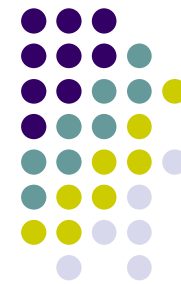


1.1 INTRODUCTION GENERALE



Le soudage



- Organisation mondiale

IIW

Comités

référentiel formation

IWP

IWS

IWT

IWE

- Organisation française

AFS



Historique

- Pendant des millénaires , assemblage par forgeage
- Début 20° siècle: utilisation de l'électricité
 - Soudage par résistance et arc
- 1904: Brevet électrode enrobée (suédois Oskar Kjellberg)
- Même époque: flamme oxy-acétylénique
- Fin des années 30: nouveaux procédés (AS)
- Même époque métier de soudeur (CAP...)
- Seconde guerre mondiale (TIG)
- Debut années 50: MIG MAG
- 1958 : soudage HDE FE
- Année 60-70 : évolutions des procédés
- Années 2000: Electronique de puissance



GENERALITES

l'opération de soudage

Les procédés d'assemblages : soudage ; collage ; boulonnage

Le soudage a permis la rapidité

L'objectif du soudage : continuité physique, chimique, c'est à dire avoir un matériau de même nature.

Homogénéité des propriétés mécaniques.

Soudage : opération d'assemblage

Soudure : résultat, cordon joint

Principe de réalisation du soudage



On parle de : **la source de chaleur**

: **mode de protection du bain**

(pour se prémunir des effets de l'air)

: **présence ou non du métal d'apport**

Le soudage homogène : pas de métal d'apport ou ne fond que le métal de base ou bien le métal d'apport est de composition voisine du métal de base

Le soudage hétérogène : le métal d'apport est différent du métal de base

Rmq : si on ne protège pas le bain, il y a obligatoirement fragilité du joint

Conséquences de l'opération de soudage.



Dilatation et retrait:

déformations et contraintes au niveau de la soudure
supérieure à la limite élastique

si faibles épaisseurs, déformations importantes
mais zone sous contrainte faible

si fortes épaisseurs, peu de déformations, mais
contraintes très importantes

TTAS

Modification de la structure métallurgique

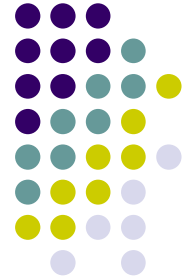
Maintien physique du bain (préparation des bords)

Conclusion:



lors de l'opération de soudage, on cherche à ce que le joint soudé et les bords présentent des caractéristiques conformes à l'utilisation future de la pièce. Ces caractéristiques sont généralement données par le client sous forme de spécifications. Ces spécifications (cahier des charges) reposent sur des codes de construction qui respectent eux même la législation en vigueur (là où l'appareil va être implanté). En France aujourd'hui, ce code est le CODAP

Enfin ce code impose des spécifications particulières quant aux contrôles à effectuer sur les soudures (Destructifs sur coupons témoins et Non Destructifs END).



