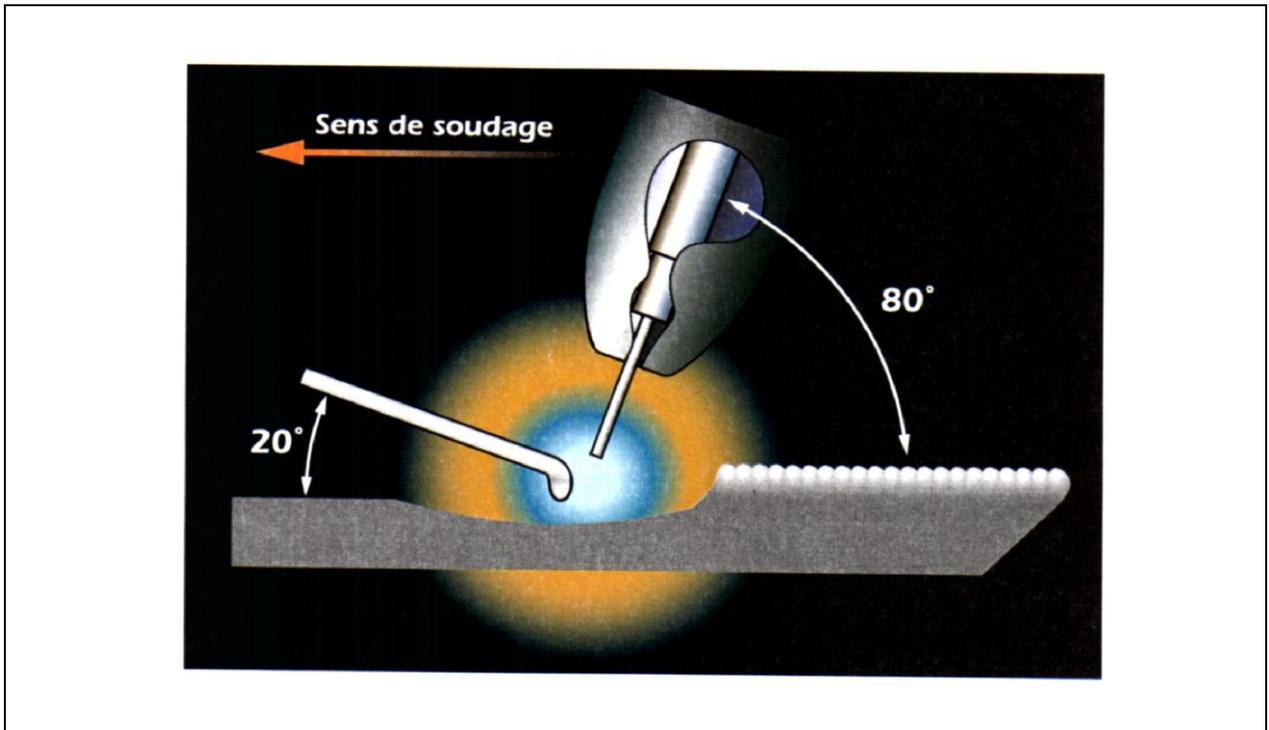


LE SOUDAGE *TUNGSTEN INERT GAS (TIG)*



1. PRINCIPE

Le soudage TIG, est un procédé à l'arc sous gaz inerte avec électrode non fusible dans lequel l'énergie nécessaire à la fusion des pièces à assembler est apportée par un arc électrique établi entre une électrode réfractaire en tungstène et le joint à souder.

L'électrode et le bain de métal en fusion sont protégés de l'air ambiant, c'est à dire de l'azote et de l'oxygène, par un flux de gaz inerte .cette définition explique le nom TIG en anglais « TUNGSTEN INERT GAS ».

Selon les caractéristiques du travail à effectuer (épaisseur, géométrie du joint, nature des matériaux à assembler), un métal d'apport sous forme de fil ou de baguette peut être utilisé .Ce fil est fondu dans l'arc et protégé par l'atmosphère inerte du gaz de soudage.

