



# SOUUDAGE

## ÉLECTRODE ENROBÉE

### MIG-MAG

### TIG



## Table des matières

<b>SOUDAGE - Electrode enrobée .....</b>	<b>1</b>
Introduction .....	2
Principe .....	3
Équipement .....	4
Paramètres de soudage .....	6
Soudage à l'électrode enrobée .....	8
Défauts de soudure .....	15
Sécurité .....	18
<b>SOUDAGE - MIG-MAG .....</b>	<b>21</b>
Introduction .....	22
Principe .....	23
Équipement .....	25
Paramètres/régimes de soudage .....	28
Défauts de soudure .....	33
Sécurité .....	34
<b>SOUDAGE - TIG .....</b>	<b>37</b>
Introduction .....	38
Principe .....	39
Équipement .....	41
Paramètres de soudage .....	41
Défauts de soudure .....	54
Sécurité .....	55





# SOUUDAGE

## ÉLECTRODE ENROBÉE

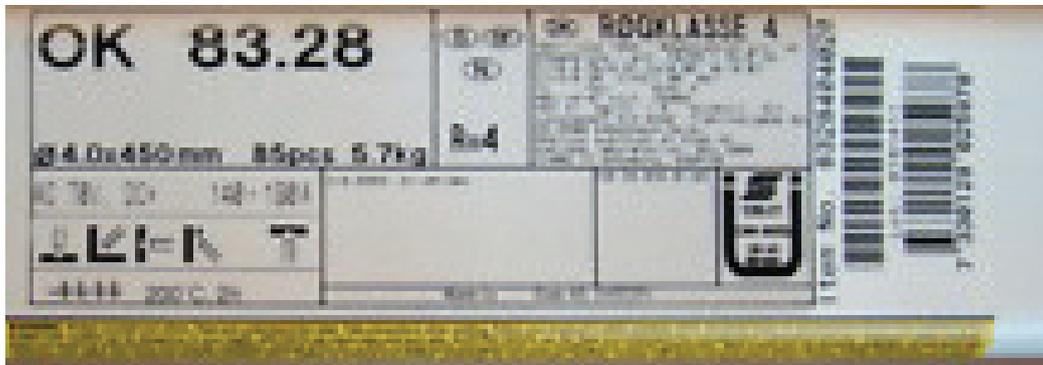
## INTRODUCTION

Quelques noms :

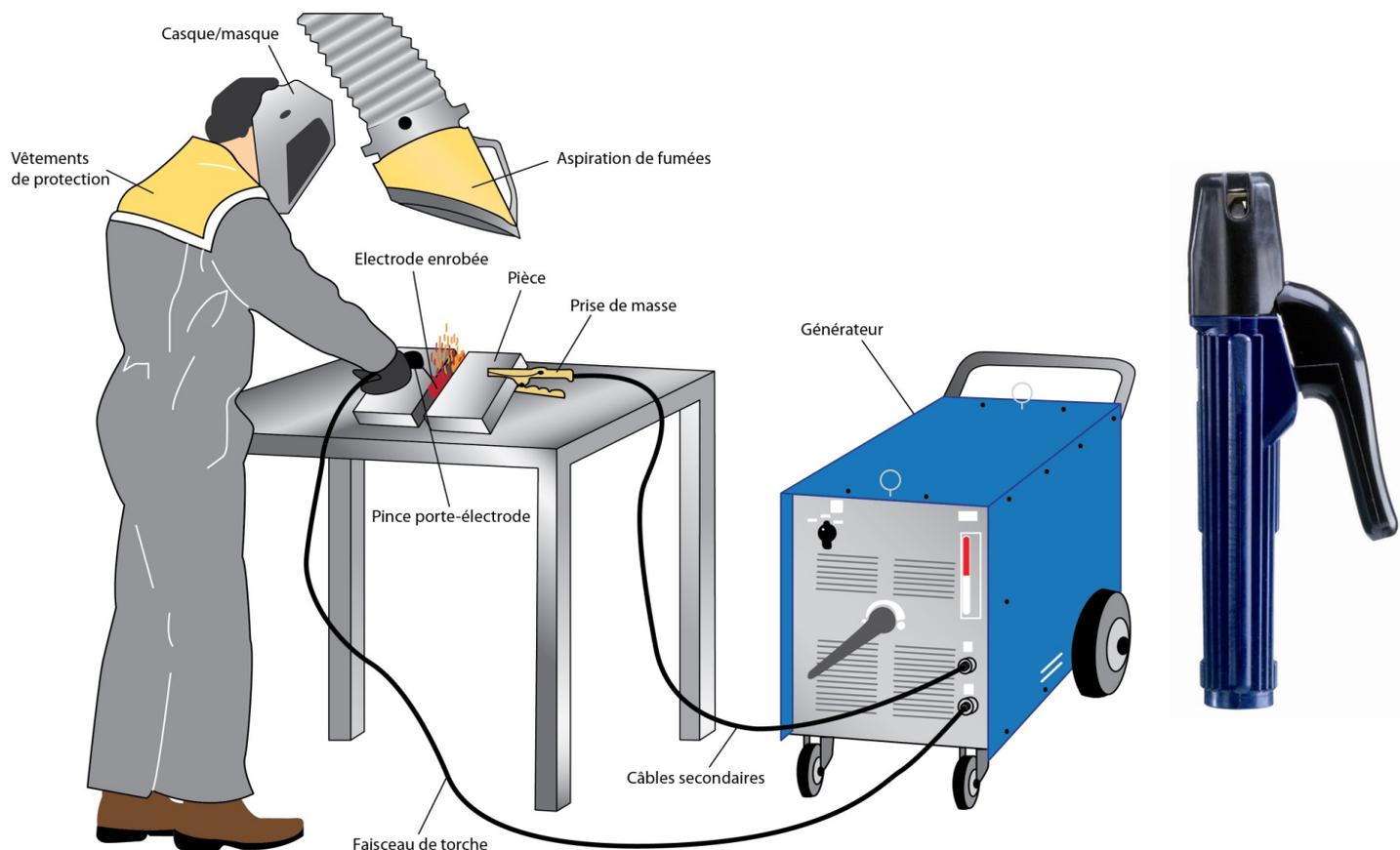
- Électrode enrobée
- MMA (manual metal arc welding)
- ASME : SMAW (shielded metal arc welding)

Selon la norme ISO 4063 (nomenclature des procédés de soudage) :  
111 : Soudage manuel à l'arc avec électrode enrobée

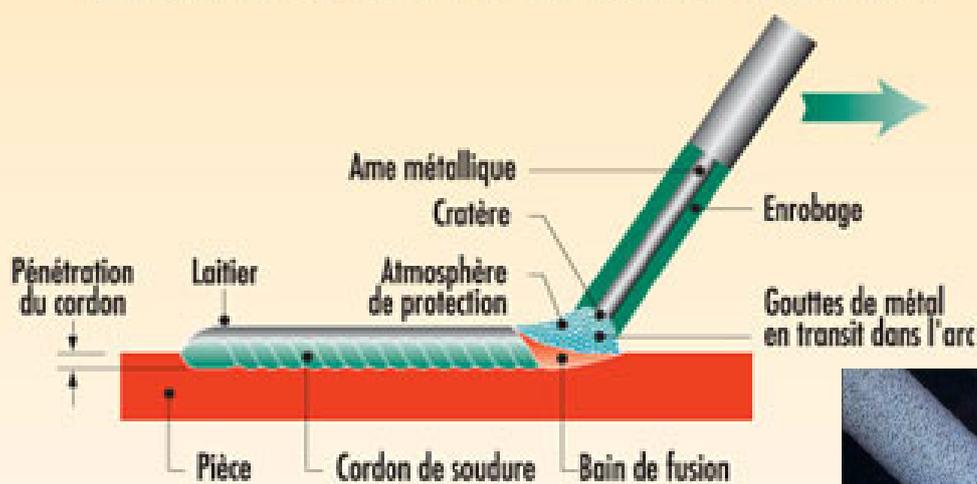
Breveté en 1907 par Oscar Kjellberg (fondateur d'ESAB)



## PRINCIPE



## SCHÉMA DE TRANSFERT DU MÉTAL

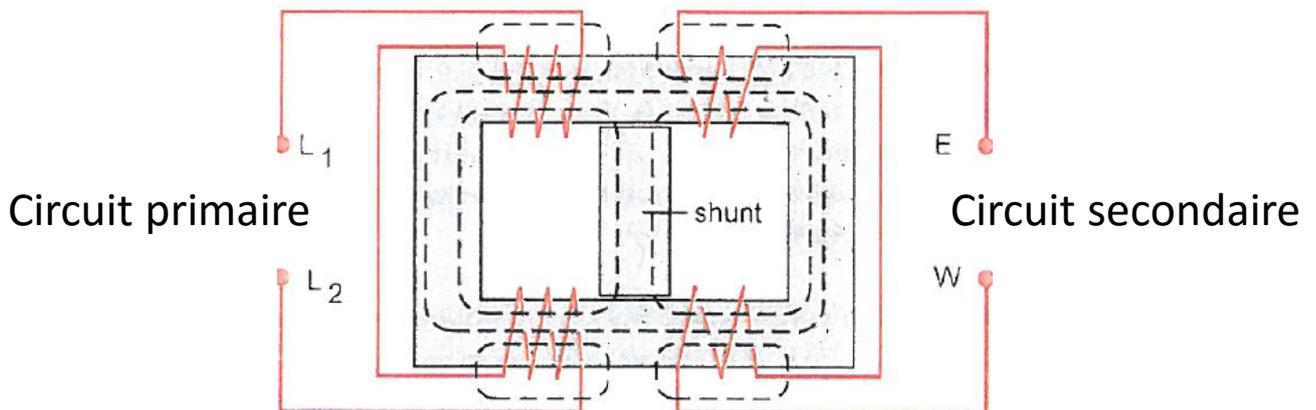


## ÉQUIPEMENT

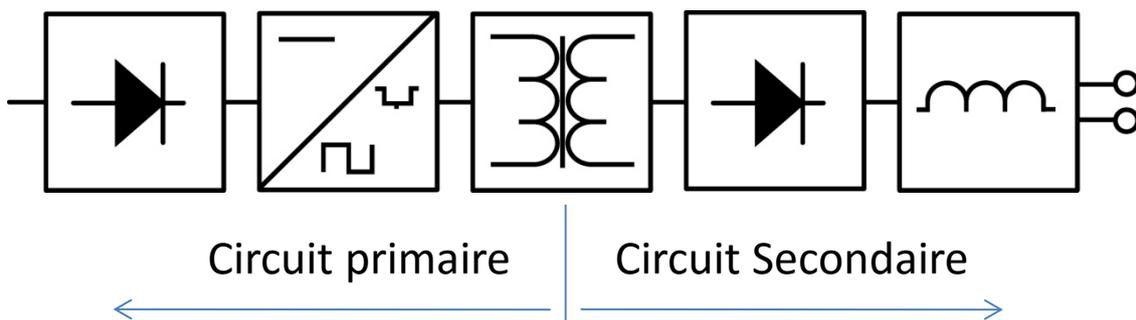
### 1 - Poste à souder



- Courant réglable par shunt



- Courant réglable par interver ou onduleur

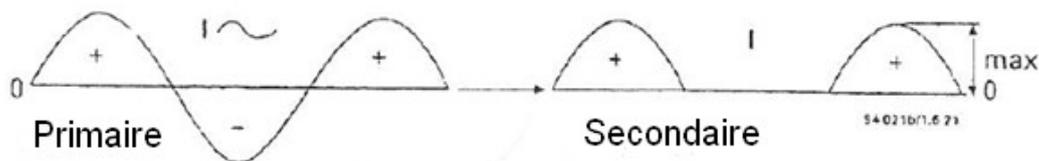


- Redresseur (diode)
- Convertisseur DC/AC (hacheur)
- Transformateur
- Redresseur
- Shunt

## Redresseur

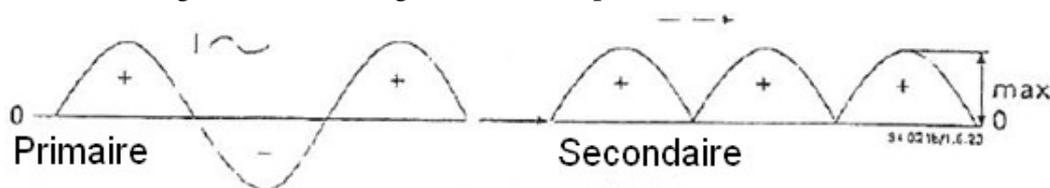
- Redresseur simple

- Seulement une alternance du courant permise
- Uniquement les valeurs positives ou négatives du courant alternatif passent



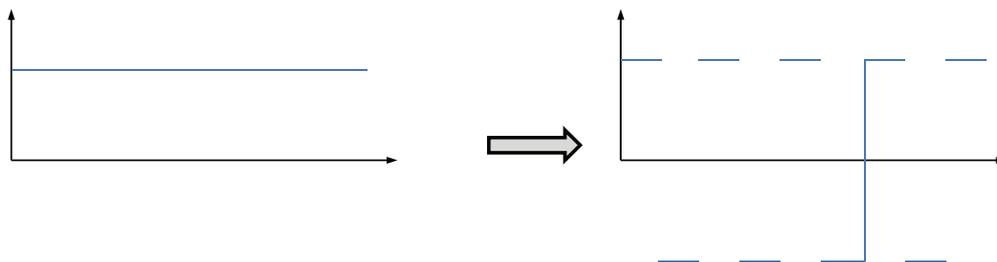
- Pont redresseur

- Les valeurs négatives sont changées en valeurs positives



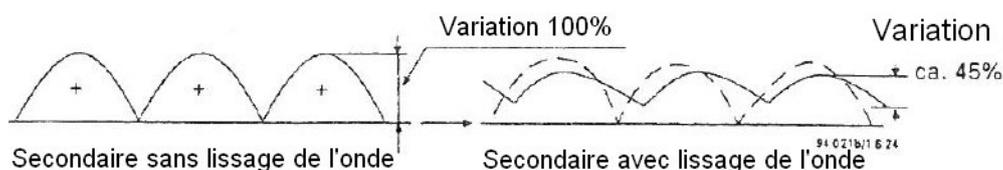
## Hacheur DC/AC

- Transformer le courant continu en courant alternatif avec une fréquence beaucoup plus élevée (20.000Hz) que la fréquence du réseau (50Hz)

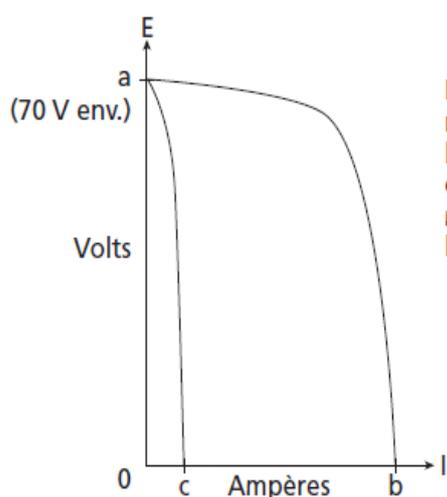


## Shunt

- Lissage de l'ondulation



## Courbes caractéristiques



Le point a représente la tension à vide. Les points b et c représentent l'intensité du courant de court-circuit, soit lorsque l'électrode touche la pièce. La courbe a-b est obtenue en réglant l'intensité de la soudeuse au maximum tandis que la courbe a-c résulte d'un réglage à l'intensité minimale.

## 2 - Pince porte-électrode



## 3 - Pinces de masse (connecteurs de pièces)



## PARAMÈTRES DE SOUDAGE

- Réglage du courant sur le poste à souder  
- Plage de courant indiquée sur l'étiquette du métal d'apport
- Position de l'électrode
- Longueur de l'arc
- Vitesse de soudage

## Soudage à l'arc : électrode enrobée

- Les aciers au C-Mn
- Les aciers faiblement alliés
- Les aciers inoxydables
- Les fontes (ductiles et grises)
- Le nickel et ses alliages



Figure 2.26 Procédés de soudage recommandés pour certains métaux

	SMAW	GTAW	GMAW	FCAW	MCAW
Fonte	1		1**		
Cuivre et ses alliages	2	1	1		
Acier	1	1	1	1	1
Magnésium	3	1	1		
Aluminium	3	1	1		
Titane		1	2		
Nickel	2	1	1		

\*\* Bronze au silicium comme métal d'apport

1 : Très utilisé 2 : Moyennement utilisé 3 : Peu utilisé

## SOUDAGE À L'ÉLECTRODE ENROBÉE

### Inconvénients

- Pénétrations faibles ;
- Longueur limitée des électrodes ;
- Arrêts fréquents du procédé de soudage ;
- Procédé peu productif surtout à cause des arrêts pour l'enlèvement du laitier ;
- Mécanisation difficile ;
- Fumées nocives ;
- Arc visible émettant des radiations UV et infrarouges, température de 3000 °C à 5000 °C ;
- Tension à vide supérieure à 70 V quand le circuit est ouvert, attention aux risques d'électrocution dans les atmosphères humides.

### Avantages du SMAW

- Le procédé peut être utilisé tant avec du courant alternatif qu'avec du courant continu ;
- Plus polyvalent, s'exécute dans tous les milieux ;
- Équipement moins complexe et moins coûteux ;
- Le laitier protège la soudure contre l'oxydation pendant le processus de solidification et de refroidissement ;
- Haute qualité de soudage possible ;
- Paramètres de soudage faciles à régler ;
- Investissement peu important ;
- Frais d'entretien réduits.

### Caractéristiques

	Électrode	Code	Les substances de l'enrobage	Laitier
1	Oxydant	O	Oxyde de fer	Oxydant
2	Acide	A	Oxyde de fer et ferro-manganèse	Acide
3	Rutile Rutile avec quelques suppléments	R RR	Oxyde de titane	Neutre
4	Basique	B	Potassium – calcium	Basique
5	Cellulosique	C	Cellulose	Neutre

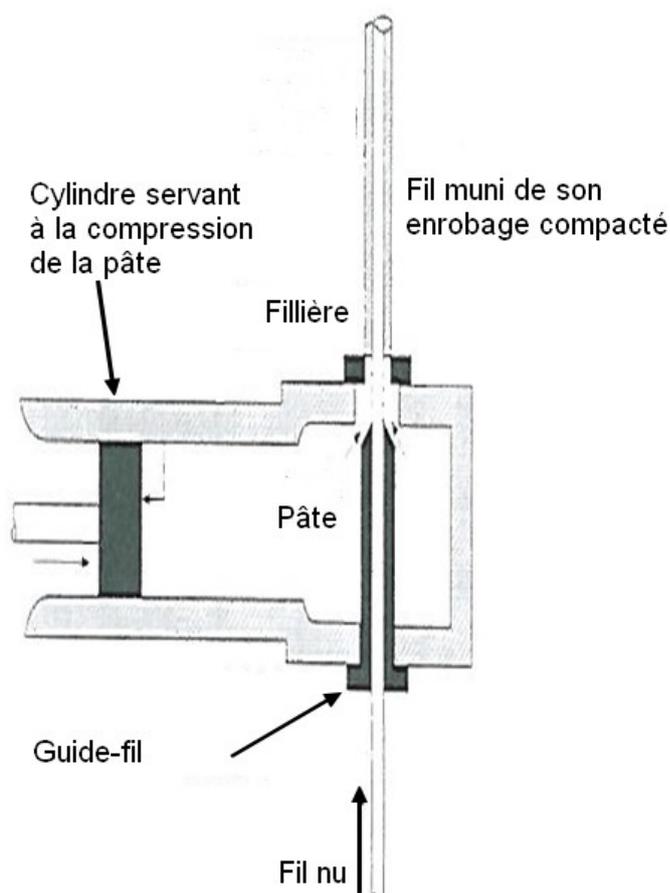
## Fabrication des électrodes

- L'électrode est constituée d'un fil nu et d'un enrobage.
- Le type d'électrode donne une indication de la soudabilité de l'électrode.
- Les dimensions :
  - Diamètre : 1,6 - 2,0 - 2,5 - 3,2 - 4,0 - 5,0 - 6,0 - 6,3mm
  - Longueur : 200 - 250 - 300 - 350 et 400
  - La partie de serrage dans la pince porte-électrode doit avoir 35mm minimum sans enrobage.

