

# LE SOUDAGE

## I- INTRODUCTION

Les soudures permettent de créer une liaison **rigide entre deux pièces**.

Les soudures sont dites :

Hétérogènes : le métal ou l'alliage utilisé pour la soudure est **différent** de celui des pièces à assembler.

Autogènes : les pièces sont assemblées, soit sans aucun **élément d'addition**, soit avec un métal d'apport **de même composition**.

### 1- Les soudures hétérogènes

#### 1-1- La soudure à l'étain

Alliage **d'étain et de plomb** dont le point de fusion varie entre **200 et 300** degrés

*Exemples* : employé pour la ferronnerie et petite cuivrierie, électronique.

#### 1-2- Le brasage

Alliage de **cuivre et de zinc** auquel on ajoute de **l'étain**. Le point de fusion varie **entre 500 et 1000** degrés

*Exemple* : Le brasage se fait pour des pièces en cuivre.

#### 1-3- Le soudo-brasage

Alliage de **laiton** comprenant du **silicium**. Le point de fusion varie entre **500 et 1000** degrés. Les pièces peuvent être assemblées bout à bout alors que le brasage se fait généralement par recouvrement.

*Exemple* : Employé pour la réparation des pièces de toutes sortes ainsi que pour l'assemblage des métaux différents (fonte/acier, cuivre/acier, ...).

#### 1-4- Les soudures autogènes

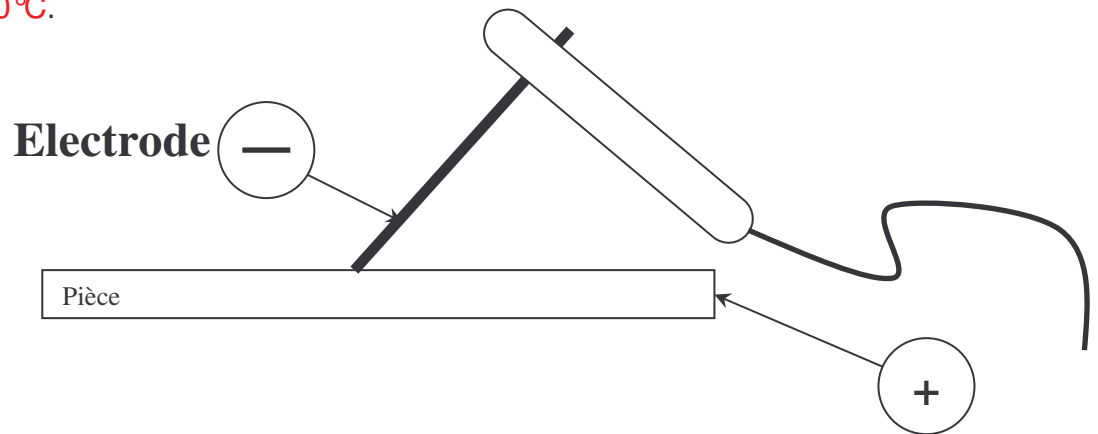
Au chalumeau	A l'arc électrique
Utilisé pour l'assemblage des <b>pièces minces</b> .	Utilisé pour l'assemblage des <b>pièces</b> supérieures ou égales à <b>2 mm</b> .
La source de chaleur est produite par combustion de l'acétylène ou de l'hydrogène dans l'oxygène.	<u>Poste de soudure à l'arc</u> :  Le poste peut être alimenté soit en <b>courant continu</b> , soit en <b>courant alternatif</b> .  L'intensité est fonction du diamètre de <b>l'électrode</b> .  $\text{Intensité} = (\text{Ø de l'électrode} - 1) \times 50$

## II- SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE

### 1- Principe

Dans le soudage à l'arc, **la chaleur est fournie par l'arc électrique** qui se produit entre une baguette de métal d'apport appelée électrode et la pièce à souder.

Le passage du courant de soudage à travers l'intervalle qui sépare l'électrode de la pièce s'accompagne d'un dégagement intense de lumière et de chaleur. La température atteinte est de l'ordre de **6000 °C**.



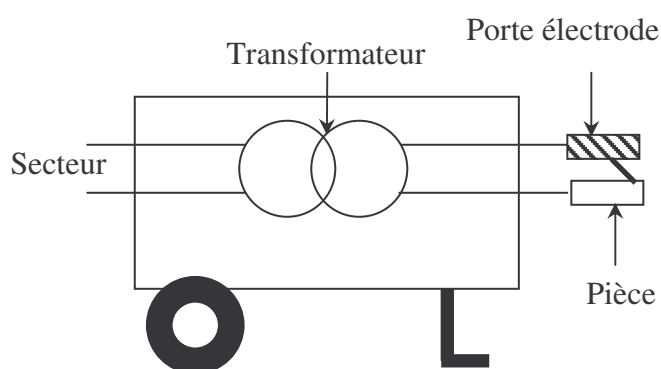
### 2- Composition du matériel

#### Poste de soudage

Ensemble des appareils électriques susceptibles de permettre l'amorçage et le maintien d'un arc stable avec un débit d courant satisfaisant.