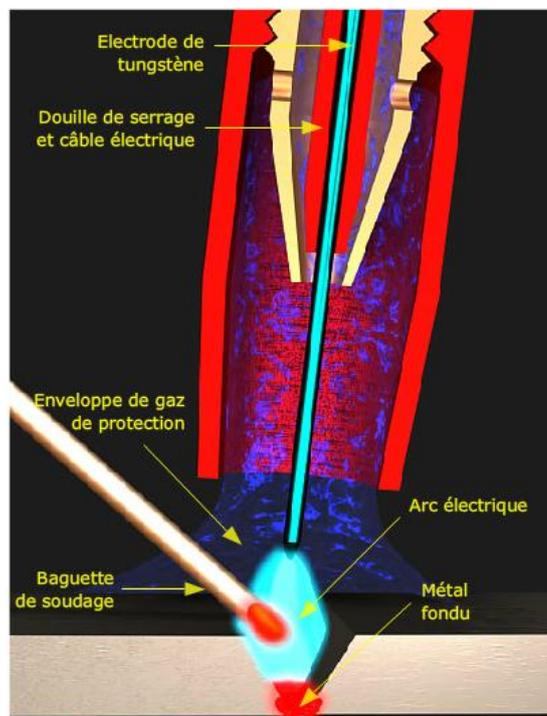


Schéma d'une installation de soudage TIG



Gaz de protection utilisés et utilisation du procédé

Le soudage TIG utilise uniquement des gaz de protection inertes, car l'électrode de tungstène incandescente ne doit être exposée à aucune réaction chimique.

- Argon (Ar)
- Hélium (He)
- Mélange d'argon (Ar) et d'hélium (He)
- Mélange d'argon (Ar) et d'hydrogène (H₂)

Le soudage TIG permet de souder les aciers et métaux non ferreux dans toutes les positions.

Ce procédé est particulièrement rentable dans le cas des pièces de 0,5 à 5 mm d'épaisseur, dans le cas des pièces plus épaisses, seule les passes de fond sont réalisées avec ce procédé.

Les domaines d'application les plus importants de ce procédé sont l'industrie aéronautique et astronautique, la mécanique de précision et la construction d'installations chimiques, d'appareils et de réservoirs.

Le soudage TIG est réalisable aussi bien en tant que procédé manuel, semi-mécanisé, totalement mécanisé ou entièrement automatique.

Le tableau suivant indique, pour certains matériaux, la plage d'épaisseur dans laquelle le soudage TIG est rentable.

Matériau	Plage d'épaisseurs rentable
Aluminium	0,6 - 4,0 mm
Cuivre	0,5 - 2,0 mm
Laiton	0,8 - 3,0 mm
Acier non allié	0,4 - 3,0 mm
Acier allié	0,4 - 5,0 mm

Avantages du procédé :

- Faible apport de chaleur
- Procédé de soudage équilibré (décharge d'arc stable)
- Réglage séparé de l'apport de chaleur et de la vitesse de dépôt
- Soudage possible sans matériau d'apport
- Bonne surface de la soudure, pas de projections
- Bon comblement des tranchées

Variante du procédé : le soudage TIG à arc pulsé (1)

Le soudage TIG à arc pulsé est un procédé de soudage à l'arc relativement récent dont l'équipement ne se distingue de celui du procédé TIG à courant continu classique que par une source de courant spéciale permettant de générer, par exemple, des impulsions de tension continue ou de courant continu sinusoïdales ou rectangulaires avec paramètres réglables (amplitude des impulsions, fréquence d'impulsion, taux d'impulsions).

Pendant le procédé à arc pulsé, une forte chaleur est amenée pendant l'impulsion sur le lieu de soudage sous forme d'un fort courant. Le matériau est fondu.

Pendant la pause d'impulsion à faible intensité de courant, une faible chaleur est appliquée à la pièce. Le bain de fusion reste relativement froid. Les faibles courants survenant pendant le temps de base servent à maintenir l'arc, afin d'éviter des interruptions de l'arc et des difficultés d'amorçage.

Lors du soudage avec baguette d'apport, le métal d'apport ainsi que le métal de base sont fondus dans la phase d'impulsion. En général, la fréquence d'impulsion se trouve entre 0,5 et 10 Hz.

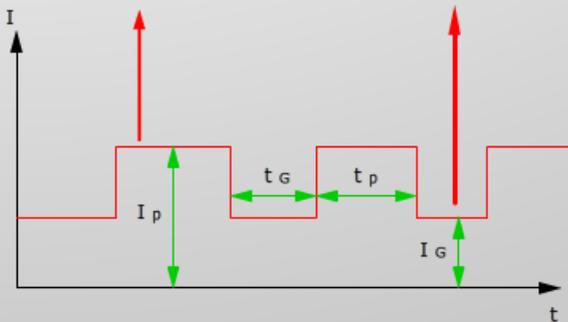
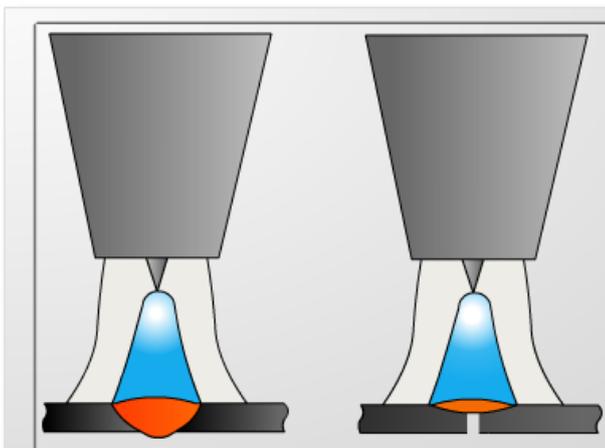
L'alimentation en chaleur peut être modifiée en grande partie par le choix des temps et des valeurs de courant.