## Méthodes d'enrobage des fils nus

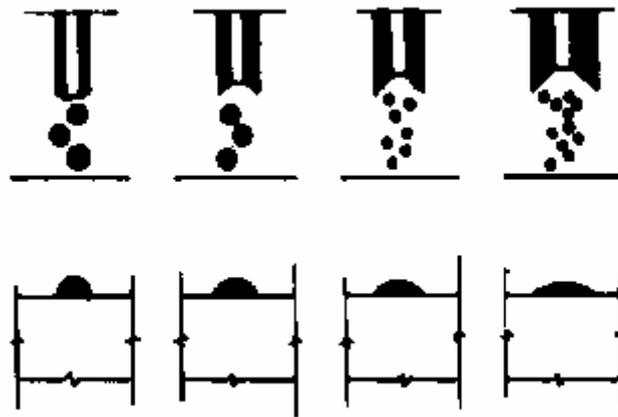
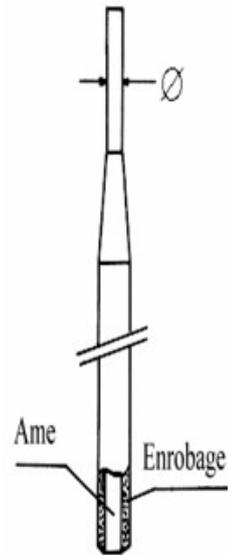
- Plonger dans bain d'enrobage
  - Le fil métallique est plongé dans un mélange liquide auquel on ajoute les éléments nécessaires à chaque type d'électrode.
- Percer
  - Le fil perce une pâte qui va l'enrober avec le mélange nécessaire à chaque type d'électrode.

### Schéma du principe



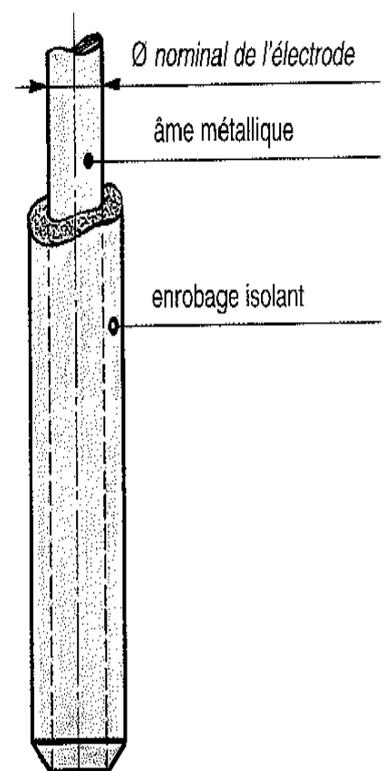
## Fonctions de l'enrobage

- Protection atmosphérique
  - Laitier pendant et après soudage
  - Atmosphère gazeuse autour de l'arc
- Stabilisation de l'arc électrique
  - Ionisation de l'enrobage pour faciliter l'amorçage et l'établissement de l'arc
  - Fusion en forme de calice qui dirige les gouttes en fusion
- Modification de la composition chimique du métal en fusion
  - Adjonction d'éléments oxydants
  - Adjonction de métal d'apport à haut rendement
  - Adjonction Cr et Ni au MF d'acier inoxydable
- Rôle mécanique
  - Fluidité du bain du cordon déposé avec transition géométrique douce



## Précautions à prendre

- Conserver les électrodes à l'abri des chocs et de l'humidité.
- L'extrémité de l'électrode basique est constituée de graphite pour favoriser l'amorçage.



## Emballage

- Boîte en carton ;
- Boîte en carton plastifiée ;
- Tube synthétique ;
- Boîte métallique ;
- Emballage sous vide ;
- Toutes les données spécifiques des électrodes doivent être indiquées sur la fiche technique de l'emballage.



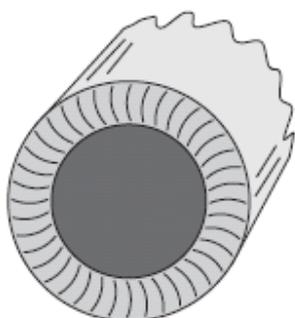
## Classification des électrodes suivant EN 2560

- Classe A : Exige un résilience de 47 Joules minimum à la température d'essai
- Classe B : Exigences moins sévères concernant la résilience (27 J au lieu de 47 J)

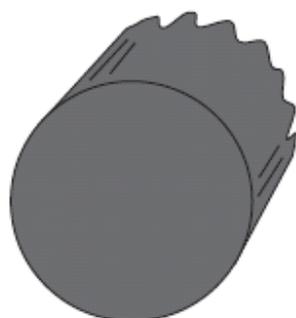
### EN ISO 2560- A E 42 3 B 1 2 H10

#### Classe -A

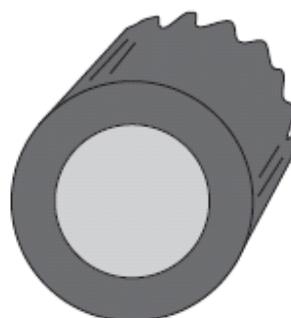
- E = Électrode Enrobée  
 42 = limite élastique minimum 420 /rupt.500 N/mm<sup>2</sup> - Allongement min.: 20 %  
 3 = résilience minimum de 47 joules à - 30C°  
 B = type d'enrobage basique  
 1 = rendement ≤ 105 % et courants AC/DC  
 2 = toutes positions / sauf descendante  
 H10 = H/DM (ml 100g) H10= max. 10



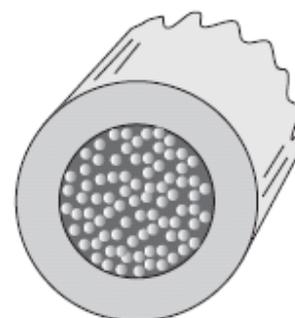
**Électrode SMAW**  
(Flux à l'extérieur)



**Électrode GMAW**  
(Aucun flux)



**Électrode FCAW**  
(Flux à l'intérieur)



**Électrode MCAW**  
(Poudre métallique à l'intérieur)

Figure 2.14 Caractéristiques générales des types d'électrodes

Propriété ou condition d'application	Basique	Rutile	Cellulosique
Profondeur de pénétration	2	3	1
Passes de remplissage	2	1	3
Aspect du cordon	2	1	3
Facilité d'amorçage	3	1	2
Facilité d'exécution à plat	2	1	3
Facilité d'exécution/autres positions	1	2	3
Faible teneur en humidité	1	2	3
Soudabilité sur aciers trempés	1	2	3
Propriétés mécaniques (en général)	1	3	2
Disponibilité pour le soudage d'aciers alliés	1	non	2
1 = excellent    2 = bien    3 = passable			

*Symboles de type d'enrobage pour les classes EN 2560 -A*

Symbol	enrobage
A	ACIDE
C	CELLULOSIQUE
R	RUTILE
RR	RUTILE, COUVREMENT EPAIS
RC	RUTILE-CELLULOSIQUE
RA	RUTILE - ACIDE
RB	RUTILE-BASIQUE

## Séchage

- L'humidité dans l'enrobage va entraîner des projections, des porosités et un mauvais décapage du laitier

Électrodes	Enrobage	Séchage recommandé	Séchage température °C	Temps de séchage
Aciers non alliés	A, C, R, RR	non		
	B	non		
Aciers faiblement alliés	B	oui	250°C-350°C	2 h
Aciers à limite d'élasticité élevée	B	oui	250°C-350°C	2 h
Aciers résistants au fluage	R	non		
	B	oui	250°C-350°C	2 h
Aciers inoxydables	R	oui	80°C -130°C	2 h
	B	non		

**Le temps de séchage ne doit jamais dépasser 10 heures.**

30

## Différentes étapes

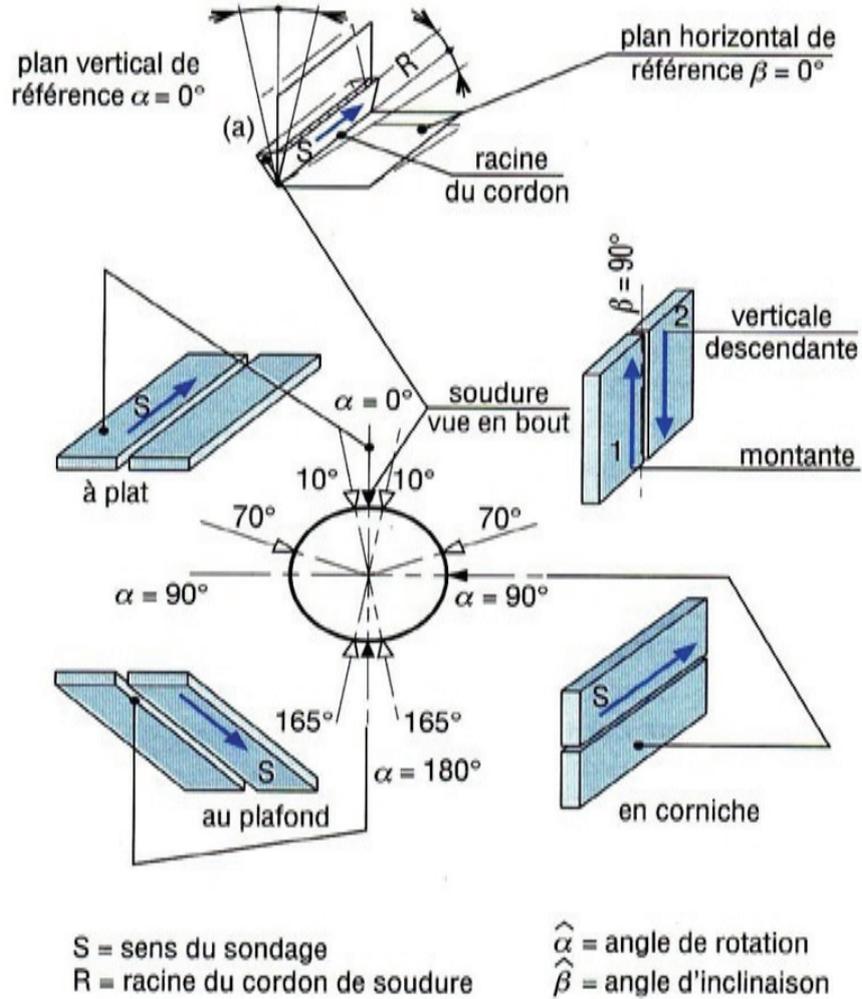
- 1) Mesurer l'épaisseur des pièces à souder
- 2) Choisir un diamètre d'électrode inférieur ou égal à cette épaisseur
- 3) Régler l'intensité en fonction du diamètre de l'électrode en consultant la notice d'emploi sur le paquet qui vous donne la plage de réglage. On peut utiliser la formule suivante :  

$$I = (\text{DIAMETRE} - 1) \times 50 \quad (\text{au maximum})$$
- 4) Affiner ce réglage en fonction
  - de la masse des pièces ;
  - de l'écartement des bords ;
  - de la méthode de soudage utilisée ;
  - de la position (à plat, en corniche,...).

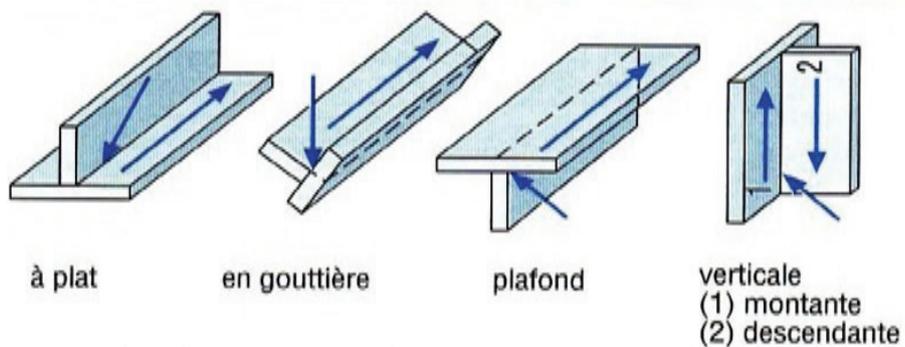
Ép. mm	1,6	2	2,5	3,15	4
1	25 A	x	x	x	x
2	30 A	45 A	65A	x	x
3	x	55 A	75 A	95 A	x
4	x	x	75 A	105 A	140 A
5	x	x	x	115 A	150 A
6	x	x	x	x	150A
8	x	x	x	x	160 A
10	x	x	x	x	160 A

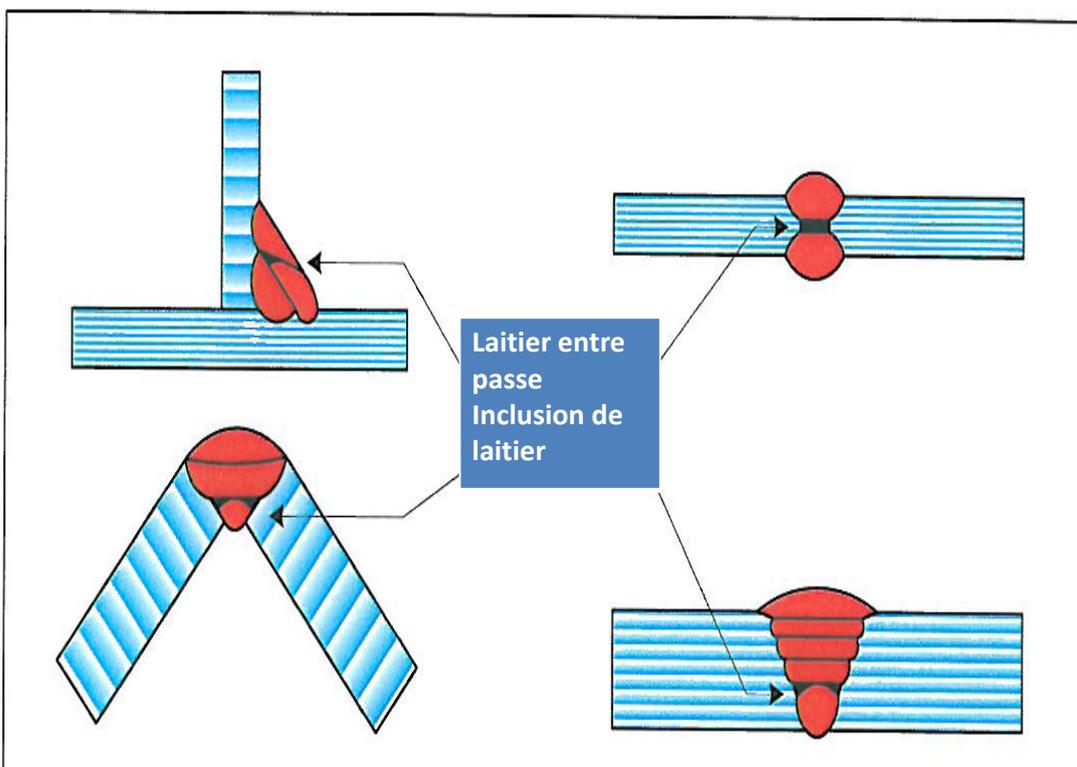
## Positions de soudure

### - Soudures bout à bout



### - Soudures d'angle





Exemples d'inclusion de laitier 33

## DÉFAUTS DE SOUDURE

### Impuretés dans la soudure

Une inclusion est une impureté, due au laitier qui n'a pas été bien décapé après la première passe de soudage et qui reste collée au premier cordon.

Lors de la seconde passe, la scorie reste collée ce qui provoque la naissance d'une inclusion de laitier.



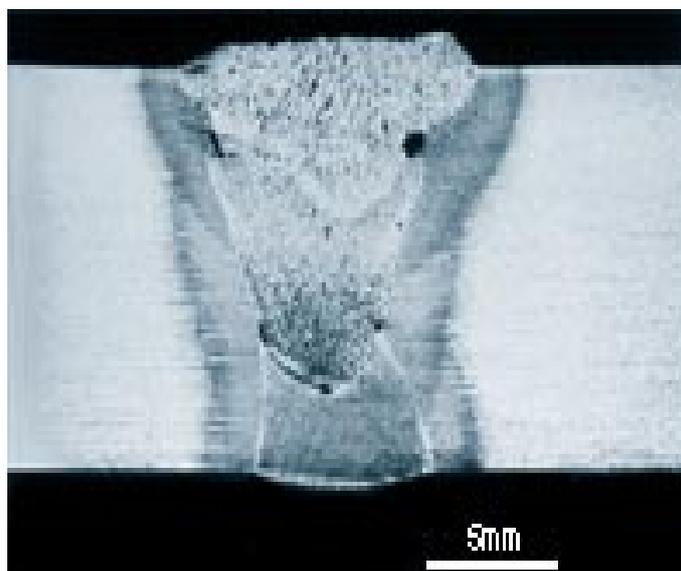
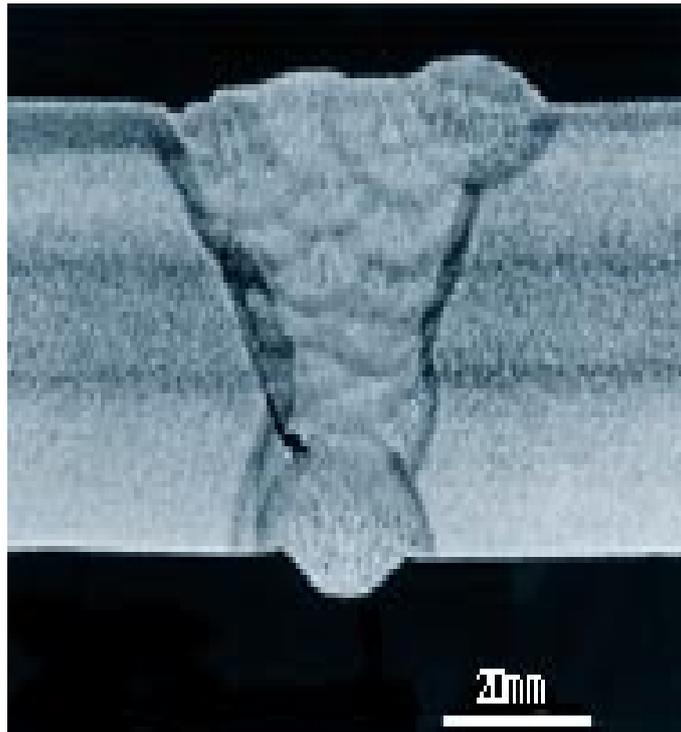
## Morsures et caniveaux

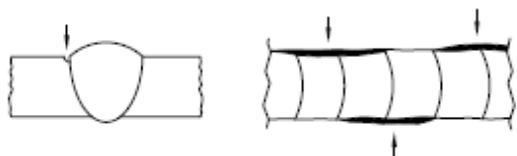
Une morsure est un défaut caractérisé par un manque de matière ou une insuffisance du métal de base sur une partie du cordon.

Un caniveau traverse une grande partie du métal de base en raison d'une trop grande chaleur du métal d'apport par rapport à l'épaisseur ou à la densité du métal de base.