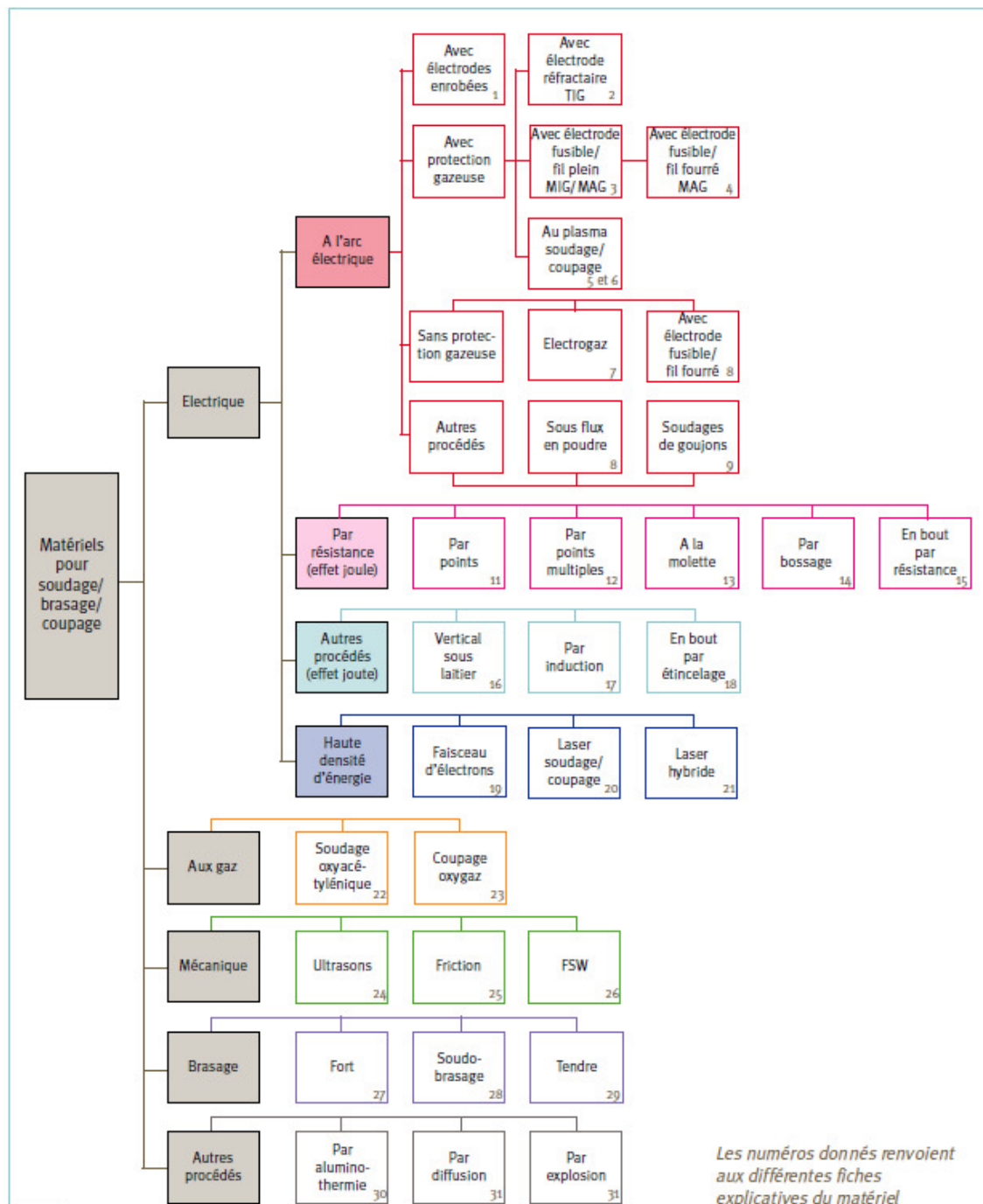
Terminologie

- ISO 857: procédés de soudage
- ISO 4063 : nomenclature des procédés
- ISO 2553: norme sur les dessins
- ISO15614-1 et 288 : QMOS et QS



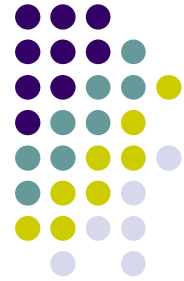
Principaux procédés

| | | |
|--------------------------------|-----|------|
| ● Soudage électrode enrobées: | 111 | SMAW |
| ● Soudage fil fourré sans gaz: | 114 | FCAW |
| ● Soudage arc submergé: | 12 | SAW |
| ● Soudage MIG: | 131 | GMAW |
| ● Soudage MAG | 135 | GMAW |
| ● Soudage Mag fil fourré | 136 | GMAW |
| ● Soudage TIG | 141 | GTAW |
| ● Soudage plasma arc | 15 | PA |
| ● Soudage Oxy-gaz | 31 | |
| ● Soudage résistance par point | 21 | |



Préparation des bords

La préparation des bords permet le logement du métal d'apport et le soudage pleine pénétration



