atelier ou en lieu clos nécessite une aspiration directe indispensable ainsi que le port d'EPI adaptées.
- \* Car la production de fumées est importante, de même que la projection de particules métalliques. Ces fumées sont issues de la mise en fusion des différents métaux, base à souder, âme et enrobage de l'électrode.
- \* L'exposition aux risques des fumées de soudage (fièvre des métaux, irritation ORL avec enrouement dès la première journée) projections de particules métalliques, UV et coup d'arc est important dans ce type de procédé de soudage.

➤ *Soudage à l'arc électrique type TIG Tungstène inert gas :*



✓ **PRINCIPE :**

Procédé de soudage mis au point aux Etats-Unis.

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

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

**L'arc électrique généré** est stable, précis, capable de souder des métaux très réactifs comme l'Aluminium ou le Titane. Par exemple le soudage de l'inox, avec le procédé TIG, permet d'éviter la formation d'oxydes de chrome. Formation qui entraînerait localement une baisse de la concentration en chrome et diminuerait sa résistance à la corrosion.

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

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

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

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

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

#### ✓ **EN PRATIQUE :**

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

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

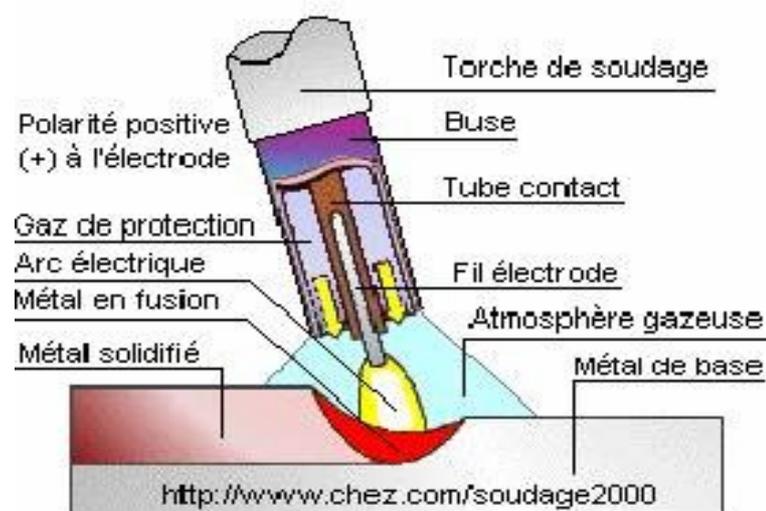
Et une **baguette de métal d'apport** que le soudeur tient d'une main pour former et alimenter le bain de fusion. De l'autre main il tient **la torche** pour établir l'arc avec **la pièce à souder**.

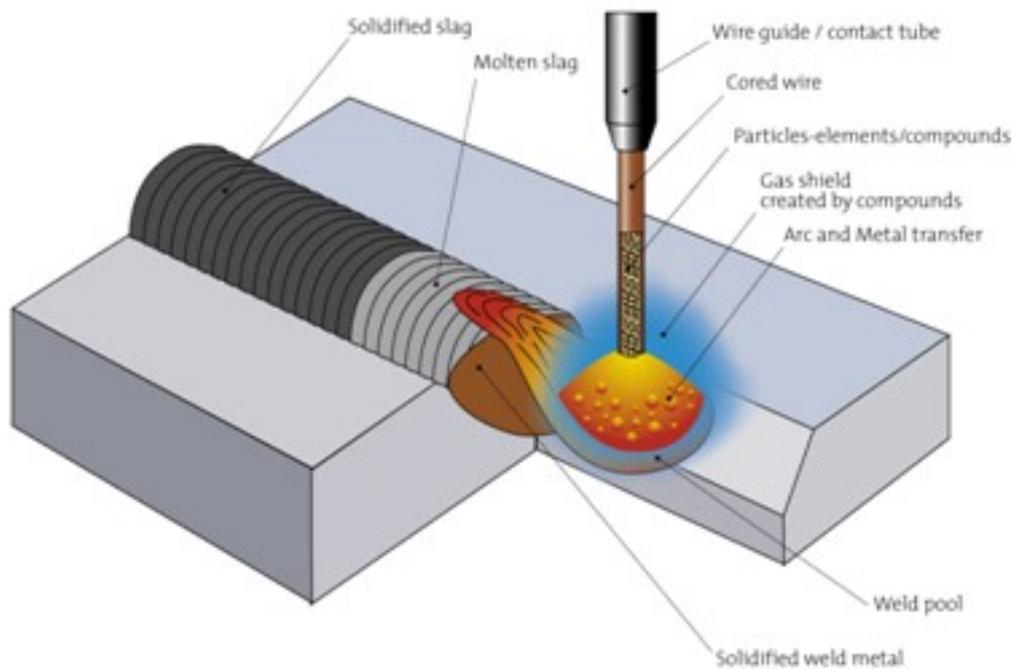
#### ✓ APPLICATION :

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

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

➤ *Soudage semi automatique : MIG, MAG :*





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

✓ **PRINCIPE :**

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

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

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

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

▮ **Protection gazeuse active (MAG : Métal Active Gas)** le plus souvent par CO<sub>2</sub> ou mélange Argon-CO<sub>2</sub> ou Argon-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>. Le gaz protecteur participe activement au processus en réagissant, dans l'arc, avec les métaux d'apport et de base.