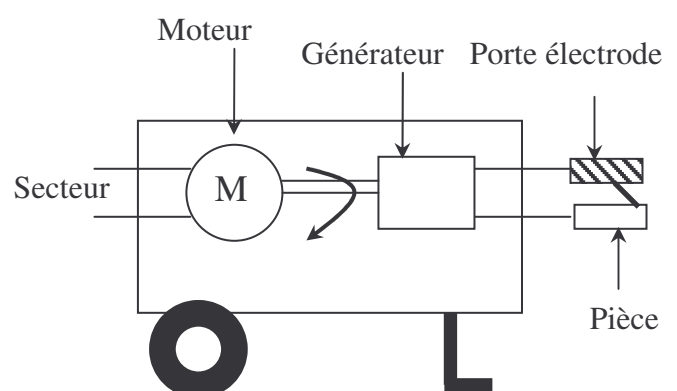
**Les postes statiques** de soudage sont généralement constitués par un **transformateur** ou par un transformateur + un redresseur de courant.

Les postes rotatifs sont des groupes composés d'un **moteur et d'une génératrice**. Ils débitent généralement du courant continu et comportent des dispositifs appropriés d'autorégulation.



POSTE STATIQUE

(Courant alternatif)



POSTE ROTATIF

(Courant continu)

### 3- Réglage du poste

C'est l'intensité du courant que l'on règle, elle est donnée par la formule :

$$\text{Intensité} = (\text{\O de l'électrode} - 1) \times 50$$

A mm

Exemple : électrode Ø3,15

$$I = (3,15 - 1) \times 50 = 107 \text{ A}$$

### 4- L'électrode enrobée

Une électrode enrobée est **constituée** par :

- **une âme métallique** de forme cylindrique ;
- un revêtement ou **enrobage** de composition **chimique** très variée.

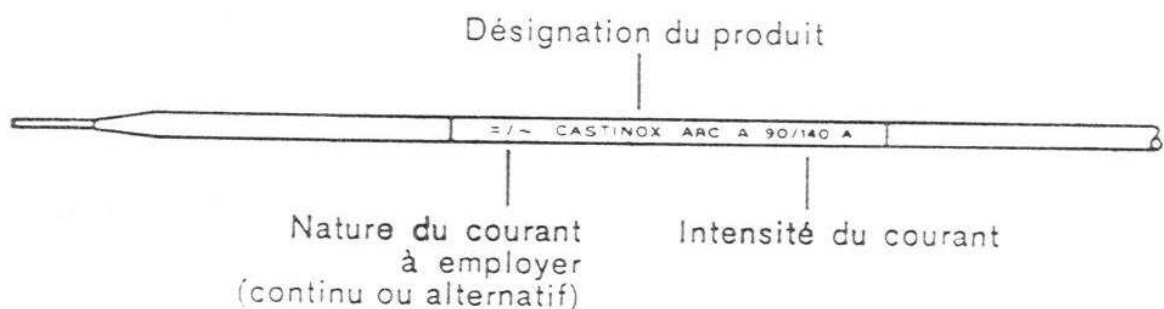
Les diamètres des électrodes enrobées sont mesurés sur l'âme nue.

La longueur de l'électrode est la longueur totale comprenant :

- la longueur de la partie enrobée et
- la longueur de la partie dénudée, destinée à être pincée dans le porte-électrode.