Monopasse

ou

multi passes

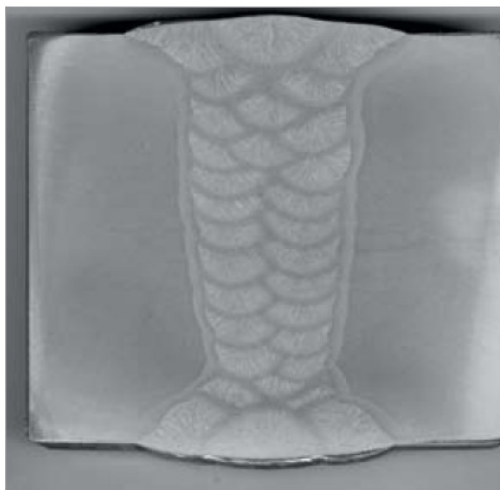
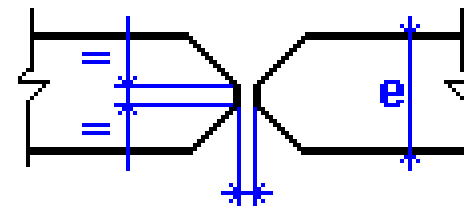
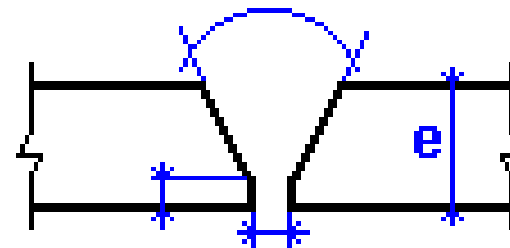
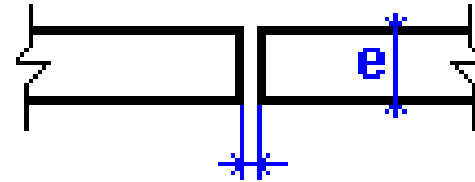


Image 7. Macrographie, d'une soudure sur tôle de 70mm.

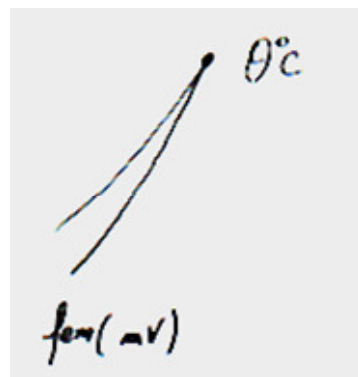


Aspect thermique de l'opération de soudage

Cycles thermiques

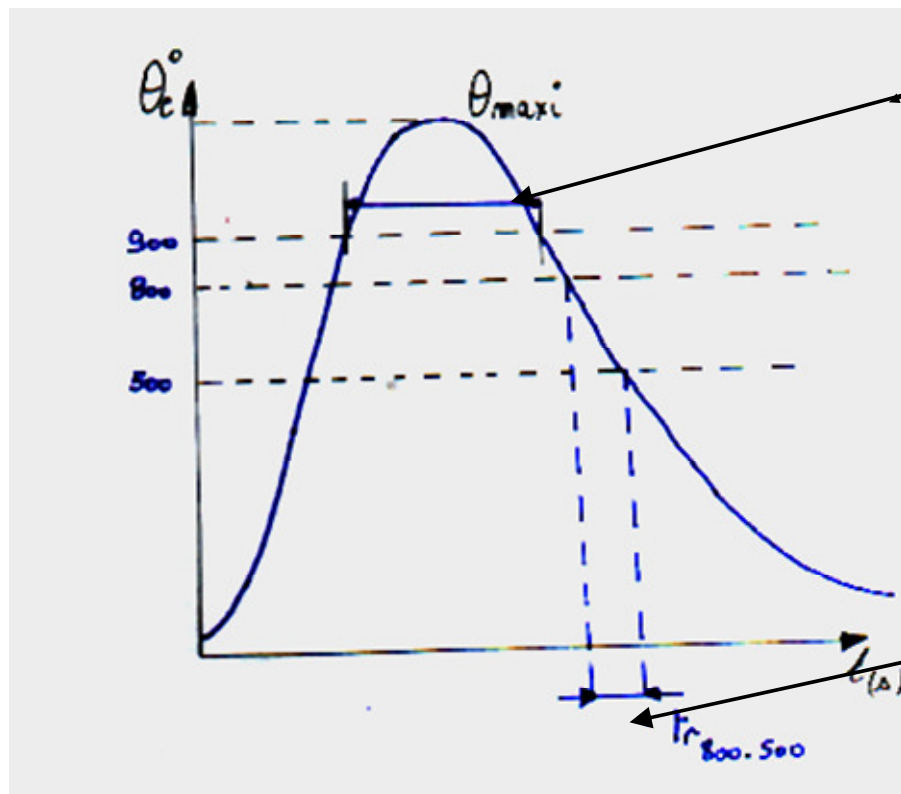
Loi de variation de la température en fonction du temps (en 1 point)

Pour la température, on utilise un **thermocouple**.