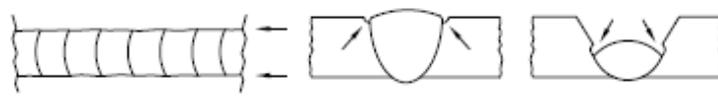
Un courant trop fort ou une vitesse d'avance trop élevée favorise l'apparition des caniveaux.

Un mauvais angle de soudage de même qu'une longueur d'arc incorrecte peuvent aussi être à l'origine de ce type de défaut.





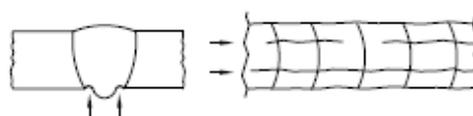
Morsure



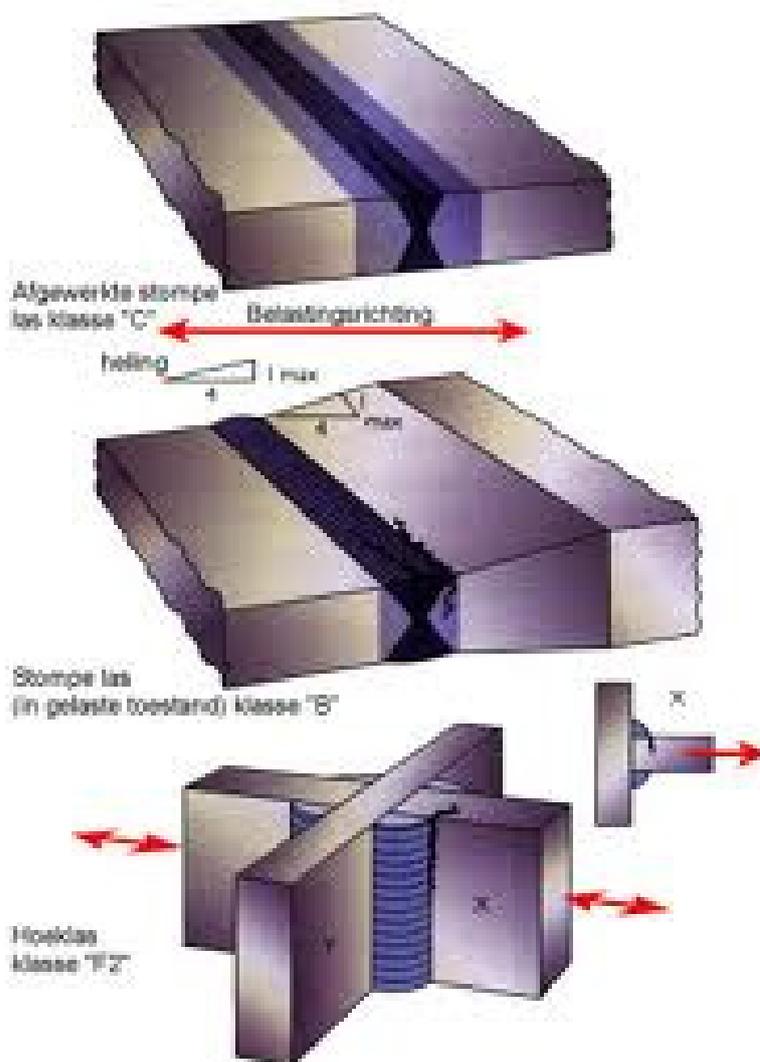
Caniveaux en surface



Caniveaux sur soudure multipasse



Caniveaux à la racine



# SÉCURITÉ

## Sur chantier

Les travaux de soudage sur les chantiers de construction nécessitent de faire attention :

- Aux autres soudeurs ;
- À la hauteur ;
- Aux échafaudages ;
- Aux conditions liées aux travaux en extérieur.

Pour votre sécurité et celle de vos collègues, il faut donc toujours être attentif !



## Verres de protection

Procédés de soudage et techniques connexes	INTENSITÉS DU COURANT EN AMPÈRES																						
	0.5	1	2.5	5	10	15	20	30	40	60	80	100	125	150	175	200	225	250	275	300	350	400	450
Électrodes enrobées	[Hatched]						9	10	11			12			13			14					
MIG sur métaux lourds <sup>2</sup>	[Hatched]										10	11	12			13			14				
MIG sur alliages légers	[Hatched]										10	11	12	13		14		15					
TIG sur tous métaux et alliages	[Hatched]				9	10	11		12		13	14		[Hatched]									
MAG	[Hatched]							10	11	12	13			14		15							
Gougeage ARCAIR	[Hatched]											10	11	12	13	14	15						
Coupage au jet de plasma	[Hatched]								11			12		13			[Hatched]						
Soudage plasma	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13		14			15					

1) Selon les conditions d'utilisation, le numéro de la teinte immédiatement supérieure ou le numéro de la teinte immédiatement inférieure peuvent être utilisés.  
 2) L'expression « métaux lourds » couvre les aciers, les aciers alliés, le cuivre et ses alliages, etc.



## Equipement de protection individuelle

50% des accidents touchent les mains et les yeux

**Soyez toujours protégé !**

- Masque à main ou masque de soudage
- Gants de soudage
- Vêtements de soudage et tablier en cuir (ou veste de protection)
- Chaussures de sécurité





# SOUUDAGE

MIG-MAG

## INTRODUCTION

- **Inerte (MIG = Metal Inert Gas)**

Mélange d'argon ou d'argon-hélium

- **Actif (MAG = Métal Actif Gaz)**

Habituellement à base d'argon et CO<sub>2</sub>

Mélanges courants :

- 85Ar-15CO<sub>2</sub>
- 80Ar-20CO<sub>2</sub>
- 92Ar-8CO<sub>2</sub>

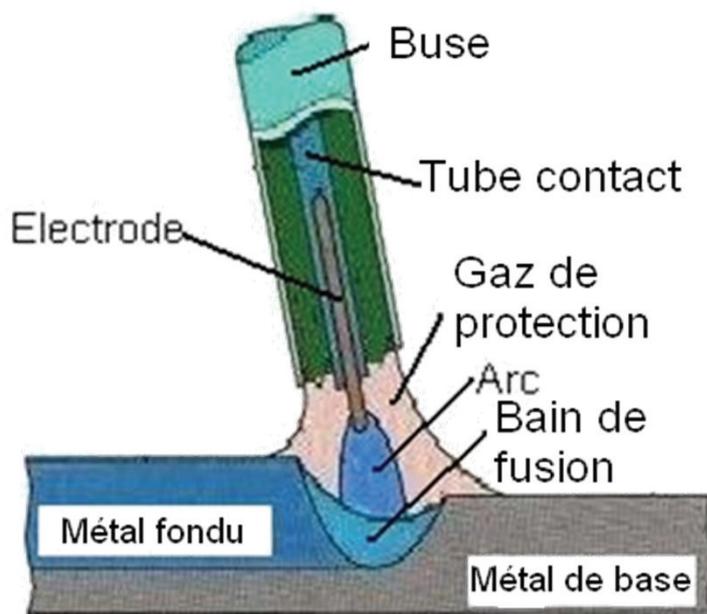
### Avantages

- Pas de résidus, de scories (fil plein) ;
- Taux de dépôt élevé ;
- **MAIS : risque de manque de liaison /manque de pénétration ;**
- **Obligation de test de pliage pour la certification.**



## PRINCIPE

- L'arc se produit après un court-circuit entre le fil et la pièce
- Longueur de l'arc en fonction de la tension
- Protection gaz / bain de fusion
- La vitesse du fil est liée à l'ampérage
- Arc stable
- Couple fil/gaz

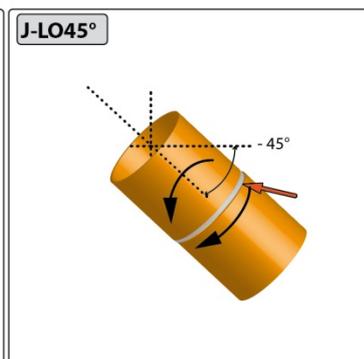
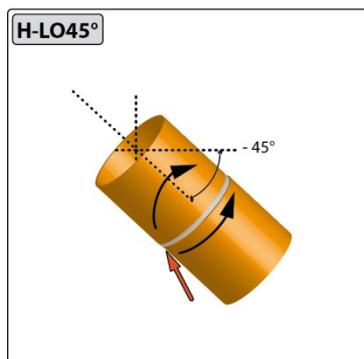
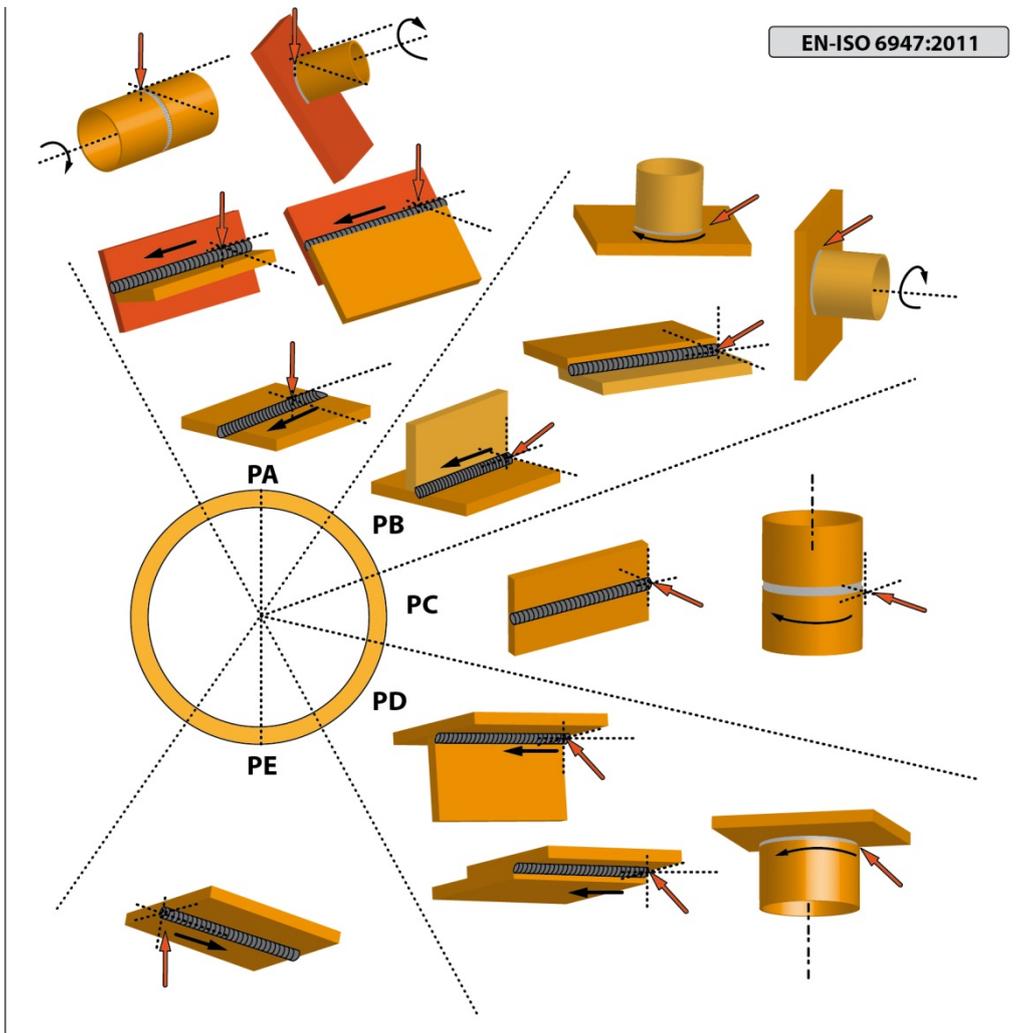
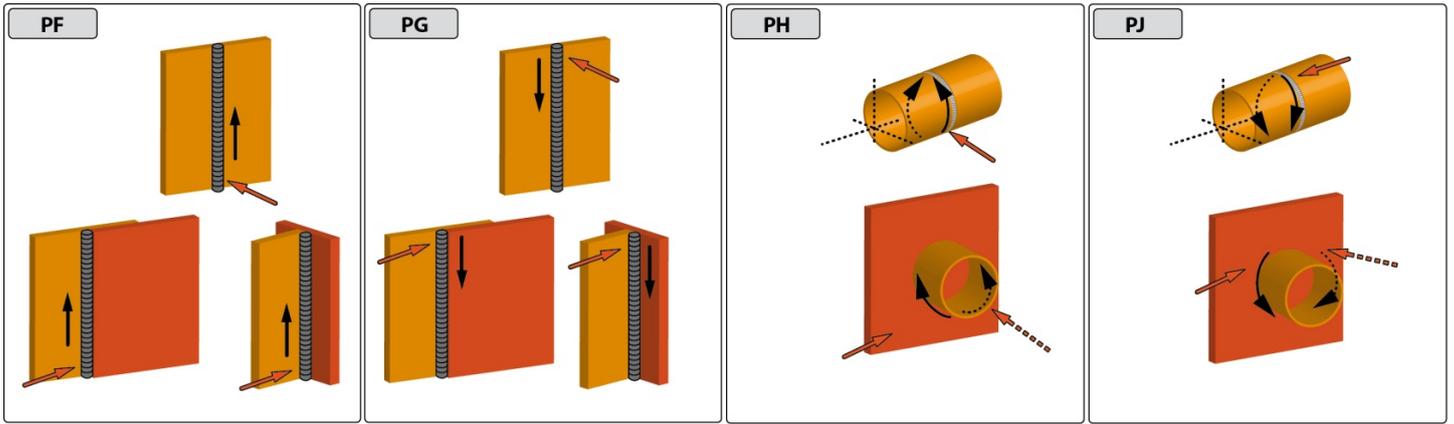


ISO 9606-1 / ancien NBN EN 287-1

**135 P/T FW 1.1 s t=10/6,1 D=60,3 PH sl**

- 135 = MAG
- P = tôle (plate)
- T = tube
- FW = soudure d'angle (fillet weld)
- 1.1 = groupe de métaux de base (acier)
- S = fil nu
- T = épaisseur
- D = diamètre du tube
- PH = position tube montante
- Sl = simple couche
- Ml = multicouche

Positions de soudage

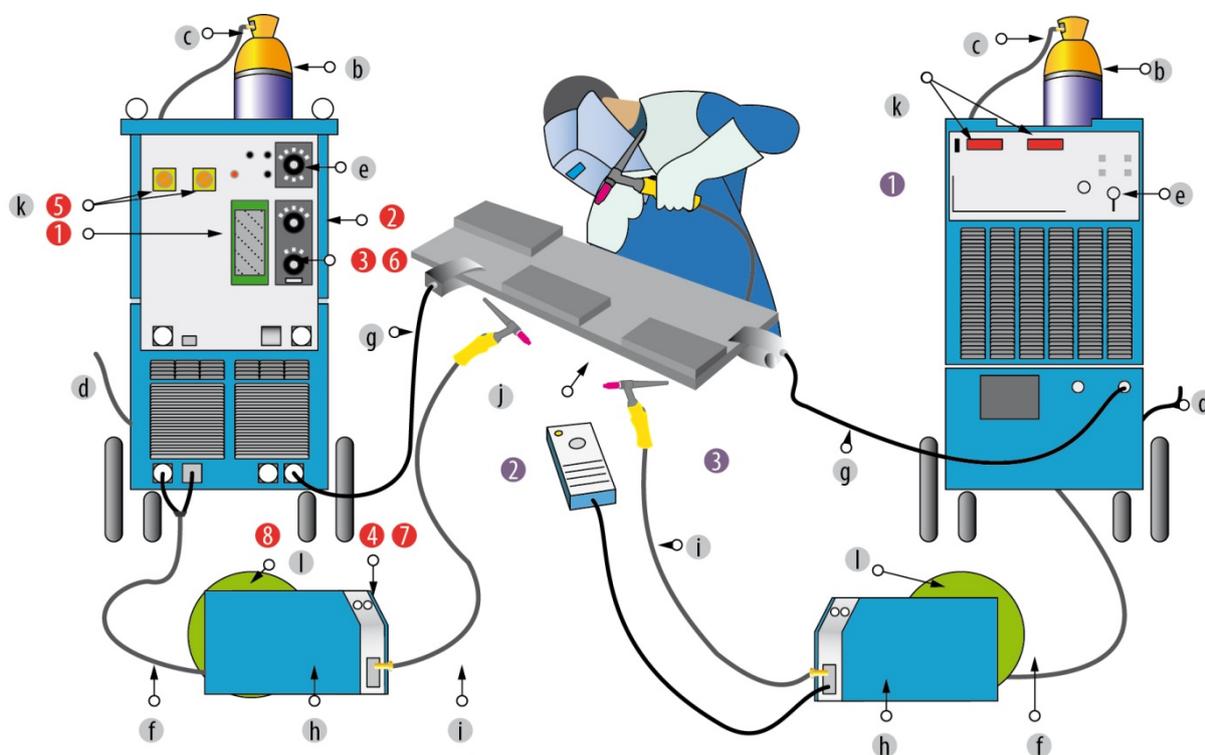


## ISO 14341 : classification et nomination des fils pleins

### Exemple : ISO 14341-A-G 46 5 M G3Si1

ISO 14341-A	= exigence d'une résilience de min. 47 J à la température de l'essai
G	= fil plein pour GMAW (= 135)
46	= 460N/mm <sup>2</sup> limite d'élasticité minimale et allongement > 20%
5	= la résilience > 47 J à -50 ° C
M	= le gaz de protection (gaz mélangé Ar-CO <sub>2</sub> )
G3Si1	= composition chimique

## ÉQUIPEMENT



**POSTE CLASSIQUE**

**POSTE SYNERGIQUE**

### Réglage par approches successives

### Réglage mono-bouton

Séquence des opérations de réglage

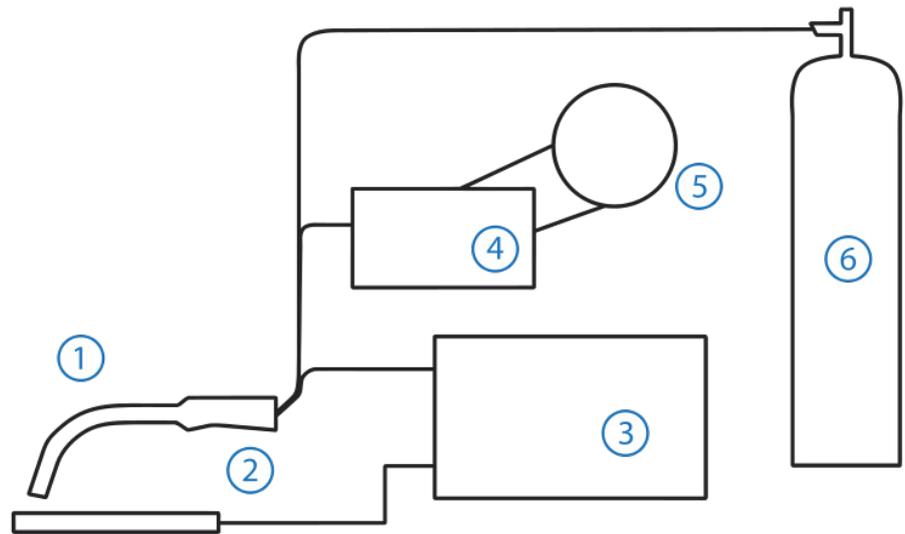
Séquence des opérations de réglage

- 1- Détermination approximative de la tension d'arc U
- 2 - Réglage grossier de U arc
- 3 - Réglage fin de U arc
- 4 - Réglage vitesse fil
- 5 - Lecture de I et U en fonctionnement (sur certains postes)
- 6 - Correction U arc
- 7 - Correction vitesse fil
- 8 - Sélection de la "self" (en régime courts circuits)

- 1- Pré-affichage
  - nuance fil
  - gaz
  - diamètre fil
  - avec ou sans pulsation
- 2 - Réglage vitesse fil (l'intensité approchée s'affiche)
- 3 - Ajustement éventuel de la longueur d'arc (ou tension d'arc)

## Préparation

- 1 torche de soudage
- 2 pièce
- 3 générateur
- 4 dévidoir de fil
- 5 bobine de fil
- 6 bouteille de gaz



## La torche

- refroidie par air

Le gaz de protection continue de refroidir la tête de torche jusqu'à +/- 240A (au delà, elles commencent à chauffer et à se détériorer).