*Coupe d'une électrode enrobée*



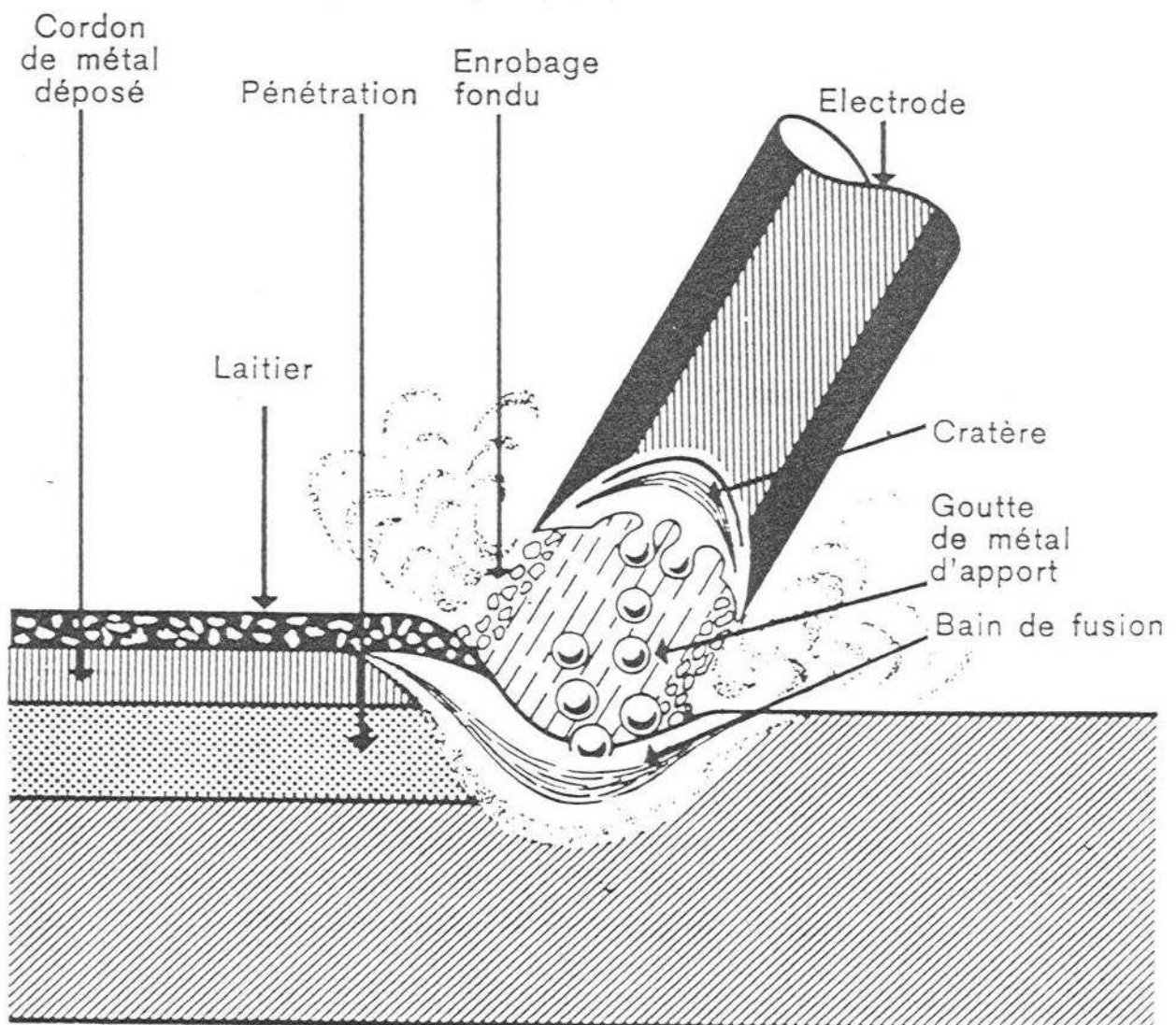
*Marquage d'une électrode "Castolin"*

## 5- Rôle de l'enrobage

L'enrobage remplit un grand nombre de **fonctions** qui peuvent en définitive se résumer à trois :

- **Rôle électrique** : l'enrobage facilite la stabilité de l'arc. L'ionisation qui se produit entre l'électrode et la pièce permet l'amorçage et le maintien de l'arc.
- **Rôle métallurgique** : l'enrobage forme, par sa fusion, un écran qui évite l'action néfaste des gaz de l'air (oxygène et azote). En outre, l'enrobage incorpore au métal fondu des éléments qui viennent remplacer ceux qui ont été volatilisés ou brûlés du fait de la haute température.
- **Rôle physique** : l'enrobage guide l'arc et lui assure une direction bien déterminée et constante. On note d'ailleurs la formation, à l'extrémité de l'électrode, d'un cratère (l'enrobage fondant moins vite que l'âme métallique) qui guide l'arc.

En outre, les corps contenus dans l'enrobage peuvent modifier la forme du dépôt. Ainsi une électrode déterminée pourra fournir des cordons de soudure ayant la forme désirée : bombés, plats ou concaves. D'autre part, dans le soudage en position, le laitier soutient par action physique, le métal en fusion. Il retarde ainsi le refroidissement du dépôt.



*Schéma du mécanisme de soudage avec électrode enrobée*

## 6- Choix de l'électrode

Il est fonction de la nature du métal à souder et des caractéristiques de la soudure.  
(Electrodes rutilés pour travaux courants)

## 7- Sécurité



- Une prise de terre est obligatoire pour tout poste de soudure à l'arc.
- L'émission de radiations et de projectiles en fusion imposent le port d'un moyen de protection : le masque, le tablier, les gants en cuir.
- Lors du piquage du laitier se protéger le visage et les mains.
- S'isoler de l'humidité.
- Ne pas porter de vêtements en nylon : risque de brûlures
- Saisir les pièces soudées avec des pinces
- Mettre l'aspiration en fonctionnement afin d'éviter les vapeurs qui se dégagent lors du soudage
- Ne pas toucher l'électrode avec les doigts
- Ne pas laisser la baquette coller à la pièce, risque de court circuit

## III- LE SOUDAGE AU CHALUMEAU

### 1- Les flammes

Les flammes utilisées dans le domaine du soudage, proviennent d'un mélange de gaz combustible (acétylène, hydrogène, propane, etc.) et d'oxygène, gaz activant la combustion.