Relevé avec un thermocouple:



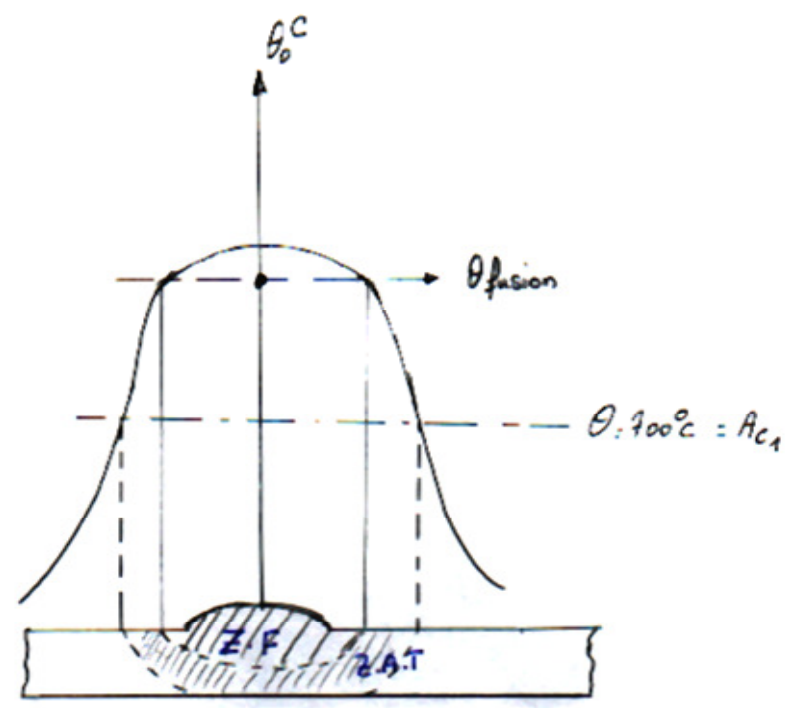
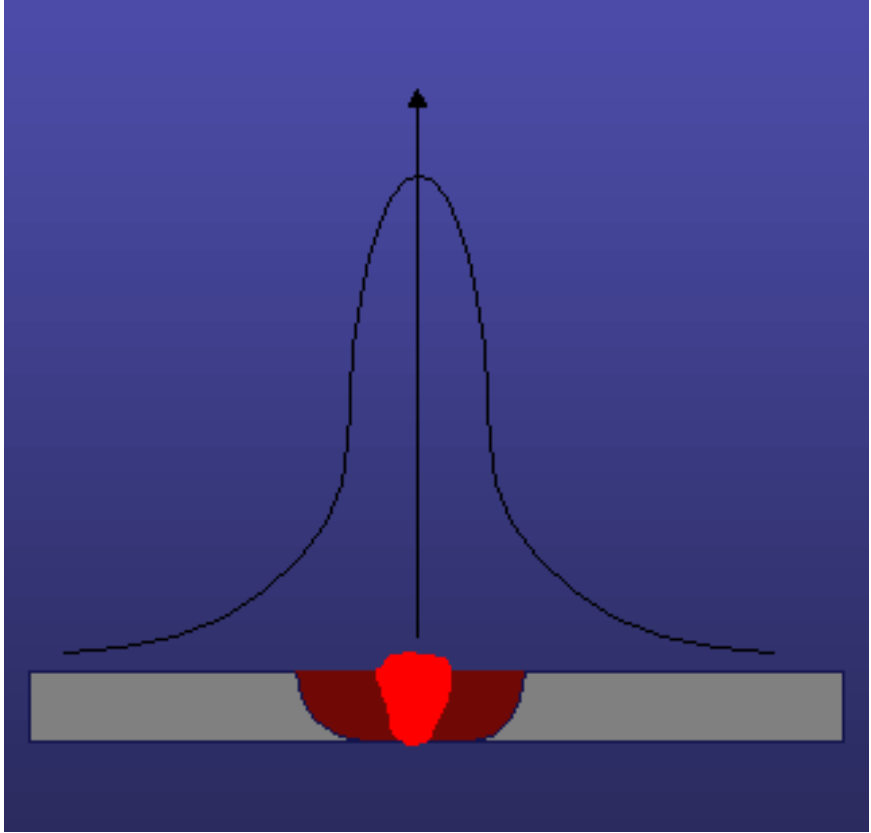


de maintien à θ
Supérieur à 900 °C

tr 800-500 : temps de
refroidissement entre 800

Intérêt: Ce relevé permet la prévision des structures dans le cas du soudage des aciers non ou faiblement alliés

On caractérise le refroidissement du joint par le temps de refroidissement (TR) 800-500 qui est pratiquement constant dans toute la ZAT. Il existe des abaques le déterminant en fonction des conditions opératoires.