- refroidie par eau

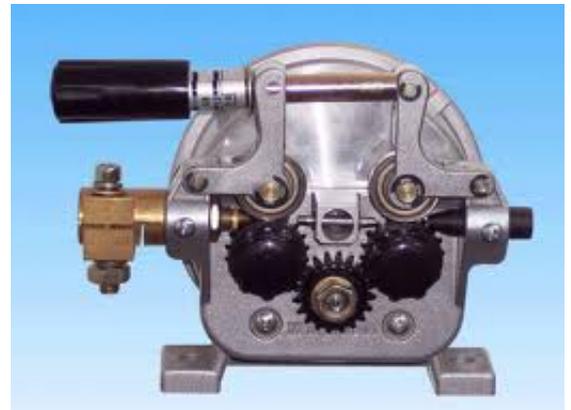
La torche est refroidie par de l'eau qui circule dans le corps de celle-ci.

### Système de dévidage du fil.

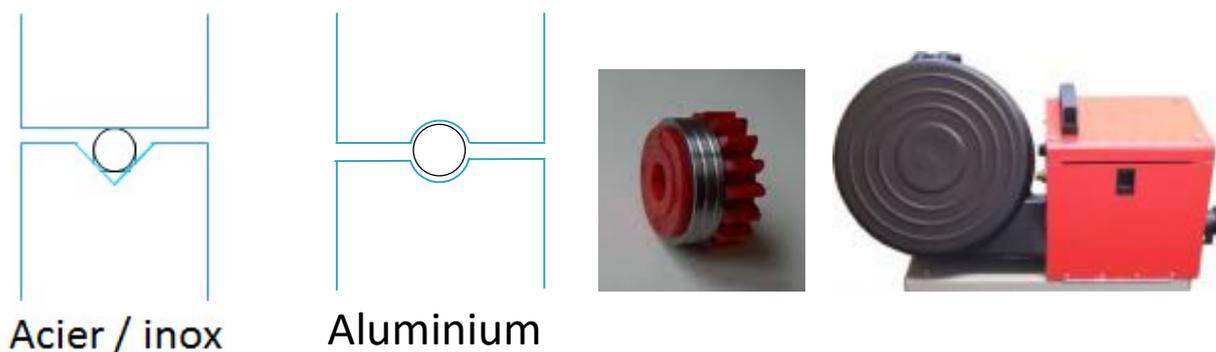
Assure une alimentation en fil constante.

### Galets de dévidage du fil.

- Type 2 galets
- Type 4 galets (dévidage du fil plus constant)
- Torche Push-pull (galets supplémentaires dans la poignée de la torche)



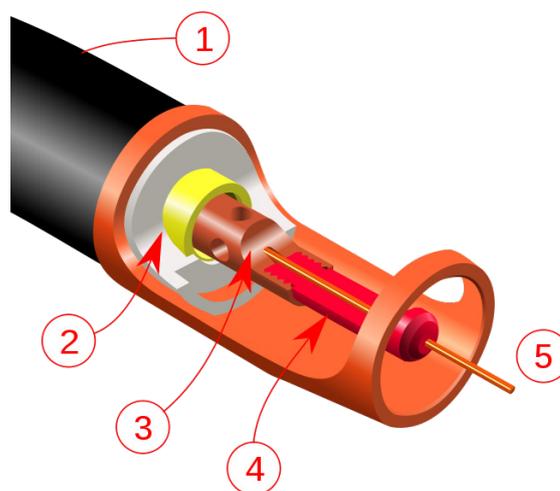
Le profil des galets dépend de la nature du fil



Dévidoir avec frein : empêche que la bobine de fil continue à se dérouler quand on arrête de souder, ce qui aurait pour effet d'emmêler le fil.

Torche de semi-automatique

- 1 corps de la torche
- 2 isolateur électrique
- 3 distributeur de gaz
- 4 tube contact (transfert du courant au fil à souder)
- 5 fil (électrode continue)

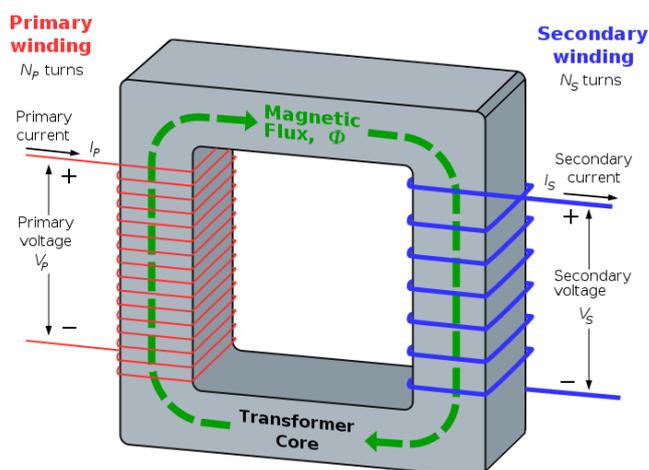


Torche push-pull

souvent utilisée pour le soudage de l'aluminium  
Système de dévidage particulier

Machine à souder = transformateur

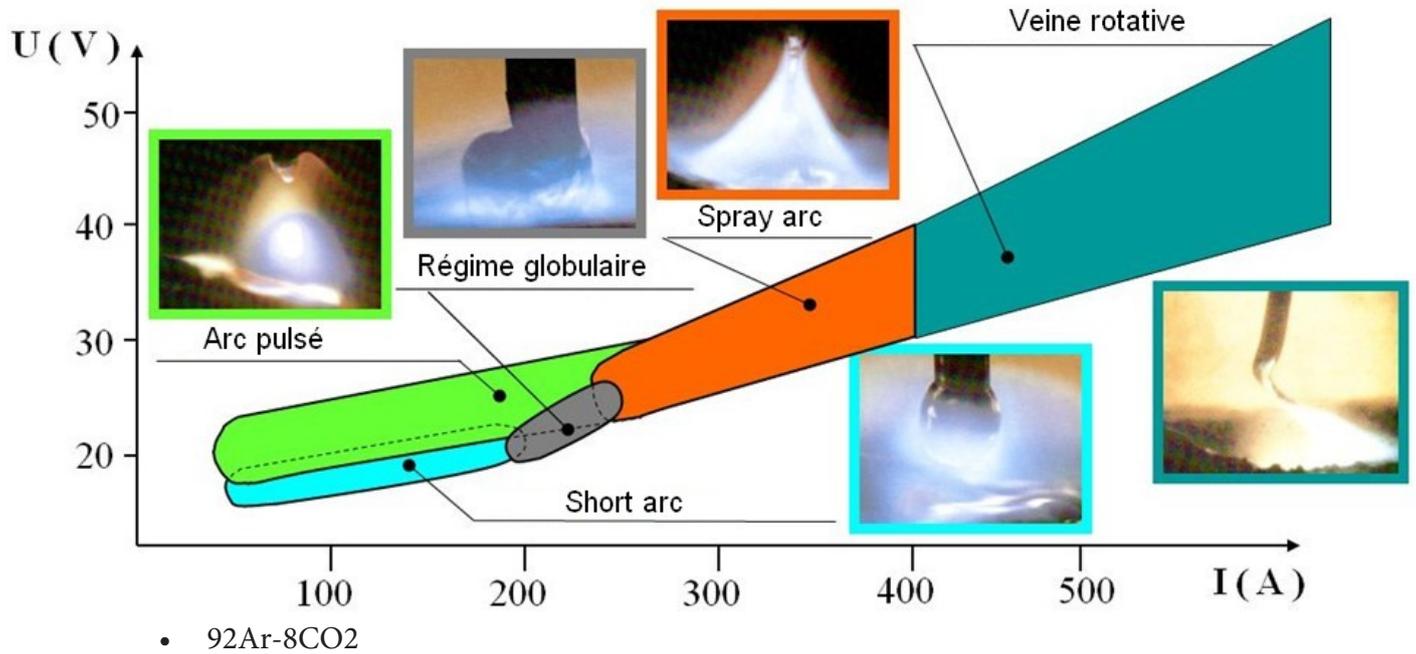
Côté primaire (la puissance)  
Côté secondaire (la tension)  
Conversion directe dépend du rapport entre les enroulements du côté primaire et du côté du secondaire



Exercice :  
10 enroulements au primaire, 5 pour le secondaire donnent... ?

## PARAMÈTRES/RÉGIMES DE SOUDAGE

### Niveaux d'énergie



### Arc de court circuit (Short-Arc)

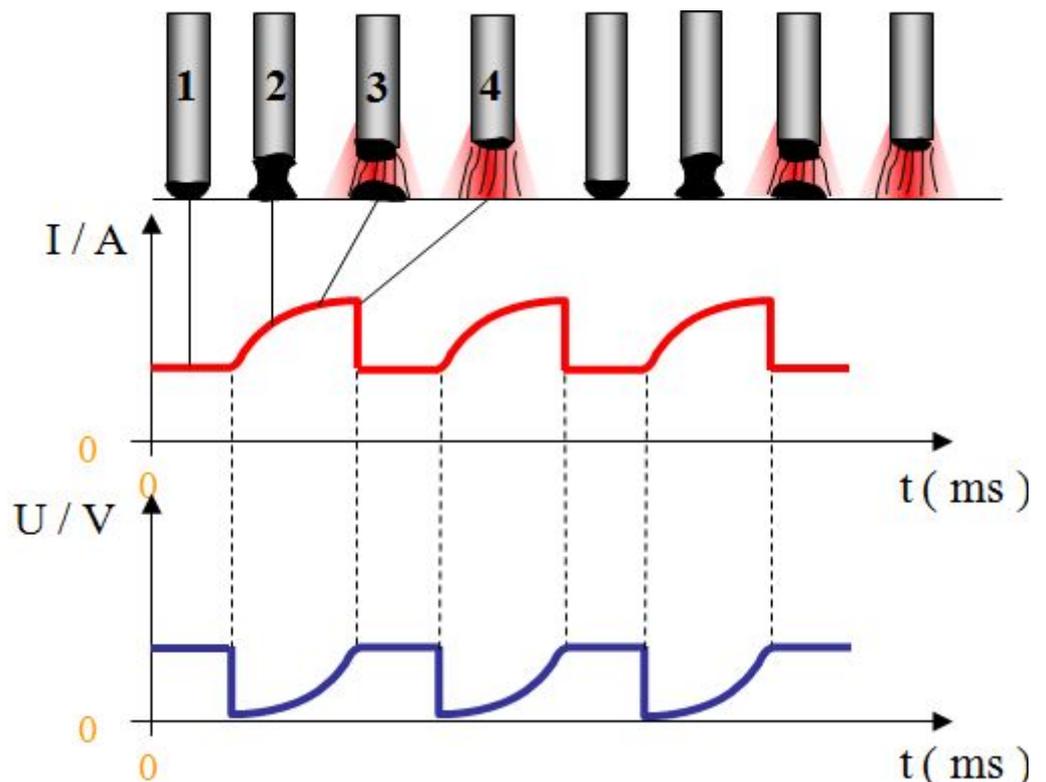
- Le fil est en contact régulier avec le bain de fusion
- Faible énergie de soudage
- Paramètres typiques :  $\pm 100$  à  $200A$  et  $\pm 18$  à  $22V$

#### Inconvénient:

- Risque plus élevé de projections et de collage
- Remédiation : réglage correct de l'inductance

#### Avantage:

- Bonne maîtrise du bain de fusion
- Utile pour :  
le soudage en position  
le soudage des tôles de faible épaisseur



## Arc globulaire

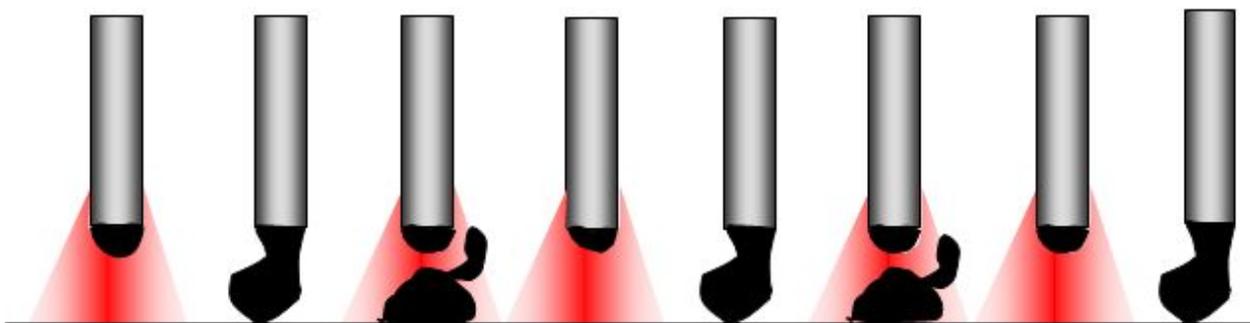
- Gouttes irrégulières et de grande taille ;
- Le fil entre encore en contact avec le bain de fusion ;
- Énergie de soudage relativement faible :  $\pm 200$  à  $250$  A,  $\pm 20$  à  $25$ V.

### Inconvénient :

Très irrégulier, régime de transition des projections de gouttelettes provenant de la soudure.

### Avantage :

Moins de risques d'erreurs qu'en short-arc (court-circuit).



## Spray arc

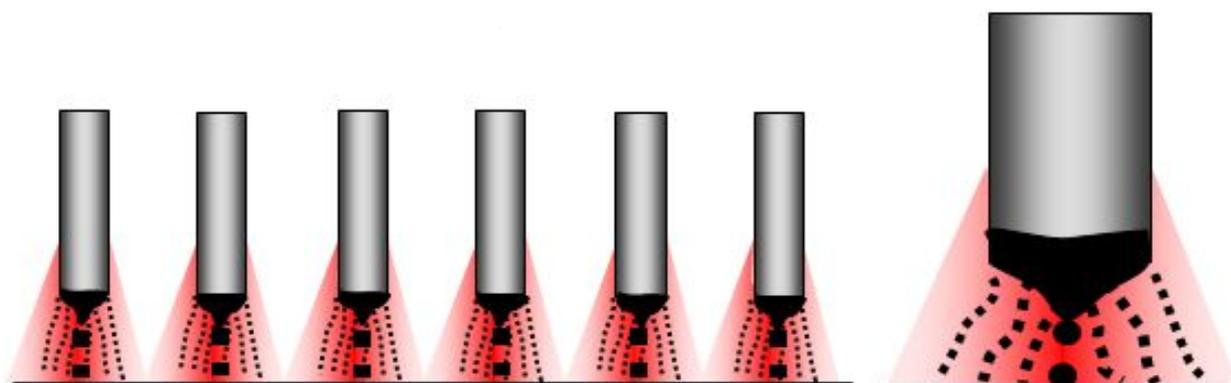
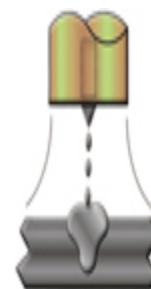
- Transfert de matière du fil vers la pièce : arc de pulvérisation constante (fines gouttelettes) ;
- Énergie de soudage importante :  
 $\pm 300$  à  $400$ A  
 $\pm 28$ - $35$ V

### Inconvénient :

Impossible de souder en position et en pénétration.

### Avantage :

Haut rendement.



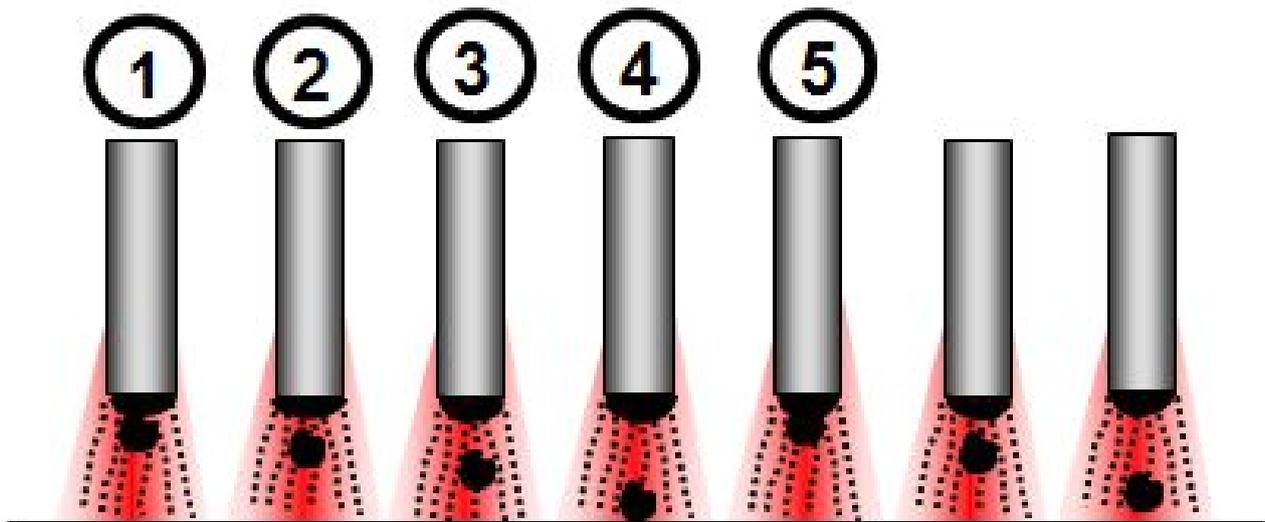
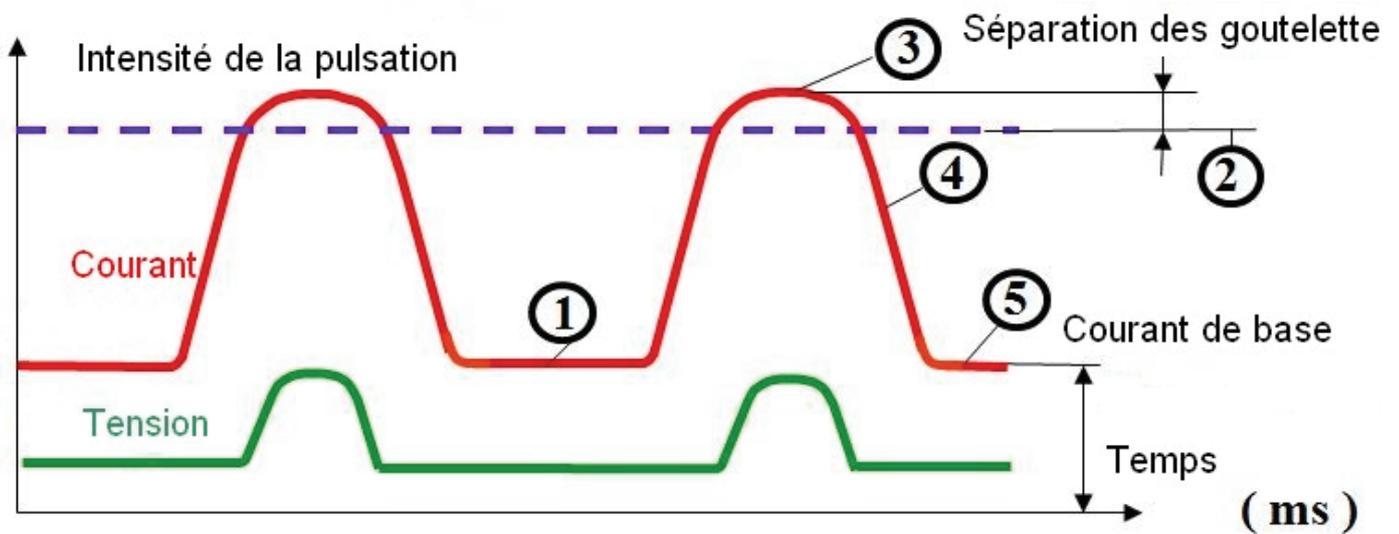
## Arc pulsé

### Avantages :

- Très bon contrôle du bain de la soudure en position de soudage ;
- Diminution des protections ;
- Haut rendement énergétique ;
- Arc plus faible que l'arc de pulvérisation.