Dans des cas exceptionnels, la soudure peut se composer de plusieurs points de soudage par fusion qui se juxtaposent et se superposent.

Le soudage TIG à arc pulsé permet non seulement d'élargir le domaine d'application du procédé TIG à de faibles puissances et épaisseurs, mais aussi d'améliorer encore plus l'aspect de la soudure.

[Courbe de courant du soudage TIC à arc pulsé](#)

Variante du procédé : le soudage TIG à arc pulsé (1)



Les paramètres de soudage principaux sont :

- Intensité de l'impulsion I_p
- Intensité du courant de base I_G
- Durée de l'impulsion de courant t_p
- Durée du courant de base t_G
- Fréquence de l'impulsion $f_p = 1 / t_c$
(t_c = durée de période)

Variante du procédé : le soudage TIG à arc pulsé (2)

Par rapport au soudage TIG classique avec arc constant, le procédé à arc pulsé présente les avantages et inconvénients suivants :

Avantages du soudage TIG à arc pulsé :

- Possibilité d'un apport de chaleur moindre
- Meilleur rapport profondeur/largeur pour les pièces épaisses
- Arc électrique stable
- Formation d'une racine homogène
- Meilleure aptitude au soudage en position
- Faible déformation des pièces
- Meilleure plasticité du bain de fusion
- Bon comblement des tranchées

Inconvénients :

- Postes de soudage onéreux
- Réglage des appareils difficile

Chalumeau de soudage TIG (1)

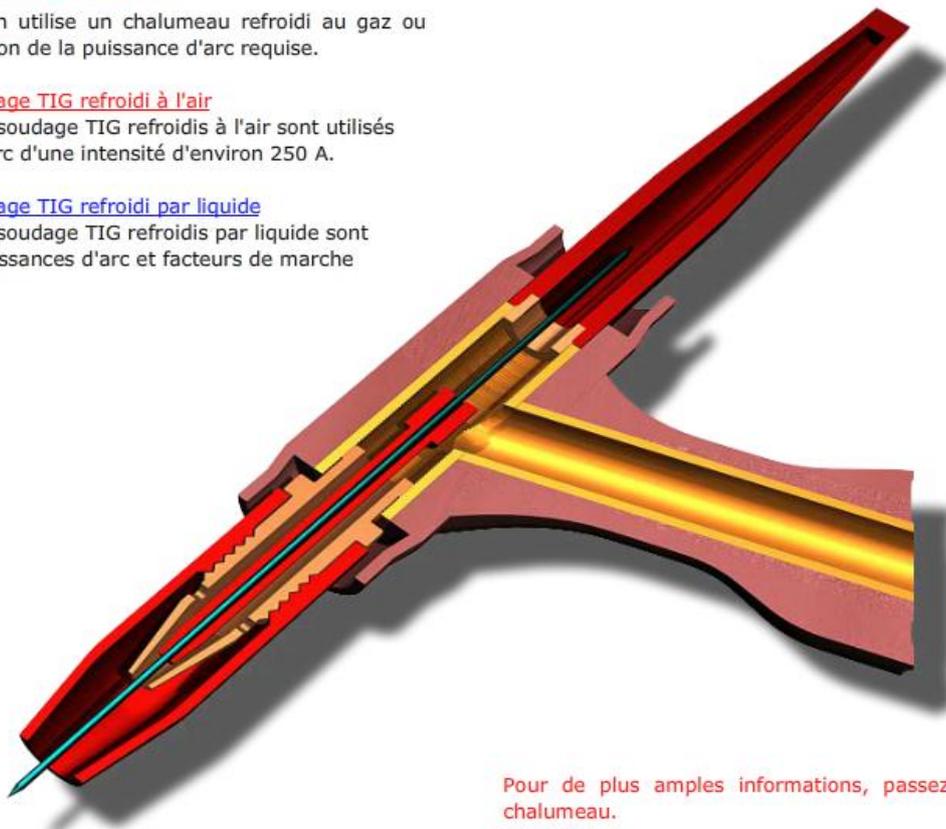
Pour le soudage, on utilise un chalumeau refroidi au gaz ou par liquide en fonction de la puissance d'arc requise.