Différentes zones d'un joint soudé

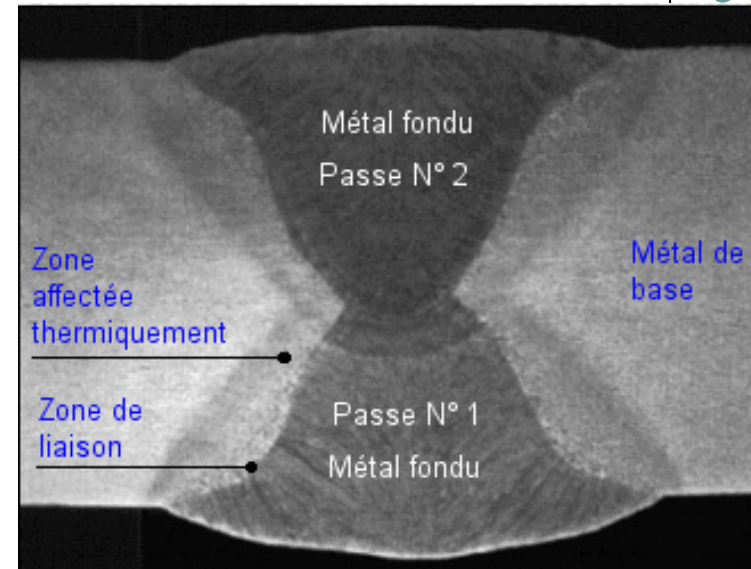
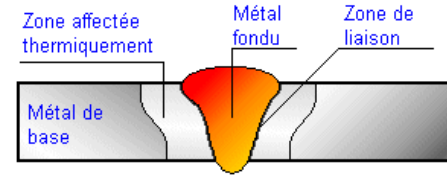
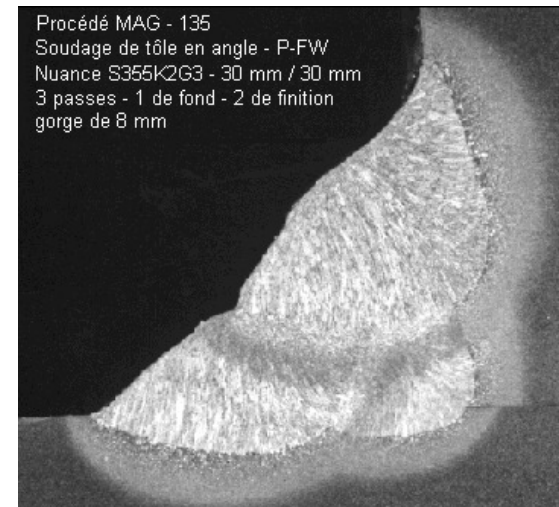
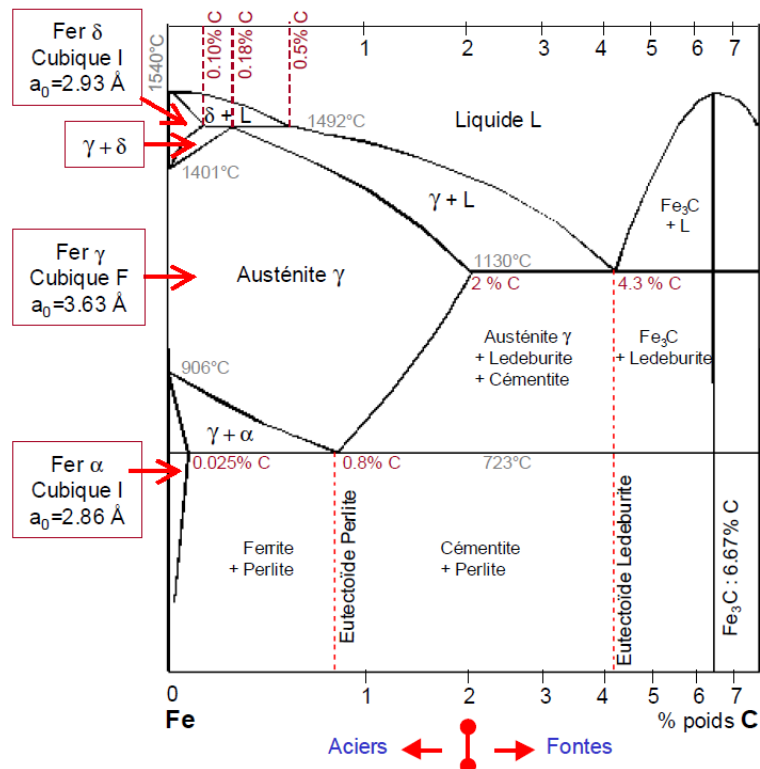