### Inconvénient :

- Machine de soudage plus chère.



## Le fil plein

- Tiré d'un fil laminé ;
- Fine couche de cuivre (sur le fil en acier) pour améliorer la conductivité et réduire la friction à la pointe de contact;
- Enroulé sur un rouleau (7 ou 15 kg) ou cylindre (200 - 475 kg) ;
- Emballé dans un sac en plastique et un carton.

### Désavantage :

Impossible pour les métaux à haute résilience.



## Le fil fourré

- Convoyeur- Transit en rouleau
- Coupelle en forme de U
- Ajout de la poudre- Fermeture par des rouleaux
- Laminage pour atteindre le diamètre désiré (recuit)



### Les différentes catégories de fil fourré :

- Basique
- Rutile
- Métallique

- Stockage (date de production)

- Augmentation du taux de dépôt
- Également pour les revêtements (ex.: l'usure)
- Meilleure pénétration (densité de courant 3 à 4 fois plus grande)



## Le gaz

- Protège le bain de soudure
- Réduit le contenu en oxygène
- Influence la forme du cordon et la pénétration

- Gaz utilisés:

mélange Argon / CO<sub>2</sub>

mélanges typiques : 80Ar/20Co<sub>2</sub>- 85Ar/15Co<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub> augmente la pénétration mais aussi le risque de projections.

Argon

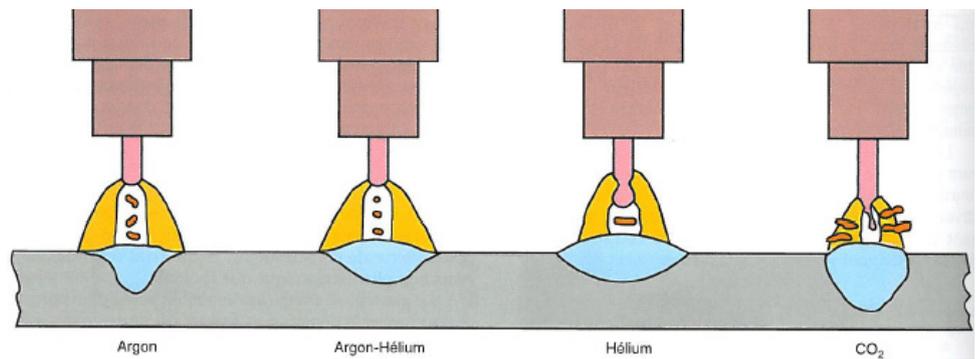
- Pénétration profonde

Hélium

- Soudage large
- Plus de chaleur dans la pièce

CO<sub>2</sub>

- Beaucoup de projections
- Pénétration profonde



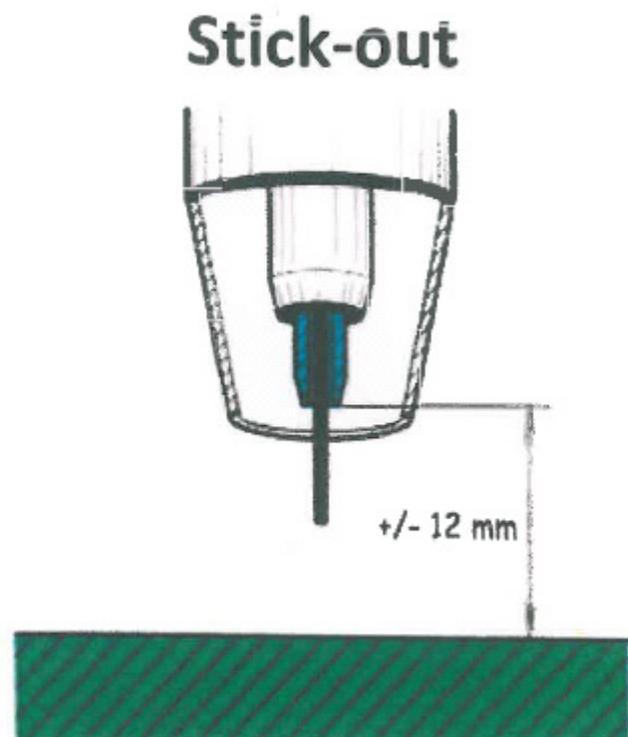
### Débit de gaz

Idéalement, environ 12 litres/min.

Turbulence aspiration d'air dans le bain de soudure.

### Stick-out

Distance tube contact - pièce



## DÉFAUTS DE SOUDAGE

### Classification selon ISO 6520

6 groupes :

- Groupe n° 1 : fissures ;
- Groupe n°2 : cavités ;
- Groupe n°3 : inclusions solides ;
- Groupe n°4 : manque de fusion et de pénétration ;
- Groupe n°5 : défauts de forme et défauts dimensionnels ;
- Groupe n° 6 : défauts divers.

### Quelques exemples de défauts

#### Les cavités

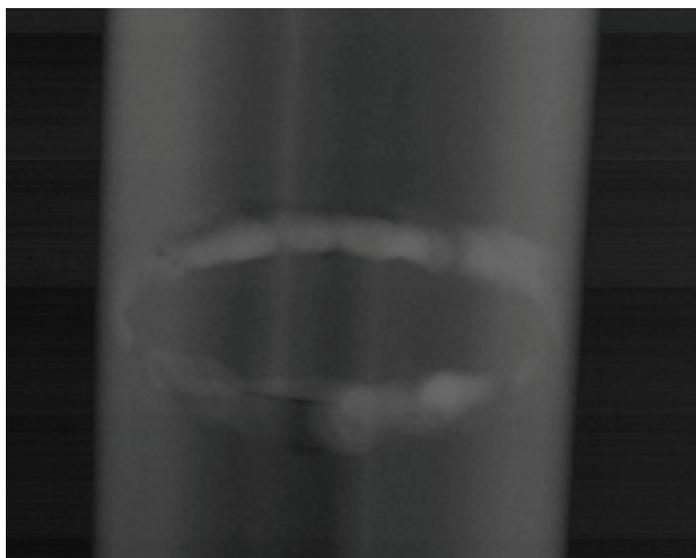
- soufflure

- Sphéroïdale (2011)
- Alignées (2014)
- En nid (2013)
- Vermiculaire (2016)

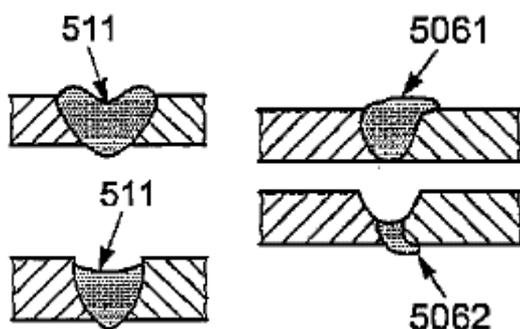


#### Inclusions (30xx)

- De laitier (301x)
- Métallique (304x) ex : tungstène (3041)



#### Manque de pénétration et de fusion



### Quelques exemples de défauts dimensionnels

- Hauteur de la gorge d'un cordon d'angle
  - Gorge excessive (5214)
  - Gorge insuffisante (5213)
- Trou (perforation) (510)
- Manque d'épaisseur (511)
- Retassure à la racine (515)
- Débordement (5061 - la passe terminale, 5062 - la passe de fond)
- Caniveau (501)

## Critères d'acceptation

NEN-EN-ISO 5817

- 3 niveaux de qualité

Seul le niveau B est acceptable pour la qualification des soudeurs

No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t mm	Limits for imperfections for quality levels		
					D	C	B
2.4	2013	Clustered (localized) porosity	The following dimension conditions and limits for imperfections shall be fulfilled. See also Annex A for information.				
			a) Maximum dimension of the summation of the projected area of the imperfection (inclusive of systematic imperfection)	$\geq 0,5$	$\leq 16\%$	$\leq 8\%$	$\leq 4\%$
			b) Maximum dimension for a single pore for — butt welds — fillet welds	$\geq 0,5$	$d \leq 0,4 s$ , but max. 4 mm $d \leq 0,4 a$ , but max. 4 mm	$d \leq 0,3 s$ , but max. 3 mm $d \leq 0,3 a$ , but max. 3 mm	$d \leq 0,2 s$ , but max. 2 mm $d \leq 0,2 a$ , but max. 2 mm

## SÉCURITÉ

### EPI (équipements de protection individuelle)

- casque de soudeur  
casque noir DIN de 11 à 12  
éventuellement avec filtration de l'air et alimentation en air
- vêtements de soudage ininflammables (coton)
- chaussures de sécurité
- gants de soudage
- lunettes de sécurité ou un écran facial (pour le meulage)

### Tableau d'échelon (1) et utilisation recommandée pour le soudage à l'arc et le coupage (des verres teintés)

Procédé de soudage ou techniques connexes	INTENSITÉS DU COURANT EN AMPÈRES																									
	0.5	2.5	10	20	40	80	125	175	225	275	350	450	1	5	15	30	60	100	150	200	250	300	400	500		
Électrodes enrobées	shaded				9	10	11		12			13		14												
MIG sur métaux lourds <sup>2</sup>	shaded						10	11	12			13		14												
MIG sur alliages légers	shaded						10	11	12	13		14		15												
TIG sur tous métaux et alliages	shaded			9	10	11	12	13	14		shaded															
MAG	shaded				10	11	12	13			14		15													
Gougeage ARCAIR	shaded							10	11	12	13	14	15													
Coupage au jet de plasma	shaded							11		12		13														
Soudage plasma	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14		15										

1) Selon les conditions d'utilisation, le numéro d'échelon immédiatement supérieur ou le numéro d'échelon. immédiatement inférieur peuvent être utilisés.

2) L'expression « métaux lourds » couvre les aciers, les aciers alliés, le cuivre et ses alliages, etc.



## Equipement de protection individuelle

50% des accidents touchent les mains et les yeux

**Soyez toujours protégé !**

- Masque à main ou masque de soudage
- Gants de soudage
- Vêtements de soudage et tablier en cuir (ou veste de protection)
- Chaussures de sécurité





# SOUUDAGE

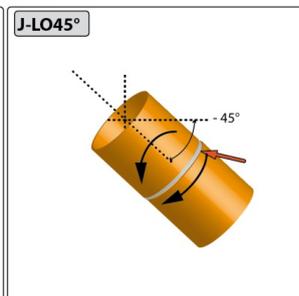
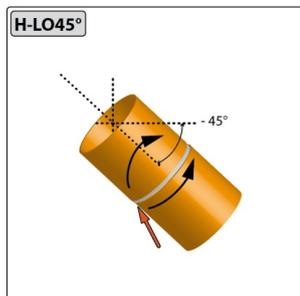
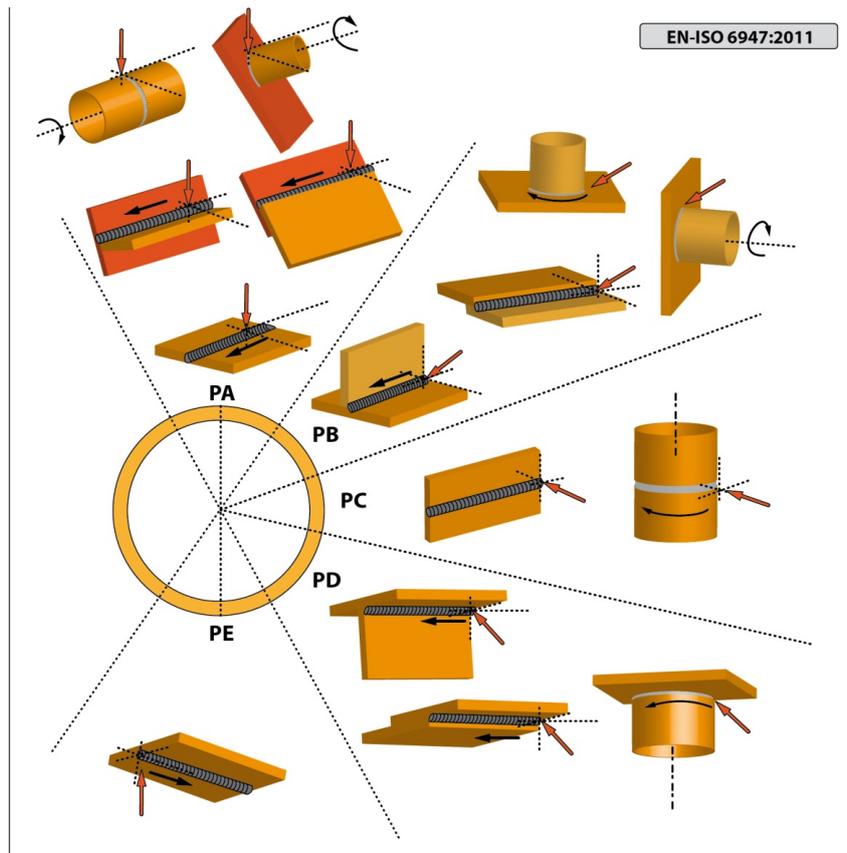
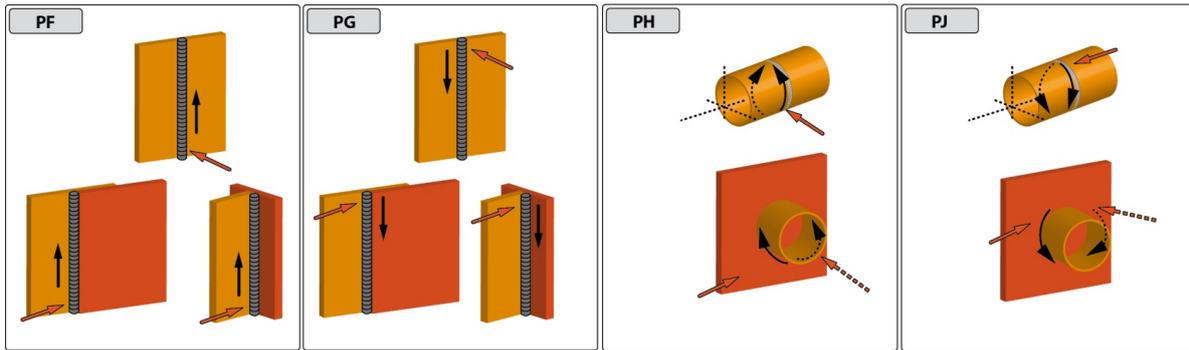
## TIG

# INTRODUCTION

Selon la norme ISO 4063 (nomenclature des procédés de soudage) : 141  
 Soudage TIG : soudage à l'arc sous protection de gaz inerte  
 avec électrode de tungstène



## Positions de soudage



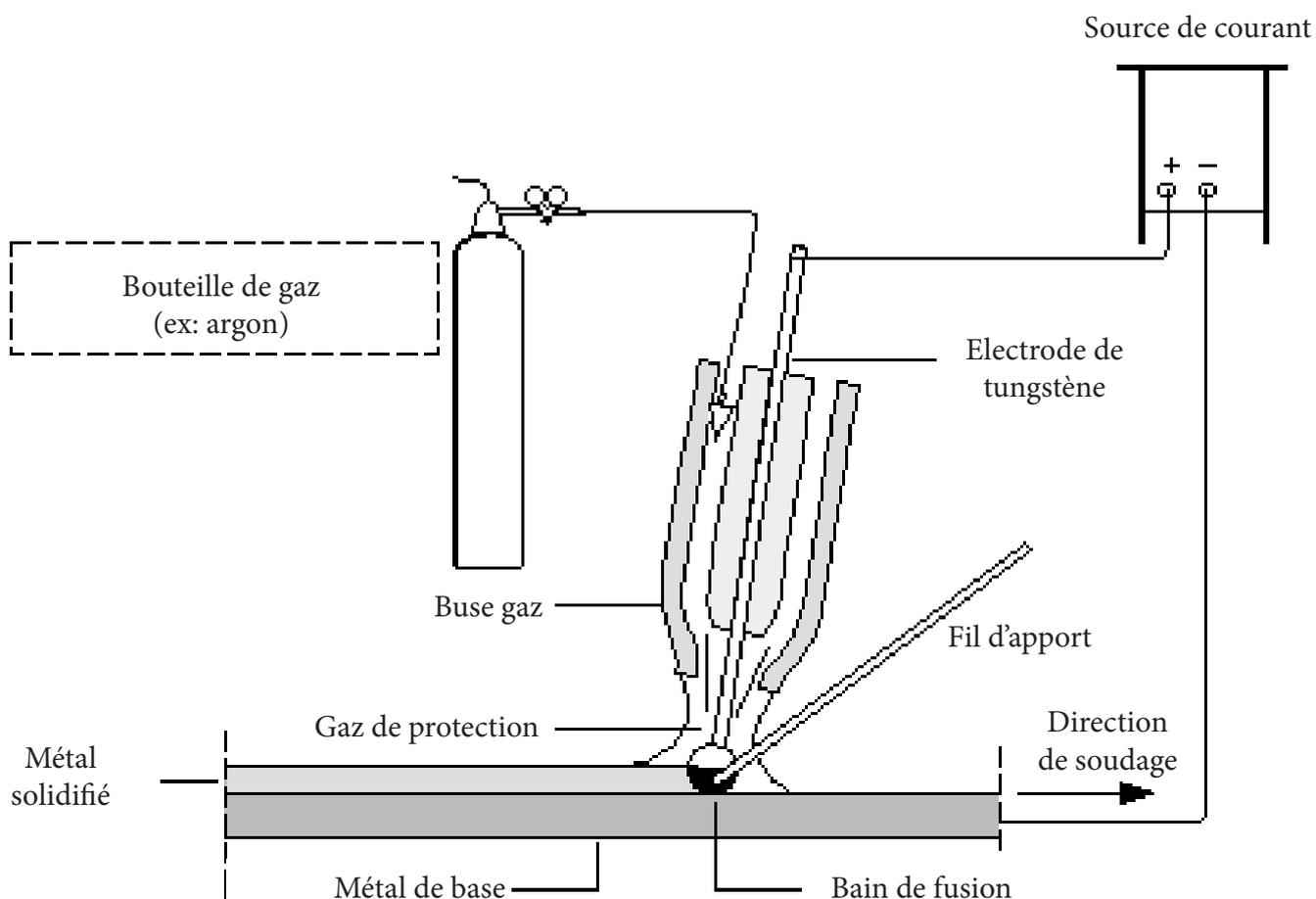
## NBN EN 287-1/ISO 9606-1

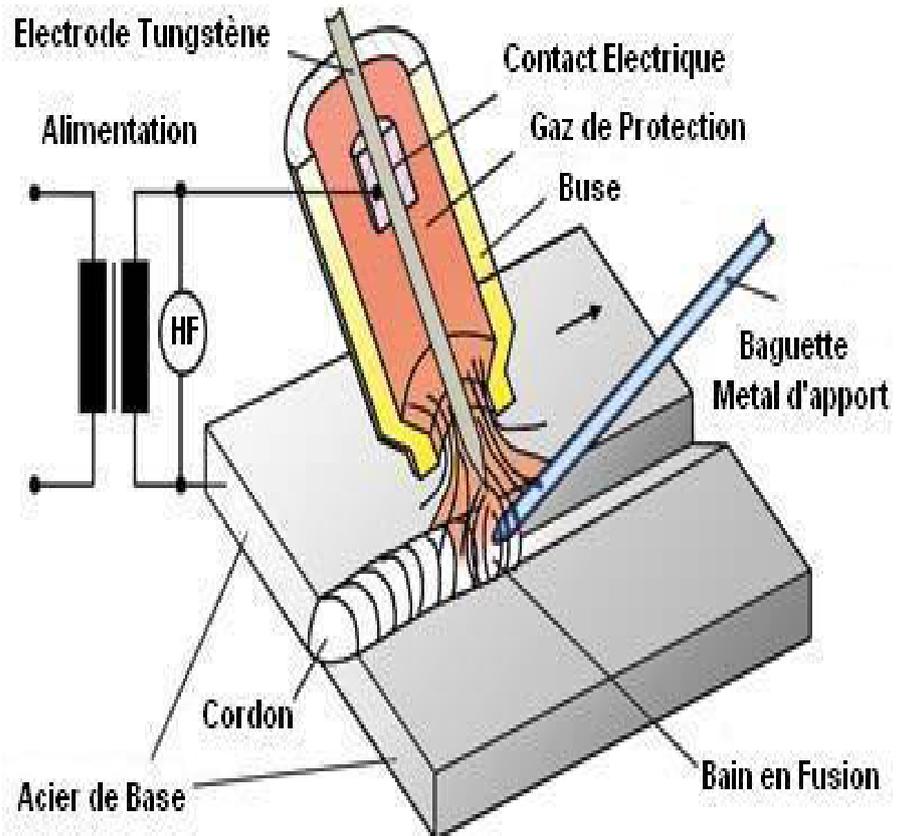
- ISO 9606-1 : Norme internationale pour la qualification des soudeurs
- 287-1 : Norme européenne