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

✓ **EN PRATIQUE :**

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

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

Le fil capte ainsi au passage l'arc électrique.

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

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

✓ **APPLICATION :**

▮ **Protection gazeuse inerte (MIG : Métal Inert Gas)**

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

▮ **Protection gazeuse active (MAG : Métal Active Gas)**

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

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

🌈 court-circuit :

▮ Vitesse et intensité faible, 1 et 2/6.

- ▮ Appliqué pour le soudage de tôles fines, les positions délicates, les soudures au plafond...
  - ▮ Lorsque le fil touche le métal de base il y a court circuit, l'extrémité du fil sous forme d'une boule, se trouve collée sur le métal de base. Il y a alors brisure du fil suivi de sa rétraction.
  - ▮ La circulation du courant et l'avancée du fil reprennent et le même processus peut recommencer à côté.
  - ▮ Le cordon de soudure est donc formé par la mise bout à bout de ces «boules».
- globulaire ou grosse goutte :
- ▮ Vitesse et intensité moyenne 3 et 4/6.
  - ▮ Application pour le soudage en angle, à plat ou en position montante. La zone d'impact est plus grande, ainsi que la pénétration dans la matière.
  - ▮ La «goutte» sera plus grosse et c'est pourquoi elle se détache spontanément avant que le fil de soudure ne touche le métal de base ; donc avant le court-circuit.
  - ▮ Ce procédé de soudage offre une meilleure résistance mécanique à la soudure.
- PA ou pulvérisation axiale :
- ▮ Vitesse et intensité élevée, 5 et 6/6.
  - ▮ Le fil ne touche pas le métal de base. Quand il arrive à proximité il y a pulvérisation dans l'espace du métal du fil de soudure.
  - ▮ La pénétration du métal d'apport est importante et le cordon de soudure a une forte épaisseur.
- ▮ Ce procédé est appliqué en production de masse, pour les soudures en angle et à plat.

L'automatisation est possible, il n'y a pas de meulage, ni de reprise nécessaire.

**L'exposition aux UV est très importante, ainsi que le risque de coup d'arc. La formation de fumées est aussi plus importante, ainsi que la crépitation avec la projection de particules métalliques incandescentes.**

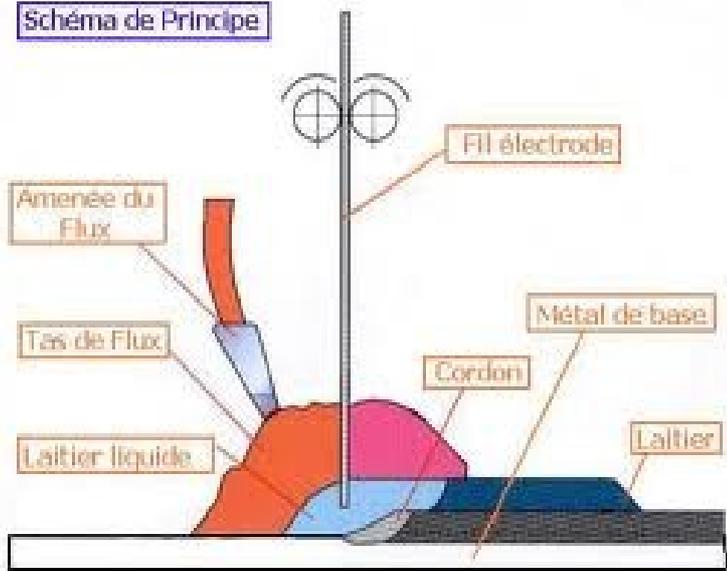
**Le port d'EPI est indispensable.**

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

- *Soudage à l'arc électrique sous flux ou Soudage à l'arc électrique submergé :*



Schéma de Principe



Dans ce procédé la protection de la soudure se fait, non pas par l'enrobage ni par un gaz, mais par un flux (par exemple sous forme pulvérulente). Flux qui est déversé automatiquement, par un dispositif, devant le fil électrode. A noter que le flux peut aussi être présent à l'intérieur du fil électrode qui sera alors appelé « fil fourré ».

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

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

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

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

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

# Conclusion

Ces séances d'atelier ont permis de se familiariser aux différentes techniques de soudage et de se rendre compte de la difficulté de réaliser une soudure correcte.

Notre objectif dans ce travail a été une tentative de clarification des différents procédés de soudage les plus couramment utilisés. Afin d'apporter au lecteur les outils nécessaires à une démarche de compréhension des principes physico chimiques et technologiques mis en œuvre lors du soudage.