Chalumeau de soudage TIG refroidi à l'air

Les chalumeaux de soudage TIG refroidis à l'air sont utilisés pour un courant d'arc d'une intensité d'environ 250 A.

Chalumeau de soudage TIG refroidi par liquide

Les chalumeaux de soudage TIG refroidis par liquide sont utilisés pour des puissances d'arc et facteurs de marche élevés.



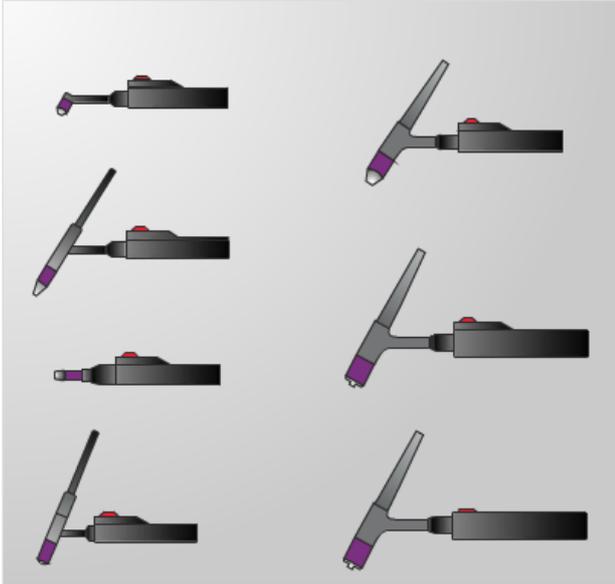
Pour de plus amples informations, passez la souris sur le chalumeau.

Chalumeau de soudage TIG (2)

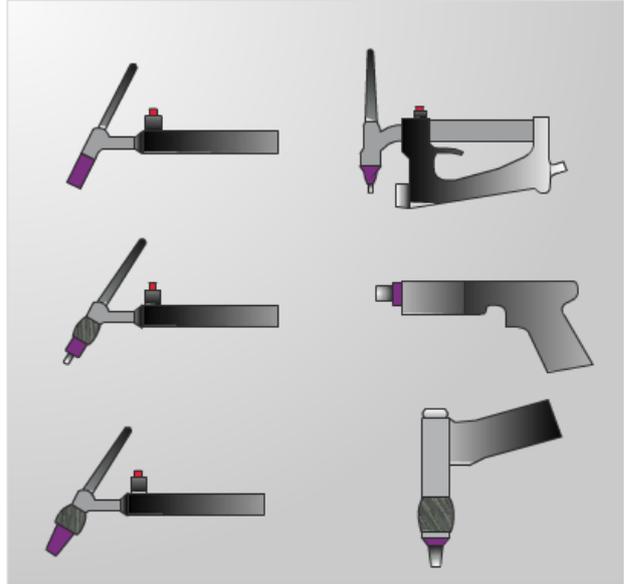
Types de chalumeaux de soudage TIG refroidis à l'air et par liquide.

Les illustrations suivantes montrent les modèles droits et coudés de chalumeau refroidis à l'air et par liquide. L'illustration située en haut à droite est un chalumeau machine avec possibilité d'ajout d'un fil supplémentaire.

Modèles de chalumeaux de soudage TIG refroidis à l'air



Modèles de chalumeaux de soudage TIG refroidis par liquide



Forme de l'embout des électrodes

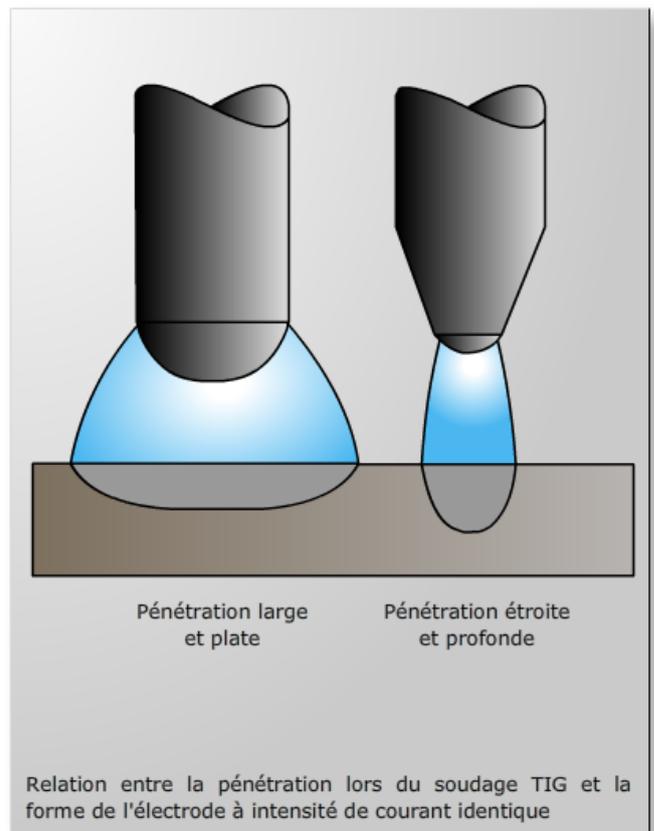
La forme de l'embout de l'électrode a une influence sur la forme de l'arc ainsi que sur la forme du flux de chaleur transmis à la pièce. Un embout pointu entraîne une haute densité de courant au niveau de la pointe de l'électrode et forme un arc électrique de haute densité de courant. L'arc est ainsi particulièrement stable (notamment à faible intensité de courant) et permet une pénétration plus profonde.