### 141 P+T FW 1.1 s t 6/3.9 D 60.3 PH ml

141	= TIG
P	= Tôle (anglais : plate)
T	= Tube
FW	= Soudure d'angle (anglais : fillet weld)
1.1	= Groupe de métaux de base (acier)
S	= Fil nu
t	= Épaisseur
D	= Diamètre de tube
PH	= Position tube montante
MI	= Multi-couche

## PRINCIPE





### Avantages du soudage TIG

- Soudure de qualité ;
- Pas de projections ;
- Avec ou sans métal d'apport ;
- Excellent contrôle de la pénétration de la soudure ;
- Sources de courant à coût modéré ;
- Contrôle précis des variables de soudage ;
- Contrôle indépendant de la source de chaleur et de l'apport de métal ;
- Amélioration du mouillage ;
- Pénétration plus large en racine ;
- Toutes positions ;
- Meilleure compacité ;
- Meilleure pénétration entre les passes ;
- Pas de laitier, pas de projections, arc très stable ;
- Avec ou sans métal d'apport ;
- Applicable à tous les métaux ;
- Soudure lisse.

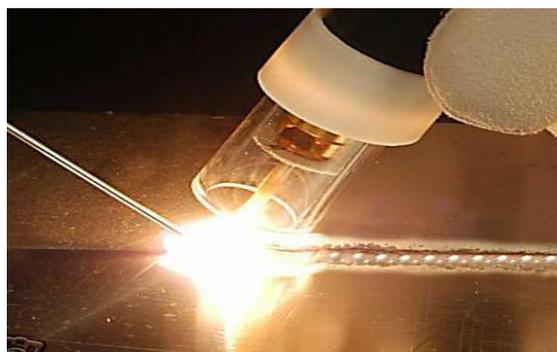
### Inconvénients

- Vitesse de dépôt faible ;
- Dexterité requise ;
- Moins économique ;
- Difficile de protéger la soudure dans les environnements extérieurs ;
- Inclusions de tungstène ;
- Coupure ou soufflage de l'arc.

## ÉQUIPEMENT

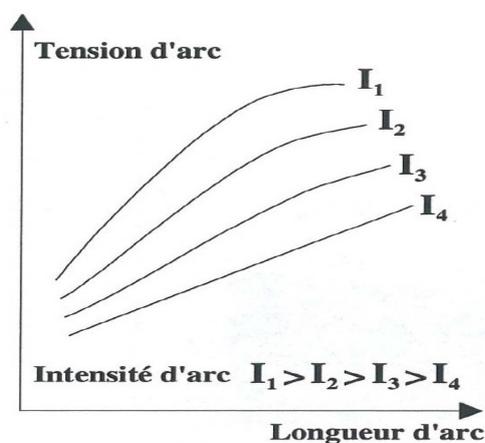
### Différentes sortes de postes à souder TIG

- 1 phase et neutre (230 volts)
- 3 phases (400 V)
  - CC (DC) (uniquement pour l'acier, pas pour Al et Mg)
  - AC
  - AC /CC (DC)

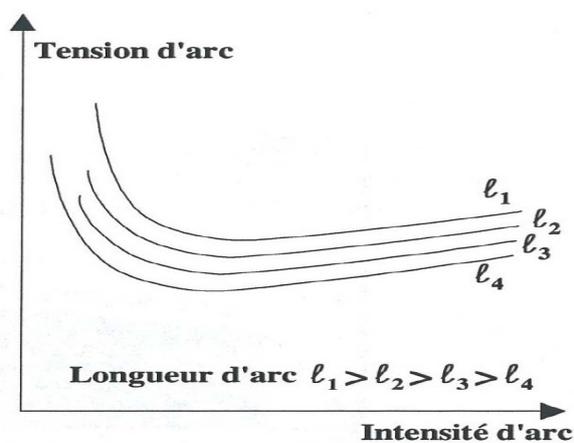


## PARAMÈTRES DE SOUDAGE

I-U



Pour une intensité de courant déterminée, la tension est proportionnelle à la longueur d'arc.



Pour une longueur d'arc déterminée, la tension augmente proportionnellement à l'intensité du courant.

## Allumer l'arc

L'allumage de l'arc : 4 procédés différents

### 1. Contact-arc

Inconvénients : un courant très élevé traverse la pointe de tungstène, des résidus de celle-ci seront mélangés dans le bain de fusion avec, pour conséquence, des défauts de soudage.

### 2. Contact Lift-arc

Un courant très faible traverse la pointe de tungstène juste après l'amorçage au contact, et ce durant une fraction de seconde. Cette technique existe sur les nouvelles sources de soudage TIG.

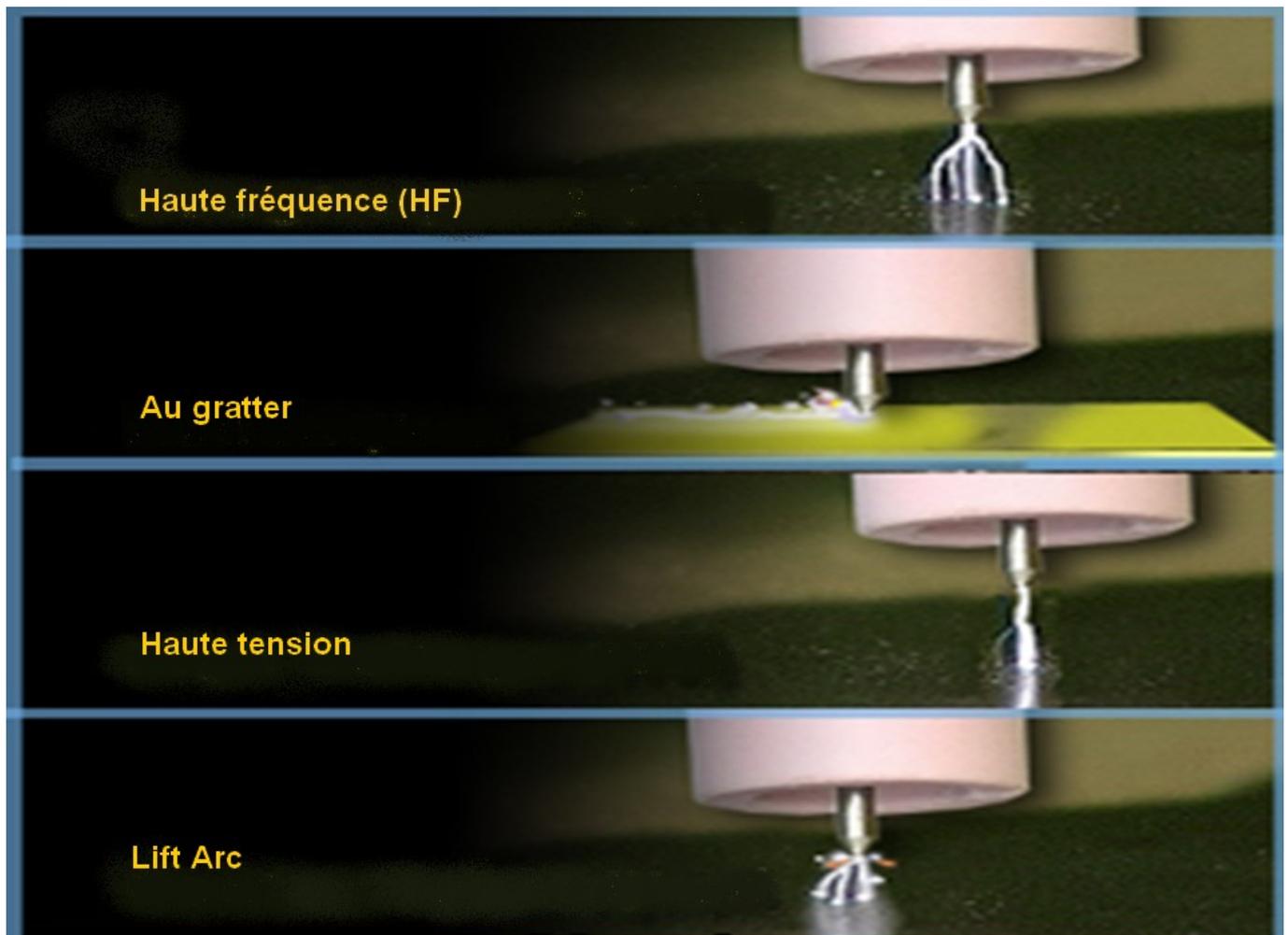
### 3. Démarrage haute fréquence

Inconvénients du générateur HF : influence électromagnétique très importante dans tous les appareils électroniques (ex. : radio, PC,...).

Des perturbations électromagnétiques se propagent dans l'air et dans les câbles électriques.

### 4. Générateur d'impulsions

Donne une haute-tension au démarrage (à vide).



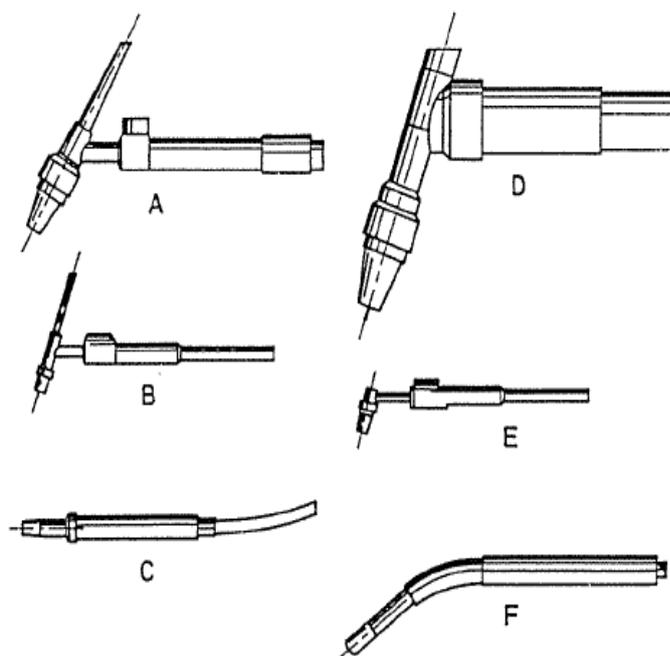
## La torche

Les torches peuvent être refroidies :

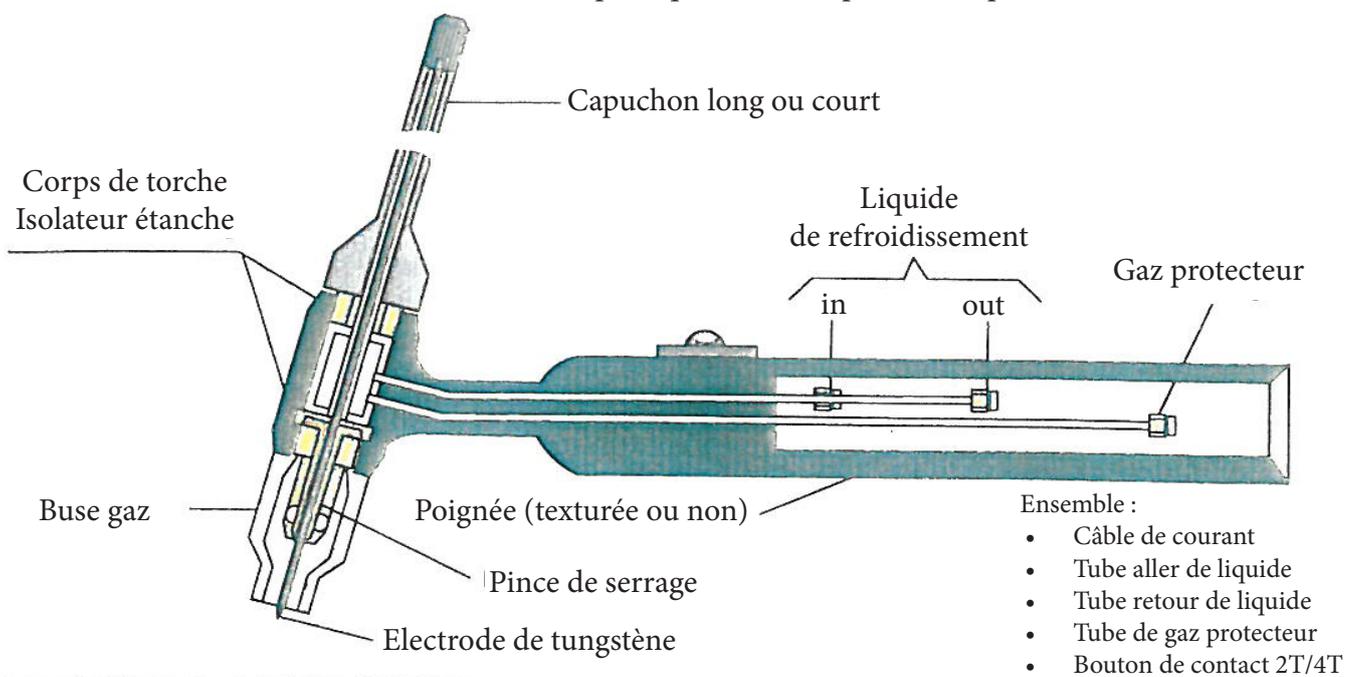
- par de l'air
- par du liquide

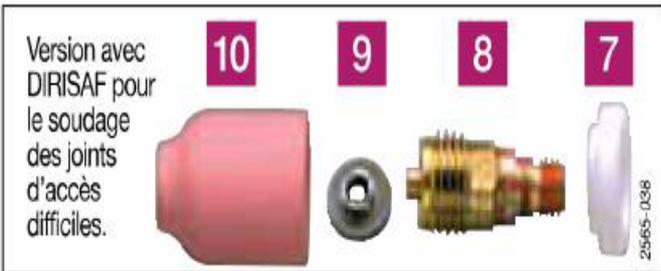
Les torches peuvent être :

- automatiques
- petites pour les travaux spéciaux



Torche refroidie par air de 5 amp. à 250 amp. max.  
 Torche refroidie par liquide de 5 amp. à 450 amp. max.





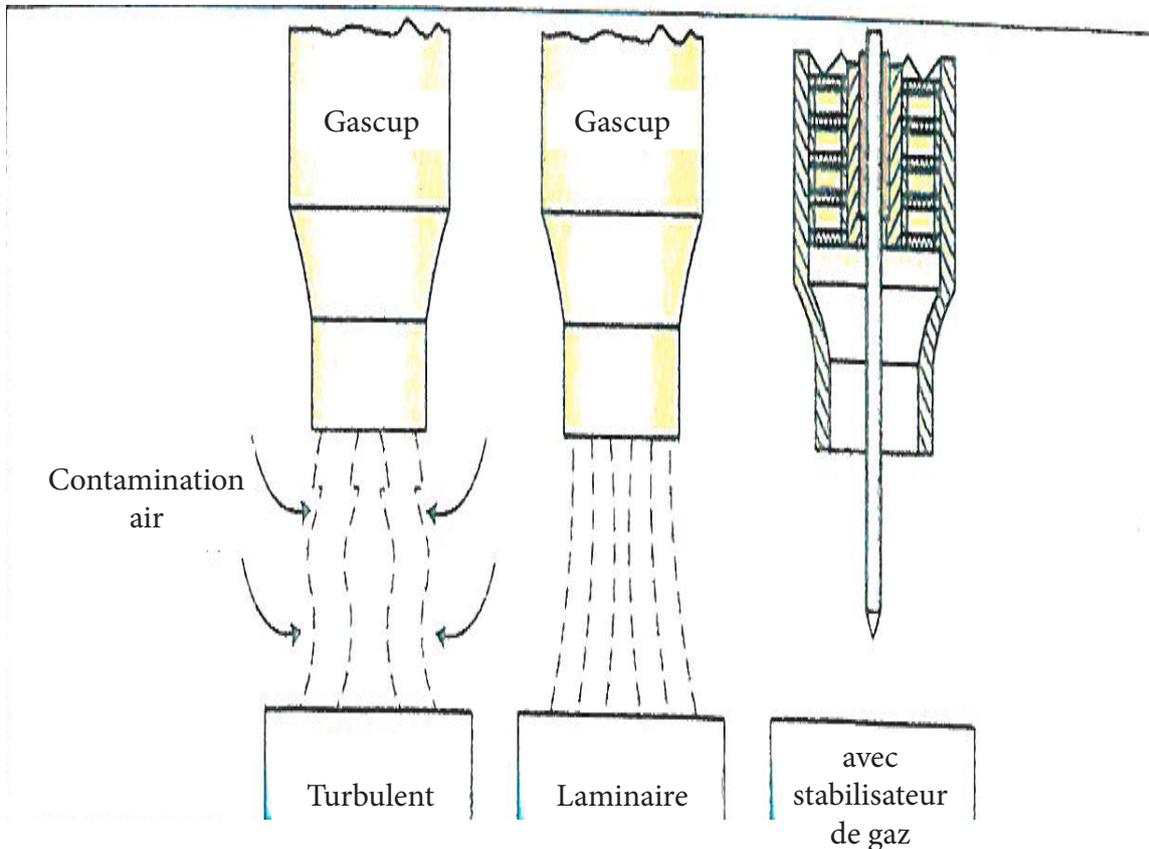
- Lors d'une commande de la pièce "siège de pince DIRISAF" **8** elle est livrée avec un filtre **9** et une bague d'étanchéité DIRISAF **7**
- Lors d'une commande de la bague d'étanchéité **7** ou du filtre DIRISAF **9** ils sont livrés seul.