La flamme aérogaz, à rendement thermique insuffisant ne reste guère employée que pour les opérations de préchauffage ou de brasage tendre.

### 2- Réglage des flammes

La flamme oxyacétylénique est obtenue par le mélange d'oxygène et d'acétylène dans des proportions qui déterminent sa nature (flamme normale, oxydante ou carburante).

Le réglage à obtenir est défini dans le mode d'emploi de l'alliage (voir ci-après) .

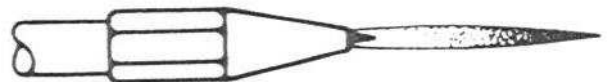
Il faudra d'autre part choisir une buse correspondant à l'épaisseur de la pièce.

Flamme normale, réductrice :

Alimentation du brûleur en

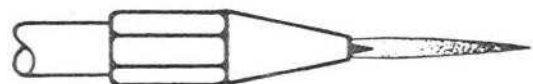
volumes égaux d'oxygène et d'acétylène

Flamme détruisant les oxydes métalliques pouvant se former au cours du soudage



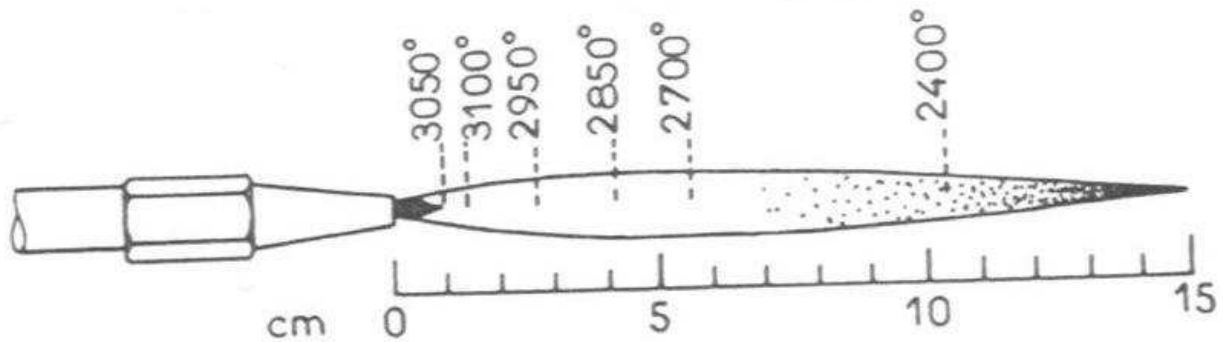
Flamme à excédent d'oxygène :

la flamme oxydante, plus chaude que la flamme normale; convient, par exemple, pour le soudage du laiton, de la fonte et le soudo-brasage des aciers galvanisés.





Flamme à excédent **d'acétylène** :  
flamme **carburante** moins chaude  
que la flamme normale; convient,  
par exemple, .Pour le soudage  
de l'aluminium et de ses alliages et  
pour le revêtement avec des alliages  
à base de cobalt.



*Températures de combustion dans les différentes zones de la flamme*

### 3- Sécurité

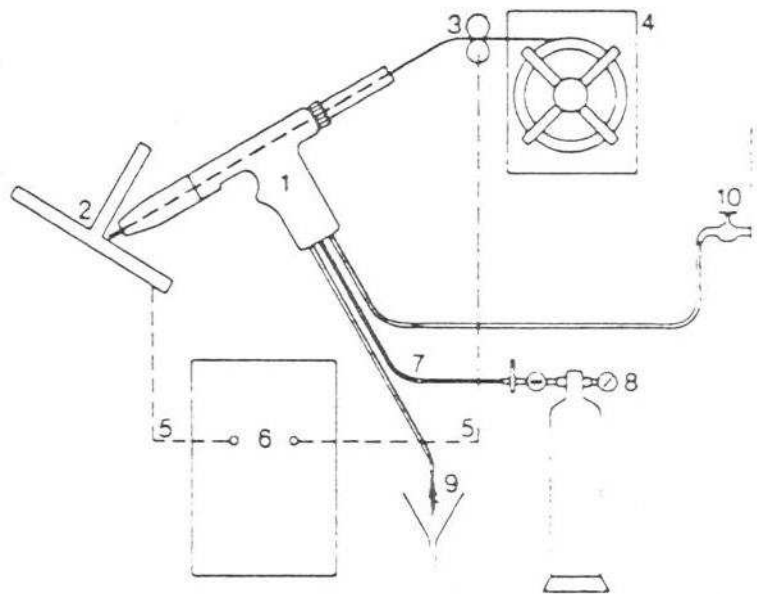


- Eviter de coucher la bouteille d'acétylène
- Ne pas mettre de graisse sur les raccords, risque d'explosion
- Travailler avec des lunettes de soudage
- Ne pas porter de vêtements en nylon : risque de brûlures
- Saisir les pièces soudées avec des pinces
- Ne pas diriger la flamme vers des matières inflammables
- L'émission de radiations et de projectiles en fusion imposent le port d'un moyen de protection : le tablier, les gants en cuir.