Le choix de l'embout s'oriente principalement à la nature du courant et à la polarité ainsi qu'à la charge thermique liée à l'intensité du courant.

Dans le cas du soudage à courant continu avec polarité négative, il se peut qu'un embout conique puisse être conservé dans les plages d'intensité inférieures. A mesure que l'intensité du courant d'arc augmente, l'embout de l'électrode se liquéfie pour former une hémisphère d'un diamètre correspondant approximativement à l'épaisseur de l'électrode.

Figure : formation de la forme de l'embout d'électrode à différentes intensités

La classification, la composition chimique et les types d'électrodes au tungstène sont définis dans la norme **NF EN ISO 6848** ([tableau](#))

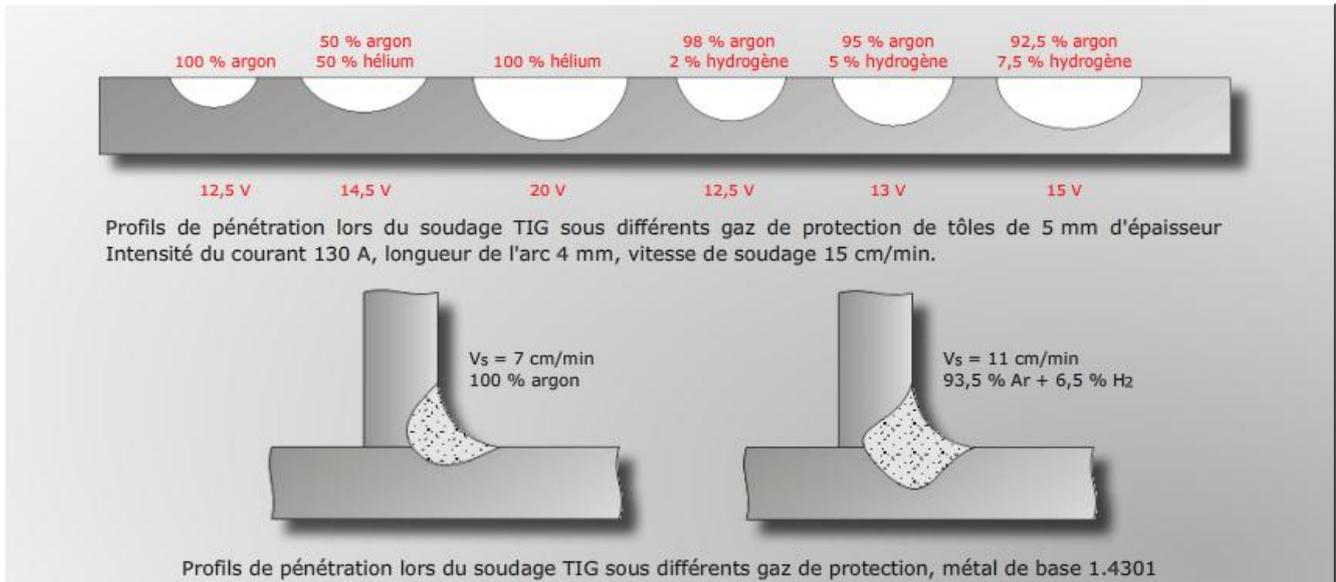


Influence des gaz de protection sur le profil de pénétration

La forme de l'arc électrique est influencée principalement par le type de gaz de protection utilisé. Les propriétés physiques des différentes conductibilités thermiques jouent ce faisant un rôle important, tout autant que la dissociation, dans le cas des gaz actifs.