**PROTIG 40 W**

A - écrou isolant 0377-1310 W 000 306 452  
 B - joint 0377-1307 W 000 306 453  
 C - répartiteur eau 0377-1308 W 000 306 454

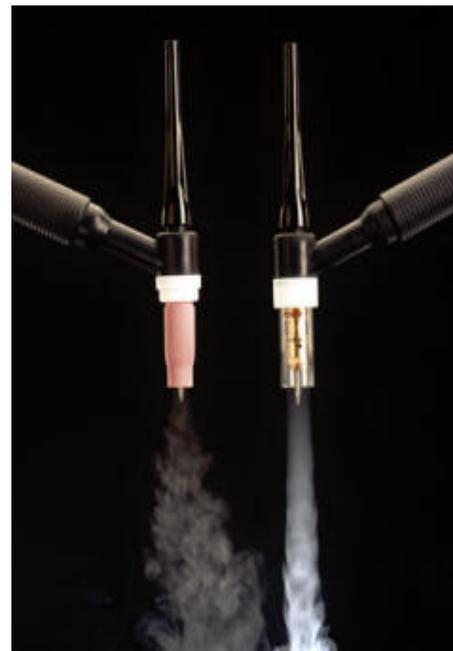
**6 et 10 Buses : choix du diamètre**

Intensité de soudage (A)	70	70	120	200	350
Diamètre (mm)	6	8	10	12	15

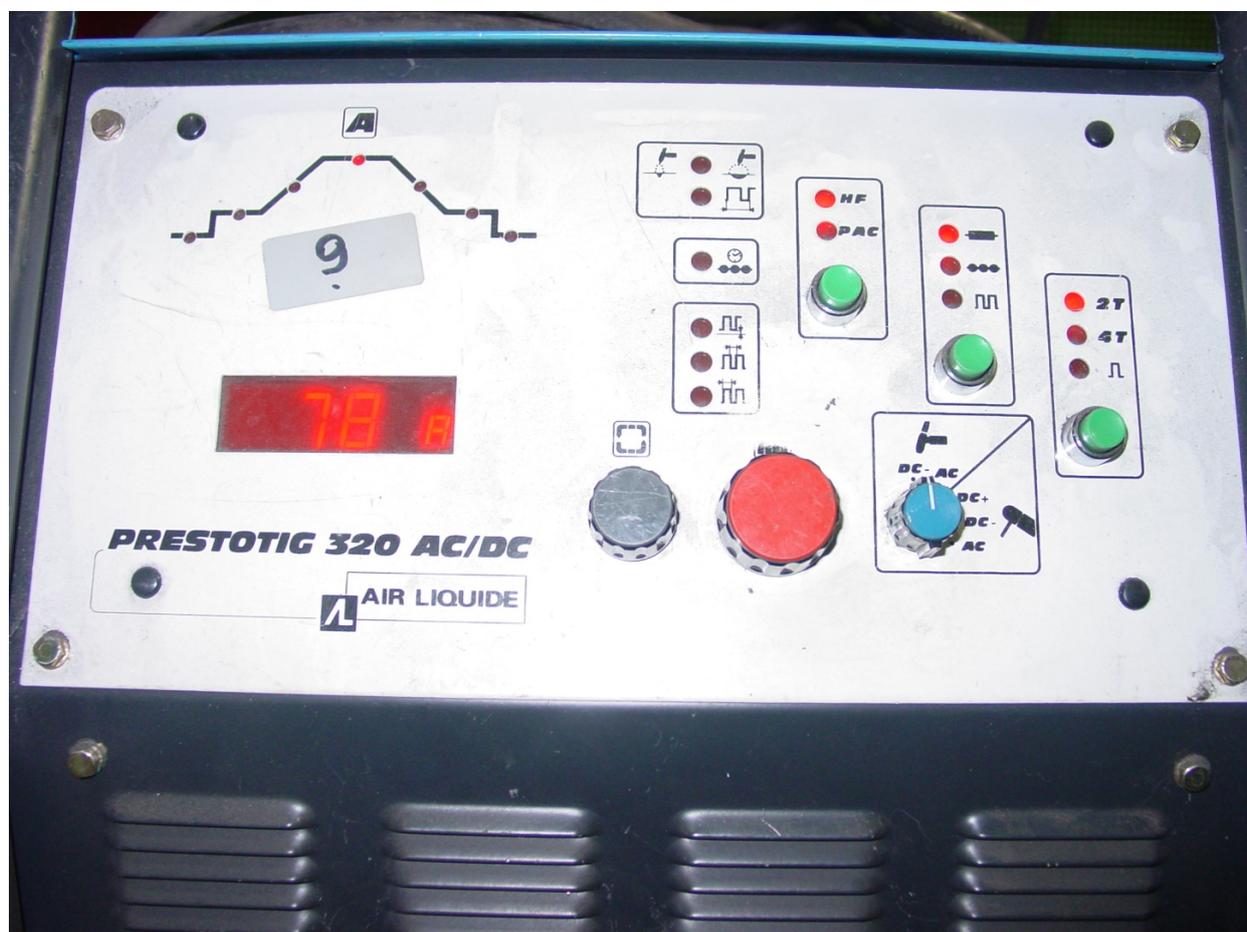


## La lentille

- Fonction: protection du gaz à flux laminaire ;
- Buse à gaz avec lentille adaptée au diamètre de l'électrode ;
- La distance électrode/pièce peut varier de 15 à 20 mm ;
- Éviter les courants d'air ! Un vent de 2m/sec (7.2 km/h) est déjà néfaste ;
- Buse contact : diam. int. = 4 x dia de l'électrode.



## Les réglages de base



## Autres réglages

- Pré-gaz
- Réglage de l'ampérage
- Deux ou quatre temps
- Soudage par points
- Réglage de la balance
- Fréquence
- Polarité



### 1 PREGAZ : (secondes)

Ce réglage permet d'envoyer du gaz vers l'électrode et la pièce à souder, avant que l'arc de soudage ne s'établisse. Cette phase a pour but d'éviter l'oxydation de la pointe de l'électrode tout en ionisant l'atmosphère de soudage, nécessaire au jaillissement optimal et au maintien de l'arc.

### 2 AMORCAGE ET MONTEE EN INTENSITE : (secondes)

Cette phase offre la possibilité de faire varier le temps de montée en intensité. Ce cycle sera employé pour le soudage des métaux fragiles nécessitant un préchauffage.

### 3 INTENSITE DE SOUDAGE SOUHAITEE : (Ampères)

Elle est liée à la position de soudage, à la préparation, à la nature du métal à souder et à son épaisseur.

### 4 EVANOUISSEMENT DE L'ARC : (Secondes)

Ce réglage permet de faire varier le temps de descente de l'intensité, avant l'évanouissement de l'arc. Cela permet :

- D'éliminer le risque de piqûre ou retassure du cratère de fin de cordon, dû à un refroidissement trop violent du bain de fusion.
- De jouer sur l'intensité de travail, par impulsions sur la commande de la torche, en cours de soudage. (pulsations manuelles)

### 5 POST GAZ : (secondes)

Ce réglage permet de maintenir la protection gazeuse de l'électrode et du cordon solidifié ; sensibles à l'atmosphère oxydante de l'air, pendant la phase de refroidissement qui suit l'extinction de l'arc.

## Courant et polarité

### Électrode négative - :

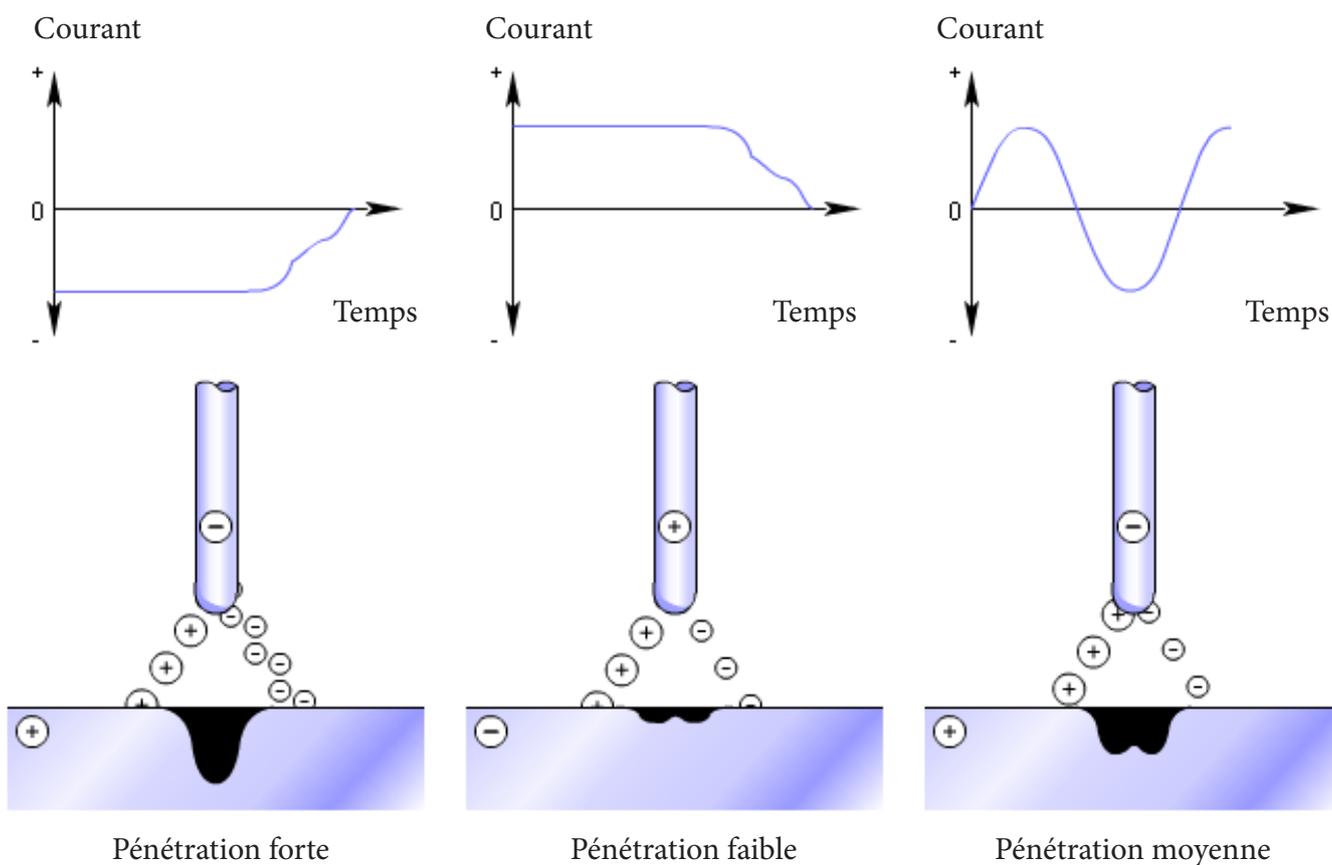
- Très bonne pénétration
- Bonne stabilité et tension d'arc

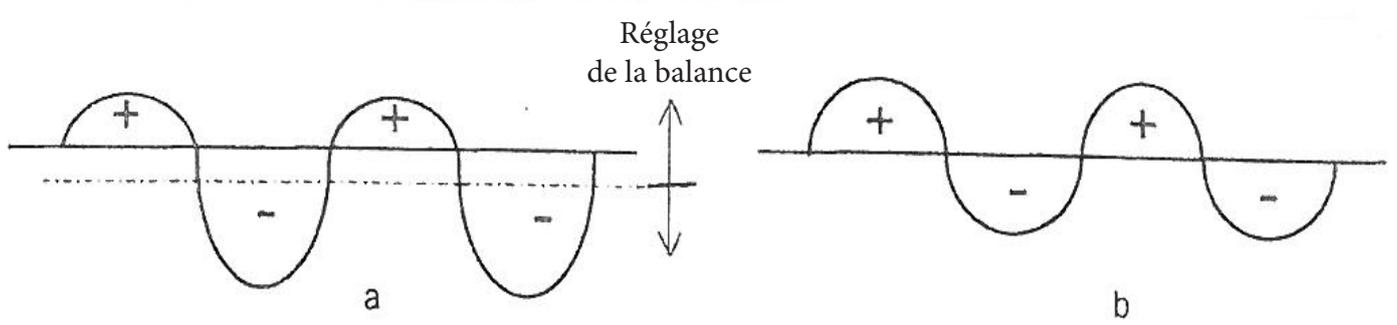
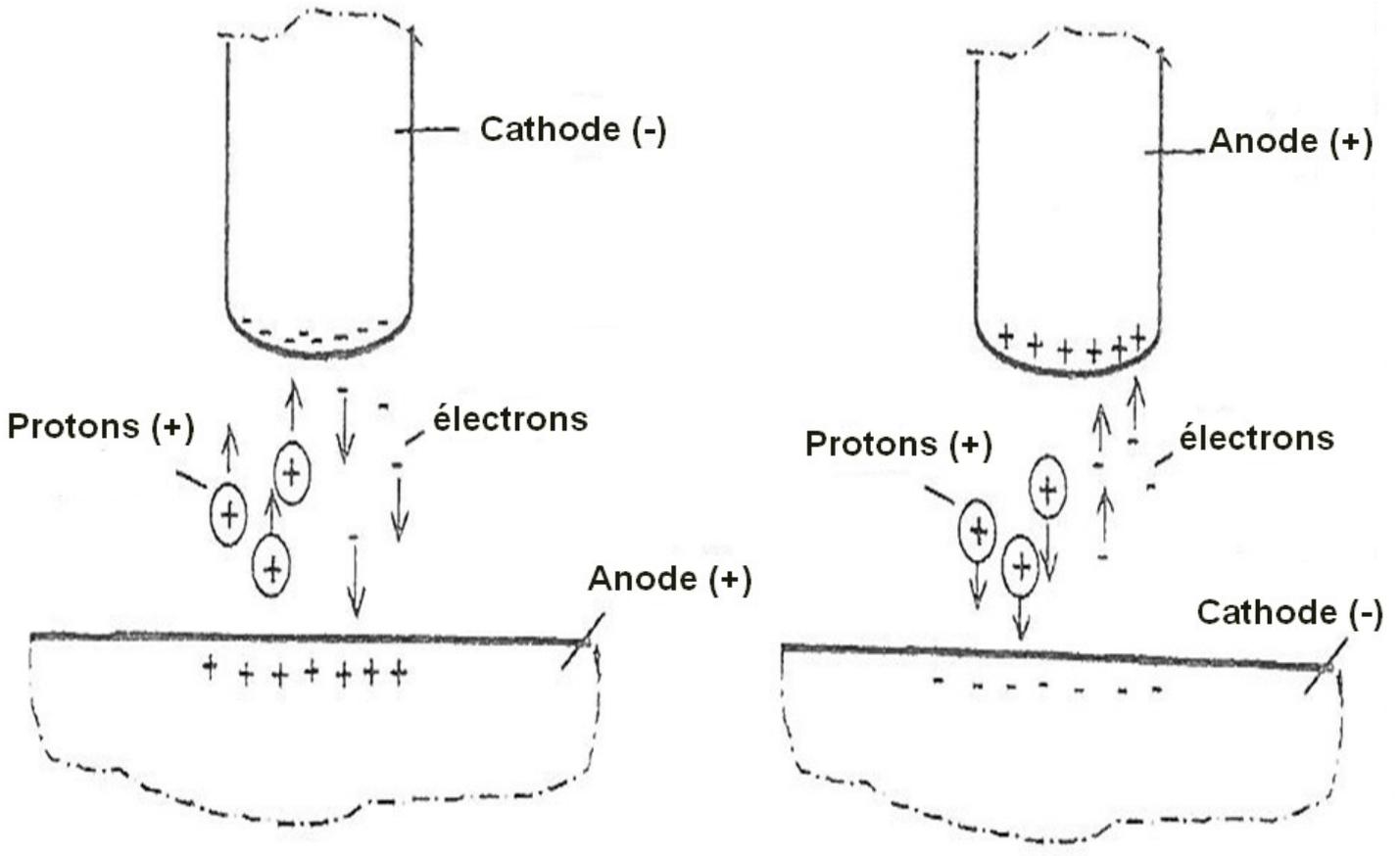
### Électrode positive + (idéal pour les revêtements) :

- Arc très instable
- Accumulation de chaleur à l'électrode (limite de courant)
- Large pénétration peu profonde
- Bonne élimination de l'oxyde (Alu)

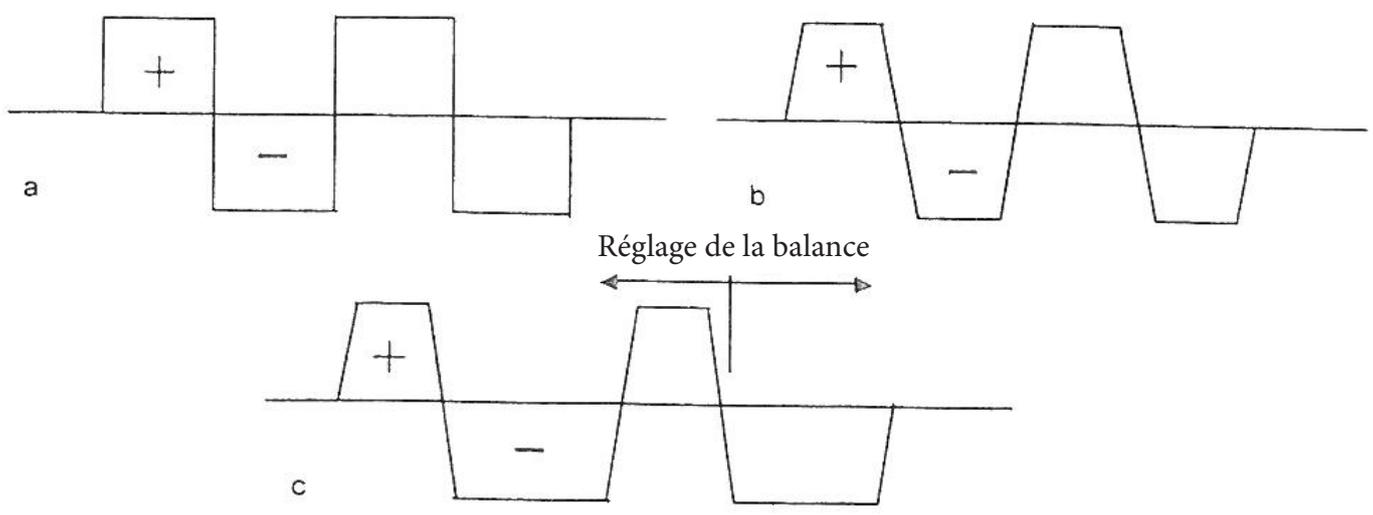
### Alternative ~ :

- Nécessité de stabilisation de l'arc (HF)
- Nécessaire pour Alu/Mg...
- Pointe de l'électrode = arrondie



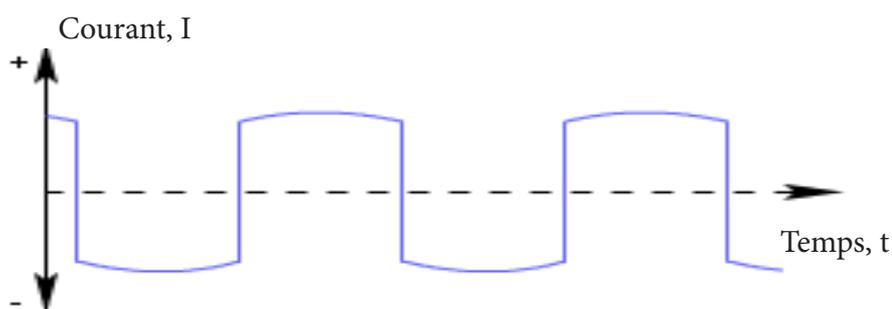
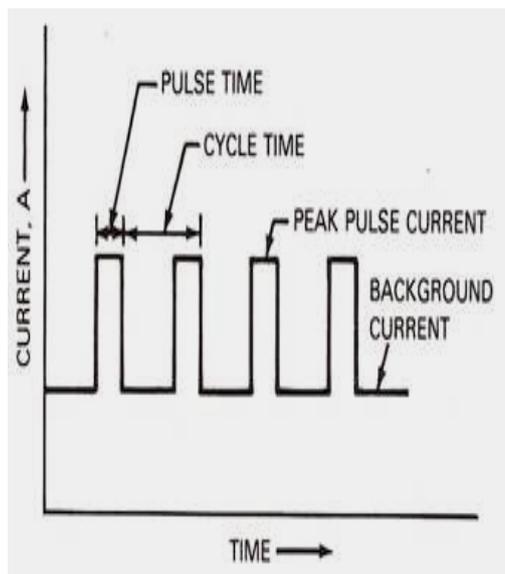