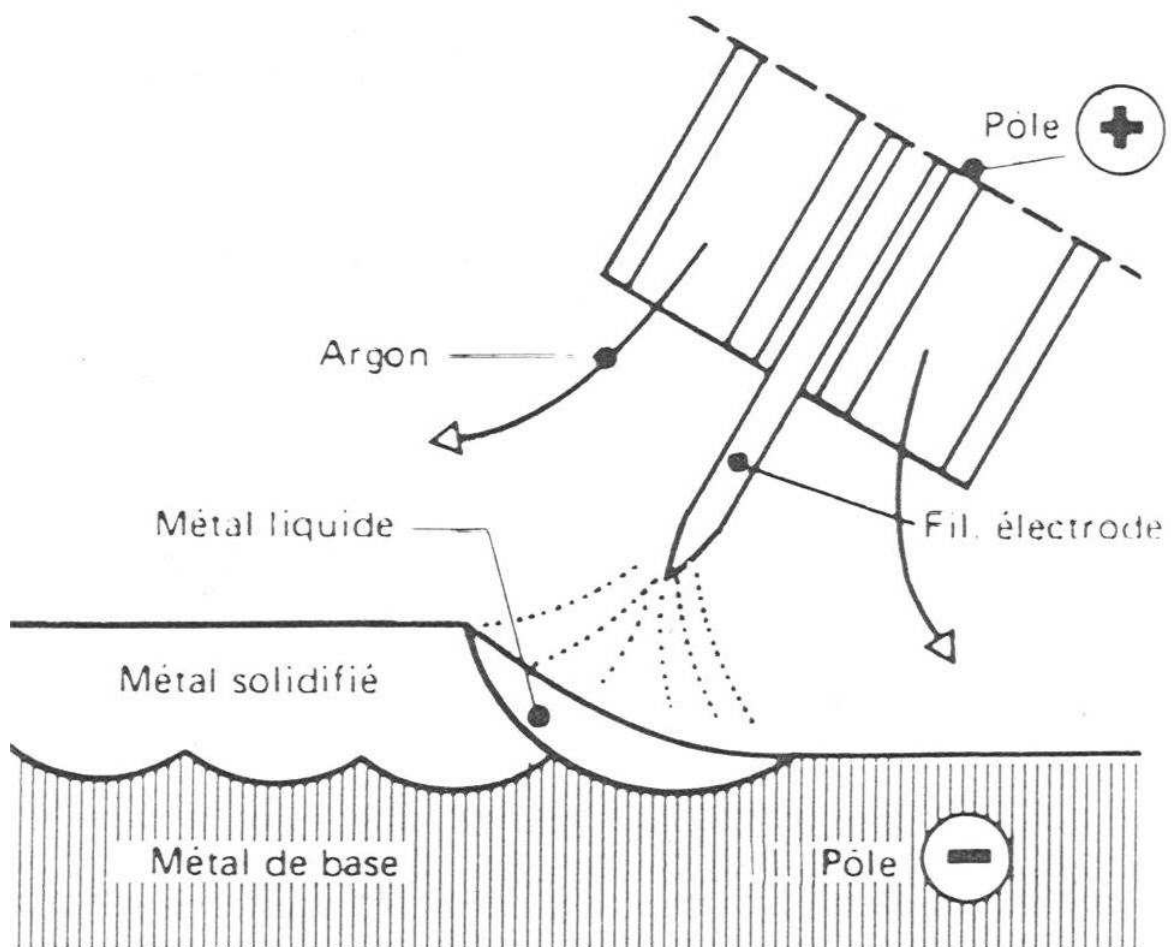
#### IV- LE PROCEDE MIG (de L'anglais Metal-Inert-Gas)

L'arc électrique s'établit entre le métal de base et le fil fusible nu enroulé sur une bobine et constituant ainsi une électrode continue consommable et servant de métal d'apport.