Les figures ci-dessus montrent les profils de pénétration de lignes de fusion et de soudures d'angle effectuées sur du matériau X5CrNi1810 (1.4301) lors du soudage TIG sous différents gaz de protection.

Le soudage est effectué dans tous les cas avec la même intensité. Notez cependant qu'en fonction du gaz ou du mélange gazeux utilisé, différentes valeurs de tension et donc différentes puissances peuvent survenir.



2. LES DIFFERENTS COURANTS

Le soudage des métaux dits « lourds » de type métaux ferreux, cuivre et alliage nickel) s'effectue en ***courant continu***.

Le soudage des métaux dits « légers » de type aluminium et alliages s'effectue en ***courant alternatif***.

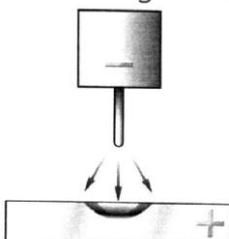
2.1. Courant continu

L'arc électrique est alimenté par une source à tension continue. L'atmosphère inerte est assurée par de l'argon ; l'électrode réfractaire est en tungstène thorié*

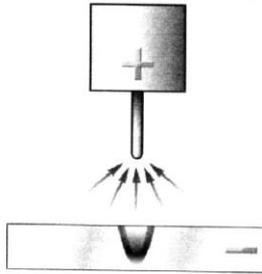
* les électrodes de tungstène peuvent contenir des substances additionnelles. Dans ce cas, la substance utilisée est l'oxyde de thorium.

2.2. Choix des polarités

Polarité négative (- à l'électrode) : le sens électronique n'ayant pas changé c'est maintenant l'anode (+) qui est bombardée par les électrons émis par la cathode (-). On constate alors un échauffement anormal de l'électrode et la zone de fusion est dans ce cas très large et peu profonde.



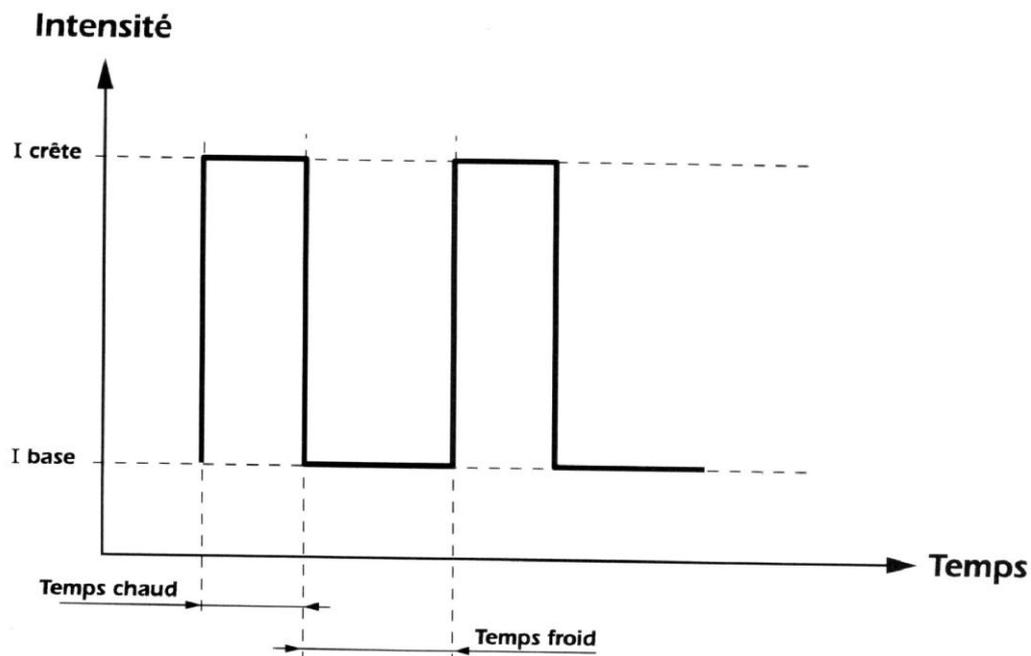
Polarité positive (+ à l'électrode) : le sens électronique du courant allant du pôle - au pôle + à l'extérieur d'un générateur (à l'inverse du sens conventionnel du courant électrique), les électrons vont donc se déplacer de l'électrode (cathode) vers la pièce (anode) et bombarder celle-ci. Dans ce cas, la zone de fusion est profonde et étroite.



Conclusion : pour le soudage des métaux lourds la polarité négative à l'électrode permet d'obtenir des cordons de soudure étroits et bien pénétrés.

2.3. Courant continu pulsé

Le courant pulsé est une variante du courant continu dont l'objet est de maîtriser l'énergie apportée à la pièce. Le courant pulsé engendre une succession de temps froids avec maintien de l'arc et de temps chauds (pics d'intensité) qui assurent la pénétration.