Principe du réglage de la balance  
 Courant alternatif: les périodes positives et négatives ne sont pas égales  
 Courant alternatif: les périodes positives et négatives sont égales

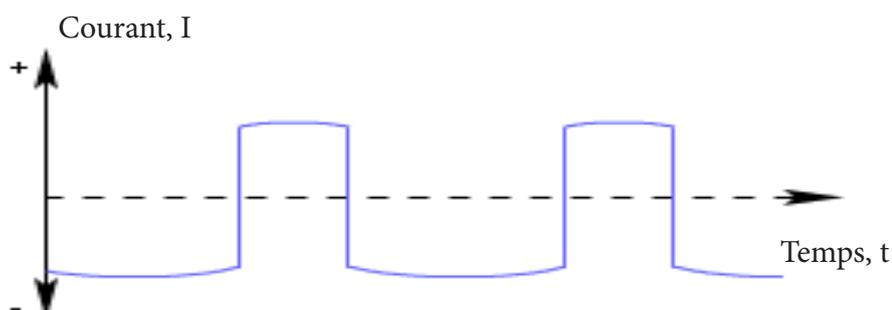


Réglage de la balance sur les machines de soudage moderne (INVERTEUR)

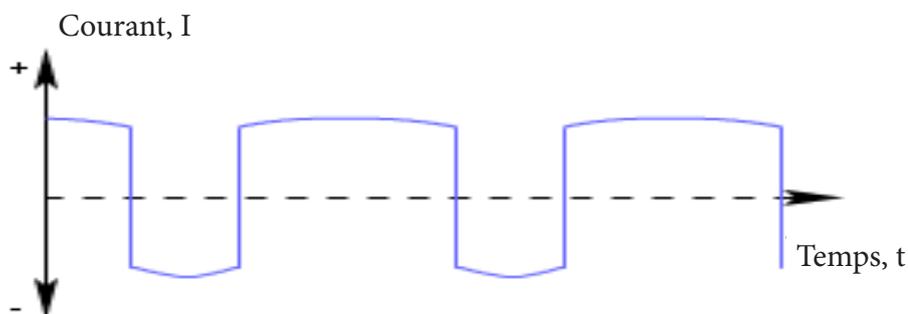
## Soudage TIG - Pulsé



Courbe du courant alternatif.

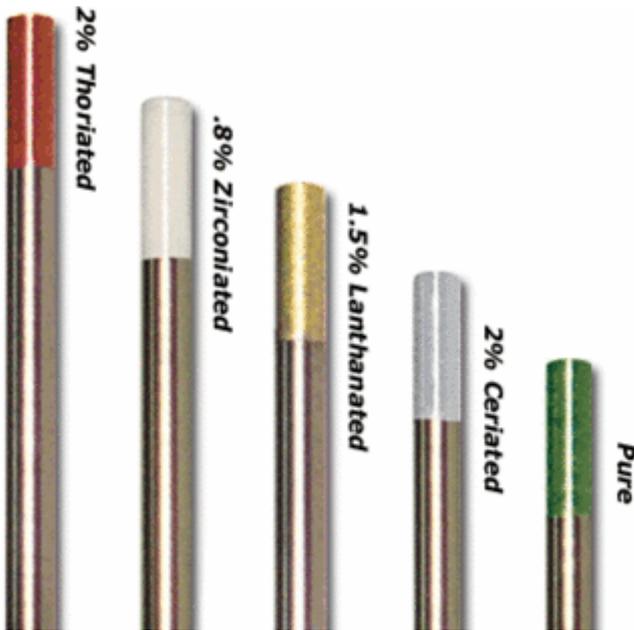


Onde c.a. complètement redressée avec un courant nul lorsque l'électrode est positive. Onde non équilibrée.



Onde équilibrée.

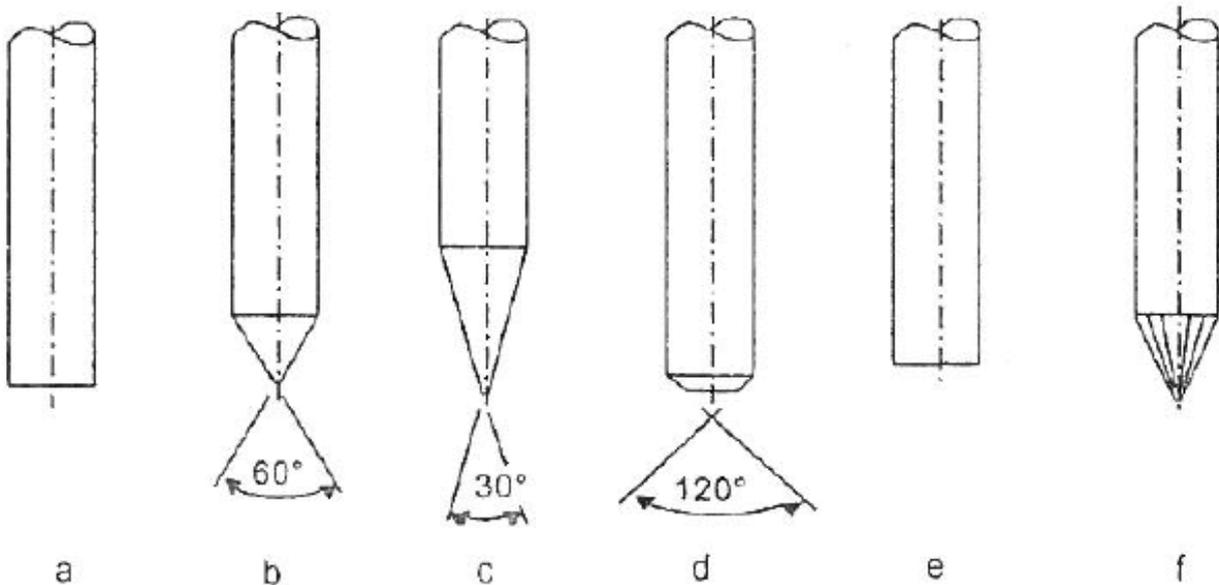
## Types et tailles des électrodes



ISO Class	ISO Color	AWS Class	AWS Color	Alloy
WP	Green	EWP	Green	None
WC20	Gray	EWCe-2	Orange	~2% $CeO_2$
WL15	Gold	EWLa-1.5	Gold	~1.5% $La_2O_3$
WL20	Sky-blue	EWLa-2	Blue	~2% $La_2O_3$
WT20	Red	EWTh-2	Red	~2% $ThO_2$
WY20	Blue			~2% $Y_2O_3$
Z8	White			~0.8% $ZrO_2$

Tailles : 0,5 / 1,0 / 1,6 / 2,4 / 3,2 / 4,0 / 4,8 / 6,4 mm

## Pointes d'électrodes de tungstène



- a) = Droit
- b) et c) = Électrode reliée au pôle négatif
- d) et e) = Électrode reliée au courant alternatif
- f) = Façon d'affûter des pointes ! Les stries s'alignent dans le sens de la longueur !

## Gaz de protection

### Argon

Plus lourd que l'air, tombe comme une couverture sur la fusion ;

Pureté : min 4.0 (pur à 99,99 %) ;

Relativement peu coûteux (par rapport à l'hélium) ;

Arc stable, démarrage facile.

### Hélium

Plus léger que l'air (augmentation du débit : 1,5 à 3 x ar) ;

Énergie supérieure d'ionisation : tension d'arc supérieure (=> une pénétration plus importante et une plus grande vitesse de soudage) ;

Augmentation de la conductivité thermique (petit arc) ;

Plus cher que l'argon ;

Difficile à enflammer (soudage manuel pourcentage d'hélium limité).

Gaz et mélanges	Métaux soudables	Attention
Argon	Tous métaux	Pas coûteux, arc stable, bonnes propriétés.
Hélium	Cuivre, aluminium et leurs alliages.	Cher, consommation élevée, pas d'arc stable, pénétration profonde, grande vitesse, ampérage important pour l'Alu avec électrode au négatif.
75 % Ar + 25 % He 70 % Ar + 30 % He	Nickel et ses alliages.	Bonnes propriétés, pénétration, arc stable.
50 % Ar + 50 % He 25 % Ar + 75 % He 30 % Ar + 70 % He 70 % Ar + 30 % He	Al – alliages Al - Alliages Cu – alliages de Cu	Mauvaises propriétés, arc plus chaud.
Ar + 2% H <sub>2</sub> 30 % Ar + 70 % He	Inox Cuivre	Arc concentré avec l'Ar + 5 % H <sub>2</sub> employé pour travaux spéciaux.

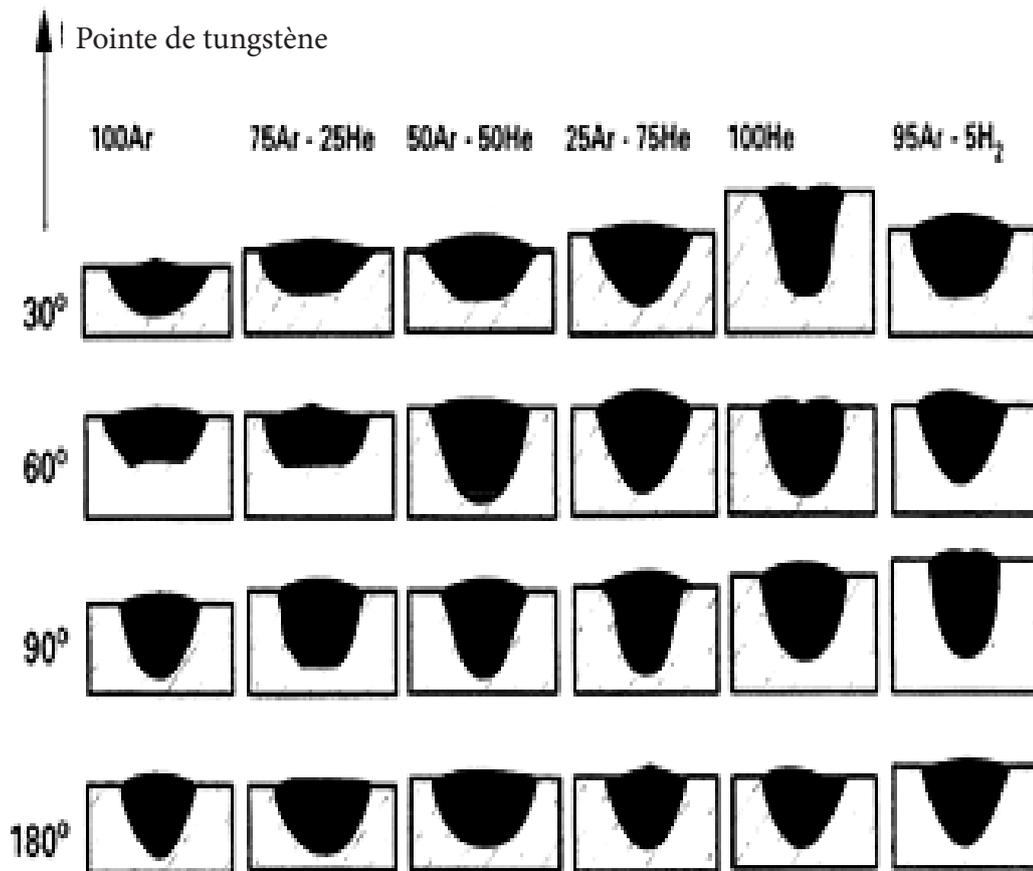
## Débit

Débit compris entre 5 et 18 litres par minute.

Le débit varie en fonction de :

- Matière à souder
- Géométrie et diamètre de la buse céramique
- Type de gaz
- Forme du cordon (V; I; L; T,...)

Diamètre d'électrode * en mm	Gaz-cup nr.	Diamètre intérieur Gaz-cup mm	Quantité nécessaire Gaz protecteur (litre/min.)
1,0	4 / 5	6,5 / 8,0	5 - 6
1,6	4 / 5 / 6	6,5 / 8,0 / 9,5	6 - 7
2,4	6 / 7	9,5 / 11	7 - 8
3,2	7 / 8	11 / 12,5	8 - 10
4,0	10	16	10 - 12
•Électrode de type •WC 20			

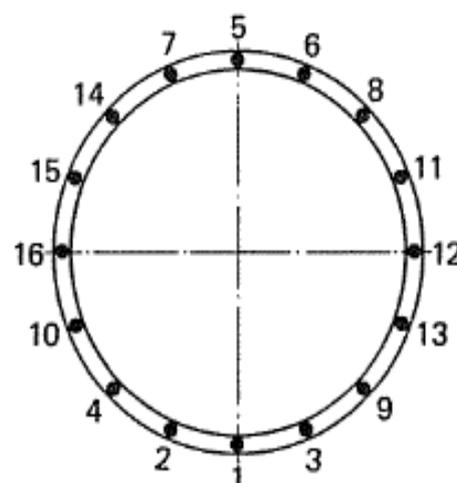
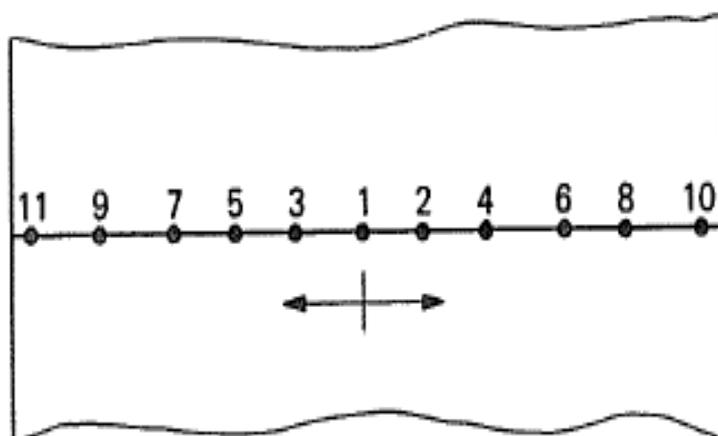


Profondeur de pénétration pour le soudage de l'inox ( $I = \pm 200$  A) en fonction du mélange de gaz et de la pointe de tungstène.

Remarque : plus l'angle de la pointe de tungstène est grand, plus le bain de fusion est large.

### Le pointage pour l'acier de construction

- Taille des points : 2 x épaisseur de la tôle
- Espacement des points : 20 x épaisseur de la tôle
- Si le préchauffage est prescrit, il est nécessaire de préchauffer avant de pointer



## DÉFAUTS DE SOUDAGE

### Classification selon ISO 6520

6 groupes :

- Groupe n° 1 : fissures ;
- Groupe n°2 : cavités ;
- Groupe n°3 : inclusions solides ;
- Groupe n°4 : manque de fusion et de pénétration ;
- Groupe n°5 : défauts de forme et défauts dimensionnels ;
- Groupe n° 6 : défauts divers.

### Quelques exemples de défauts

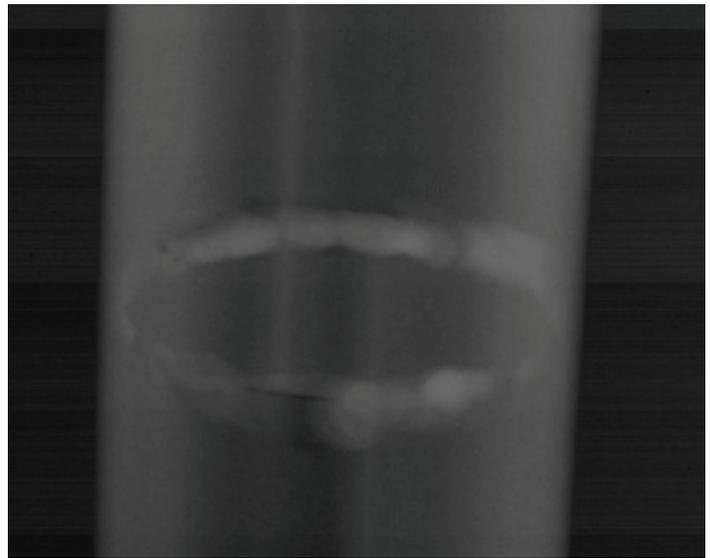
#### Les cavités

- soufflure
  - Sphéroïdale (2011)
  - Alignées (2014)
  - En nid (2013)
  - Vermiculaire (2016)

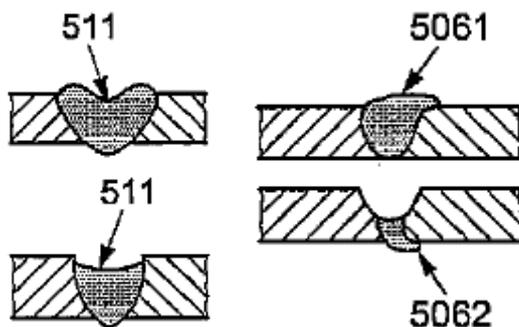


#### Inclusions (30xx)

- De laitier (301x)
- Métallique (304x) ex : tungstène (3041)



#### Manque de pénétration et de fusion



### Quelques exemples de défauts dimensionnels

- Hauteur de la gorge d'un cordon d'angle
  - Gorge excessive (5214)
  - Gorge insuffisante (5213)
- Trou (perforation) (510)
- Manque d'épaisseur (511)
- Retassure à la racine (515)
- Débordement (5061 - la passe terminale, 5062 - la passe de fond)
- Caniveau (501)

# SÉCURITÉ

Tableau d'échelon (1) et utilisation recommandée pour le soudage à l'arc et le coupage (des verres teintés)

Procédé de soudage ou techniques connexes	INTENSITÉS DU COURANT EN AMPÈRES																							
	0.5	2.5	10	20	40	80	125	175	225	275	350	450	0.5	2.5	10	20	40	80	125	175	225	275	350	450
Électrodes enrobées	hatched				9	10	11			12			13			14								
MIG sur métaux lourds <sup>2</sup>	hatched				10			11	12			13			14									
MIG sur alliages légers	hatched				10			11	12	13		14		15										
TIG sur tous métaux et alliages	hatched			9	10	11	12	13	14		hatched													
MAG	hatched				10	11	12	13			14		15											
Gougeage ARCAIR	hatched				10			11	12	13	14	15												
Coupage au jet de plasma	hatched				11			12			13			hatched										
Soudage plasma	2.5	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		14		15								

1) Selon les conditions d'utilisation, le numéro d'échelon immédiatement supérieur ou le numéro d'échelon, immédiatement inférieur peuvent être utilisés.  
 2) L'expression « métaux lourds » couvre les aciers, les aciers alliés, le cuivre et ses alliages, etc.



### Équipement de protection individuelle

50% des accidents touchent les mains et les yeux

**Soyez toujours protégé !**

- Masque à main ou masque de soudage
- Gants de soudage
- Vêtements de soudage et tablier en cuir (ou veste de protection)



IFPM est une initiative de



[WWW.IFPM.BE](http://WWW.IFPM.BE) - [WWW.TECHNIOS.BE](http://WWW.TECHNIOS.BE)