1. Pistolet MIG
  2. Pièce à souder
  3. Galets d'alimentation
  4. Bobine de fil-électrode
  5. Courant de soudage
  6. Source de courant
  7. Arrivée d'argon
  8. Bouteille d'argon et détendeur
  9. Retour d'eau
  10. Arrivée d'eau
- éventuellement  
en circuit fermé



*Soudage MIG (schéma de l'installation)*



*Soudage MIG (principe)*



Le fil amené et maintenu par une torche pistolet est protégé pendant sa fusion par un gaz inerte diffusé par une buse , réfractaire concentrique au fil électrode. Le gaz de protection est composé de gaz inertes (Argon ou hélium) ou d'un mélange de ces gaz avec éventuellement une adjonction de CO<sub>2</sub>, d'hydrogène ou d'oxygène.

-Nature du courant : continu, polarité + branchée à la torche pistolet. Ce procédé semi-automatique peut être facilement automatisé.

-Sources de courant utilisées :

- les appareils à caractéristique externe plate ;
- les appareils à. pente inductance variables.

Les transformateurs redresseurs à caractéristique externe plate sont principalement utilisés. Le transfert du métal dans l'arc peut se faire soit par pulvérisation axiale, soit par courts-circuits.

Le transfert du métal dans l'arc par courts-circuits n'est pas possible avec les appareils à caractéristique externe tombante.

## **V- LE PROCEDE MAG (de l'anglais Metal Active Gas)**

Procédé de soudage identique au procédé MIG. La différence entre les deux procédés réside dans la nature du. gaz de protection utilisé (CO<sub>2</sub> ou mélange Argon + CO<sub>2</sub> ou Argon + CO<sub>2</sub> + Oxygène).

Des éléments désoxydants, tels que le Mn et le Si contenus dans le fil électrode forment avec le gaz oxydant (CO<sub>2</sub>) au contact de l'arc électrique une réaction chimique protégeant ainsi le bain de fusion de l'oxygène et de l'azote de l'air.

## VI- LE PROCEDE TIG (de l'anglais Tungsten-Inert-Gas)

Dans ce procédé, on utilise comme source de chaleur un arc électrique jaillissant entre une électrode réfractaire en Tungstène et la pièce à souder.

L'électrode, l'arc et la zone de soudage sont efficacement protégés contre l'action de l'oxygène et de l'azote de l'air par un jet de gaz neutre n'ayant aucune affinité chimique pour un autre corps. Exemple: hélium, Argon.

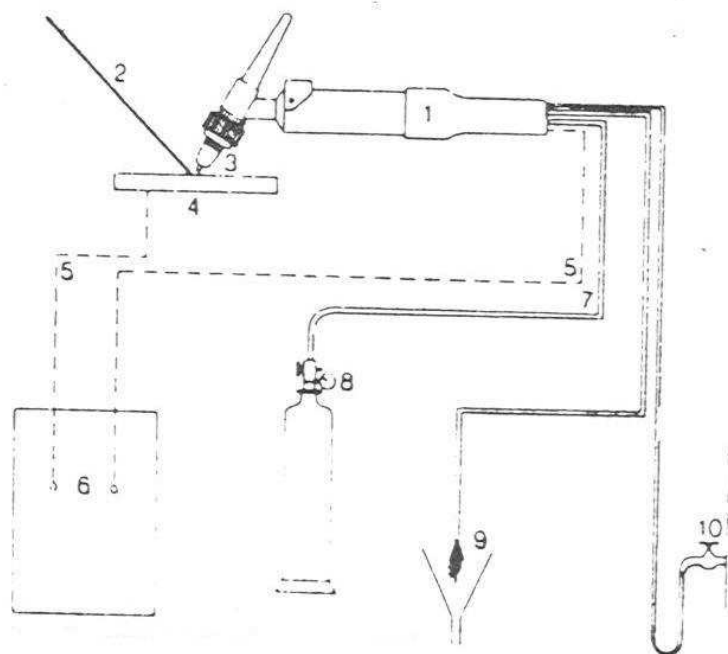
En règle générale, les métaux ferreux et cuivreux doivent être soudés en courant continu, polarité négative à l'électrode de Tungstène. Dans ce cas, une addition de 1 à 3 % de Thorium dans l'électrode facilitera son pouvoir émissif et l'amorçage de l'arc par ionisation de l'atmosphère gazeuse entourant l'électrode.

Le courant alternatif est employé pour l'aluminium, le magnésium et leurs alliages, ainsi que pour le cupro-aluminium, où il est nécessaire de briser la couche d'oxyde susceptible de se former à la surface du bain de fusion.