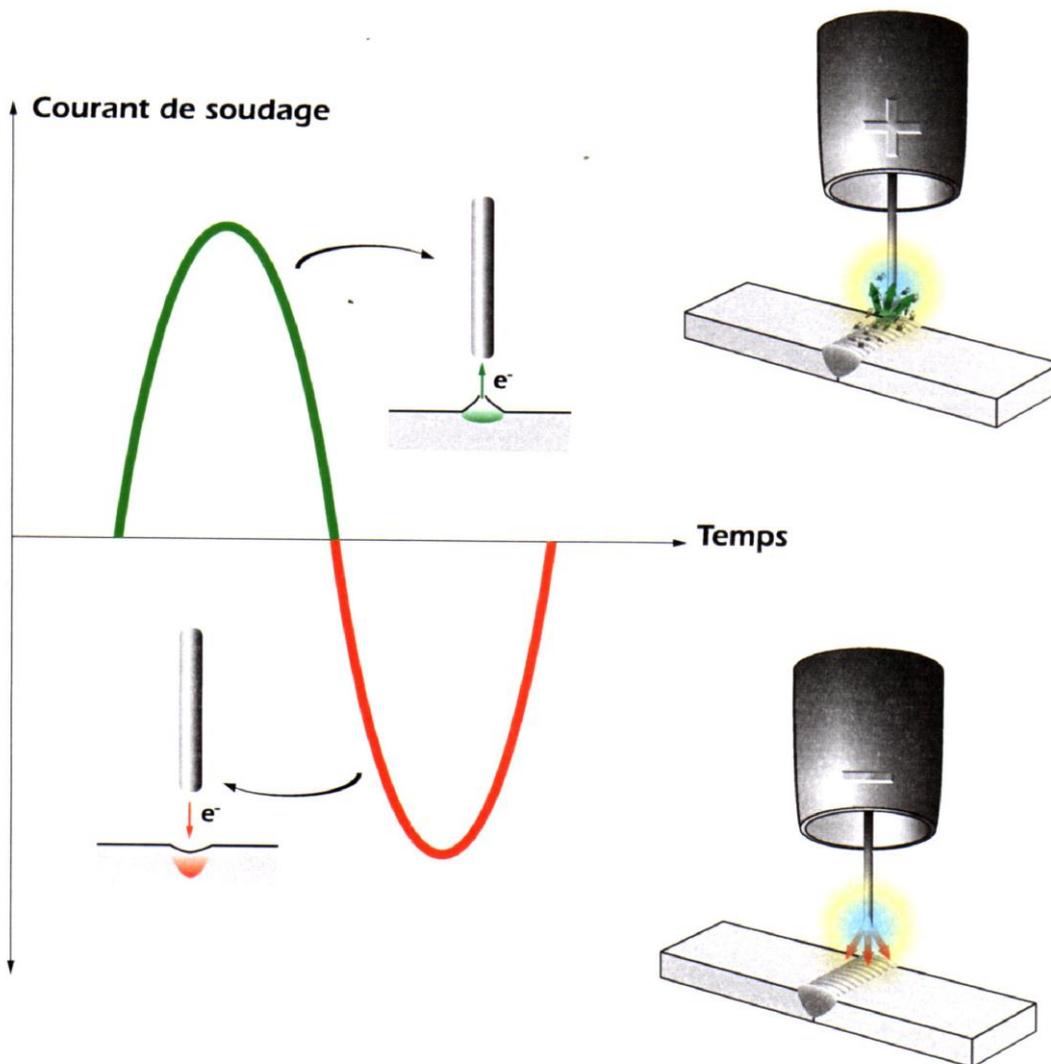


2.4. COURANT ALTERNATIF

L'arc électrique est alimenté par une source à tension alternative ; l'atmosphère inerte est assurée par de l'argon.

Lors de l'alternance de polarité, le jaillissement des électrons de la tôle vers l'électrode détruit la couche d'alumine protectrice.

A l'alternance suivante, la polarité inverse assure la pénétration.



PARAMETRE D'UTILISATION

Les électrodes

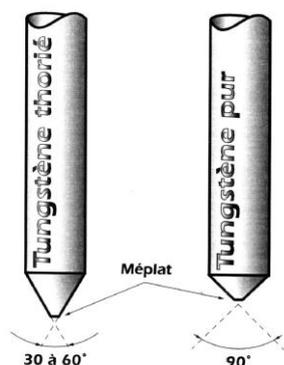
Le tungstène est choisi pour sa résistance à la fusion élevée (3410 °C) et pour sa très bonne conductibilité électrique de (8.6 x10⁶ siemens*/mètre)

*Un « siemens » correspond à la conductance électrique d'un [conducteur](#) ayant une [résistance électrique](#) d'un [ohm](#). La Conductance est l'inverse de la Résistance. Plus cette valeur est faible meilleure est la conductivité. Cela permet de provoquer la fusion le métal à souder avant la fusion de l'électrode de soudage)

Il existe trois familles d'électrodes.