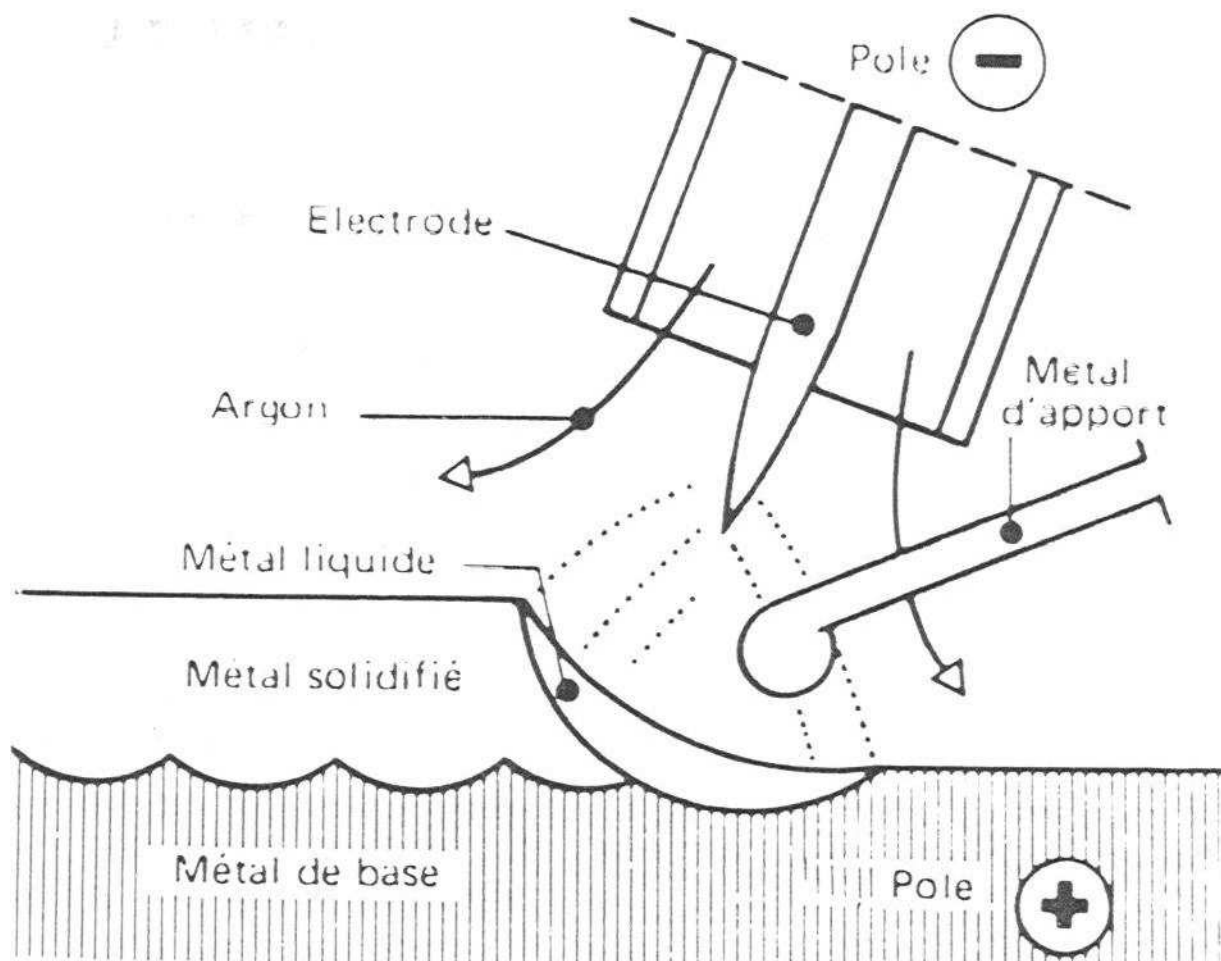
Dans le cas du soudage avec du courant alternatif, un courant à haute fréquence, superposé au courant de soudage, permettra l'amorçage de l'électrode par simple rapprochement sans qu'un contact électrode-pièce soit nécessaire.

Il aura pour effet également de stabiliser l'arc et de pallier aux interruptions qui pourraient se produire chaque fois que le courant alternatif de soudage passerait par zéro (c'est-à-dire 100 fois par seconde avec le courant standard à 50 Hz).

1. Torche TIG
2. Métal d'apport
3. Porte-électrode
4. Pièce à souder
5. Courant de soudage
6. Source de courant
- 6 " 7. Arrivée d'argon
8. Bouteille d'argon et détendeur
9. Retour d'eau } éventuellement
10. Arrivée d'eau } en circuit fermé



Soudage TIG (schéma de l'installation)



Soudage TIG (principe)

La température de la flamme peut atteindre 25 000 °C, elle permet ainsi de porter à fusion les métaux réfractaires, les oxydes et les mélanges d'oxydes. L'alliage MicroFlo, projeté sur la pièce, atteint une température très élevée permettant la fusion superficielle du métal de base.

Les gaz, le courant et l'eau de refroidissement sont contrôlés depuis le pupitre de commande, sur lequel les paramètres sont clairement indiqués, permettant ainsi à l'opérateur de juger la qualité du travail en cours.