- tungstène pur ;
- tungstène à 1 ou 2 % d'oxyde de thorium (électrode thoriée);
- tungstène à 0,3 à 0,5% d'oxyde de zirconium .

Les oxydes de thorium et de zirconium ont but de rendre l'électrode plus émissive facilitant ainsi l'amorçage et améliorant la stabilité de l'arc .Les électrodes en **tungstène thorié** sont utilisable **en courant continu**, polarité direct. En courant alternatif elles conduisent à des instabilités et des inclusions de tungstène dans le bain de soudage .Les électrodes en tungstène pur et en **tungstène avec oxyde de zirconium** sont utilisées pour le **courant alternatif**.



L'électrode doit être taillée convenablement.

L'axe du cône doit être coaxial à celui de la partie cylindrique de l'électrode.

En courant continu, le cône doit avoir un angle de 30 à 60°. Afin d'éviter les inclusions de tungstène dans le bain un méplat doit être réalisé à l'extrémité du cône. Ce méplat limite la désagrégation de l'électrode. En courant alternatif, le cône a un angle au sommet de 90°.

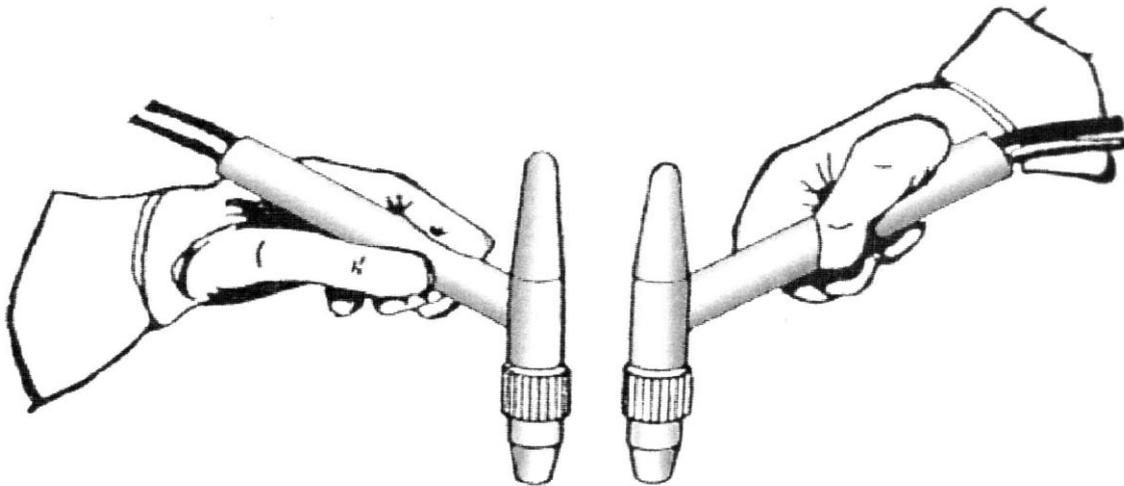
En cours de soudage, l'extrémité de l'électrode s'arrondit.

2.5. CHOIX DU DIAMETRE DES ELECTRODES EN FONCTION DE L'INTENSITE

Ø électrode (mm)	Acier inoxydable - Courant continu - Tungstène thorié 2%	Alliages légers - Courant alternatif - Tungstène pur
1	10 à 80 A	10 à 50 A
1,6	50 à 120 A	40 à 80 A
2	90 à 190 A	60 à 110 A
2,4	100 à 230 A	70 à 120 A
3,2	170 à 300 A	90 à 180 A
4	260 à 450 A	160 à 240 A
4,8	400 à 650 A	200 à 300 A

2.6. MODE OPERATOIRE

Le soudage TIG est un procédé minutieux. Le soudeur doit être installé convenablement. Il tient sa torche entre pouce index et majeur comme un crayon. Il commande la gâchette avec le pouce et l'index.



La torche est peu inclinée par rapport à la verticale de 10° à 20° . Le soudage se fait selon la méthode à gauche, c'est à dire déplacement de droite à gauche. Si un métal d'apport est nécessaire, il est déposé à l'avant du bain de fusion avec un angle de l'ordre de 20° par rapport à la pièce.