Les dépôts réalisés résistent bien à d'importantes usures occasionnées en frottement. Ils constituent également d'excellentes barrières thermiques et électriques et ont de bonnes propriétés anti-mouillage face à certains métaux liquides.

## VII- LA PREPARATION DES PIECES AVANT SOUDAGE

### 1- La préparation des pièces avant le soudage

La préparation -des surfaces avant soudage est un facteur primordial, influant sur la qualité du joint soudé.

l'alliage et du procédé d'autre part.

Deux facteurs sont à prendre en considération :

1 °; La conception du joint soudé.

2 °; La préparation des surfaces.

### 2- La conception du joint soudé

La forme, les dimensions, la conception du joint soudé est tributaire du choix du procédé ou de la technique de soudage utilisée.

Ils peuvent être influencés d'autre part, par les épaisseurs en présence, la géométrie de la pièce, la position de soudage, les caractéristiques mécaniques recherchées, l'usinage à effectuer ultérieurement.

- .Tous les procédés qui conduisent à un assemblage ou à un revêtement par fusion du métal de base nécessitent de prendre en considération tous ces paramètres.
- Les assemblages réalisés à la flamme oxyacétylénique par la technique de soudobrasage s'appuieront sur ces données pour déterminer la conception et la forme du chanfrein.
- Par contre, les assemblages réalisés par brasage utiliseront des joints de conception différente, il s'agit: des joints d'angle intérieur, des joints en recouvrement ou des joints par pénétration. Le choix étant fonction de la conception de l'assemblage. Pour cette technique d'assemblage, les usinages seront précis (jeu entre les pièces de  $3/100^e$  à  $2/10^e$ ). Le respect des jeux est un des paramètres qui conditionne la qualité du joint brasé (résistance mécanique, étanchéité, aspect).
- Lorsqu'il s'agit d'assemblages de métaux différents, le jeu doit être calculé en fonction de la température de fusion de l'alliage et du coefficient de dilatation des métaux à assembler. En ce qui concerne la forme et les dimensions des chanfreins, ces informations sont mises en relief dans les publications traditionnelles propres aux techniques de soudage.

### 3- La préparation des surfaces

Les pièces peuvent être réalisées à partir de métaux ou alliages laminés, étirés, forgés, matricés, coulés. L'aspect de leur surface pourra être différent si elles sont brutes d'élaboration ou usinées. Dans le premier cas, on notera la présence d'oxydes, dans le deuxième cas, ces pièces pourront être imprégnées d'huile. D'autre part, s'il s'agit de pièces ayant déjà travaillé, leurs surfaces pourront être souillées ou attaquées par les produits avec lesquels elles entrent en contact.

Certaines de ces pièces pourront mettre en relief des fissures de fatigue thermique ou mécanique.

Tous les résidus: les fissures, doivent être éliminés avant soudage.

Pour mieux comprendre cette nécessité, il faut savoir que les oxydes, les graisses, les résidus se trouveraient emprisonnés dans le bain de fusion au moment de l'opération de soudage. Toutes ces impuretés conduiraient à la présence de porosités, inclusions, micro fissures, bien souvent incompatibles avec les conditions de réception des pièces.

En brasage, un état de surface parfait est une condition primordiale pour obtenir un joint de qualité. Les graisses, les résidus gênent le mouillage et la pénétration de l'alliage dans le joint.

En ce qui concerne la présence de fissures avant soudage, il faut considérer qu'elles pourraient se développer pendant l'opération d'assemblage ou de rechargement sous l'effet du cycle thermique et des contraintes mécaniques. qui en résultent.

En résumé, la qualité du joint soudé est tributaire du soin apporté à la préparation du joint et à la préparation des surfaces.

Nous avons souligné l'importance de la préparation des surfaces, celle-ci peut être réalisée par meulage, usinage à l'outil.

En présence de pièces ayant déjà travaillé, avant toute opération de soudage il est nécessaire d'effectuer un contrôle des surfaces par ressuage. Dans certains cas pour des assemblages de haute sécurité, on aura recours à un contrôle plus poussé : radiographies, ultrasons.

## VIII- DEFINITION DE QUELQUES TERMES UTILISES

Brasage : Opération consistant à assembler des pièces métalliques à l'aide d'un métal d'apport à l'état liquide, ayant une température de fusion inférieure à celle des pièces à réunir et mouillant le métal de base, qui ne participe pas par fusion à la constitution du joint.

Brasage fort : Brasage dans lequel un joint, en général capillaire (pelliculaire), est obtenu avec un métal d'apport dont la température de fusion est supérieure à 450°.

Brasage tendre : Brasage dans lequel la température de fusion du métal d'apport est inférieure à 450°C.

Soudobrasage : Brasage dans lequel l'assemblage est obtenu de proche en proche, par une technique opératoire analogue à celle du soudage autogène par fusion, la température de fusion du métal d'apport étant de 450°.