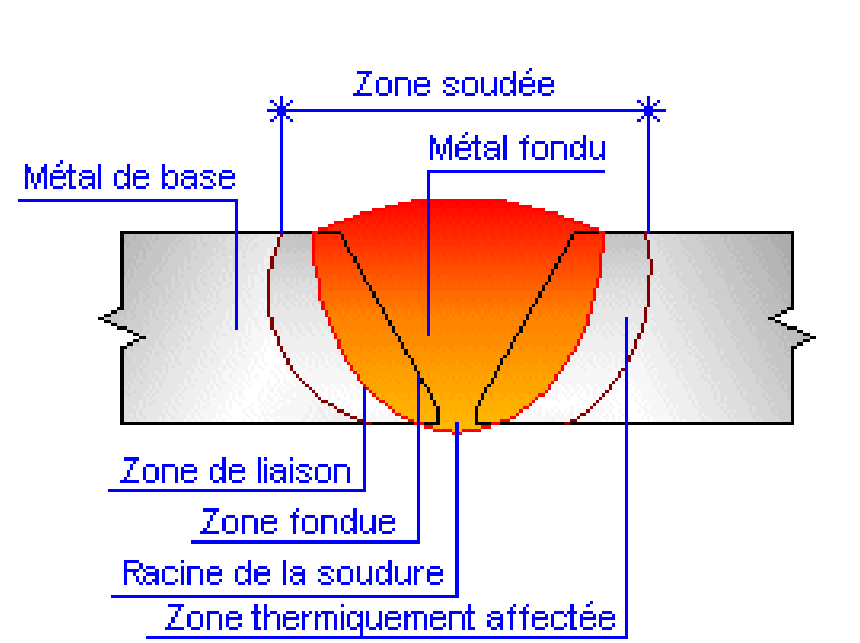
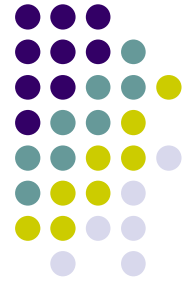
Diagramme Fer - Carbone (en % poids)



Différentes zones d'un joint soudé:

Macrographie

Au centre la zone fondue qui contient du métal de base, et avec l'apport, les métaux vont se mélanger.



ZAT (ou HAZ) zone affectée thermiquement : zone non fondue qui a subi des transformations de structures, des transformations physico-chimiques, etc...(modification de la nature , des propriétés mécaniques et de la grosseur des grains.

ZF zone fondue (mdb fondu + m.a structure basaltique)

Mdb non affecté

Energie de soudage



Cette énergie va nous permettre d'avoir des critères pour déterminer la structure que l'on va obtenir

On parle d'énergie spécifique de soudage E_s ou d'énergie nominale E_n

Définition (procédés arc électriques)

C'est l'énergie dépensée globalement au niveau de l'arc pour former 1mm de joint en 1 passe.

On mesure l'énergie dépensée au niveau de l'arc, puis celle dépensée au niveau du joint

Formule dans le cas du soudage à l'arc:

$$Q = U \cdot I \cdot 10^{-3} / V_a$$

U en volt

I en ampère

V_a en mm/s

E_s en KJ/mm de joint

Ancienne formule : $60 UI / V_a$ (V_a en cm /mn)

Ordre de grandeur:

Electrode enrobée : 0,8 kJ/mm

Arc Submergé : 1,6 kJ/mm

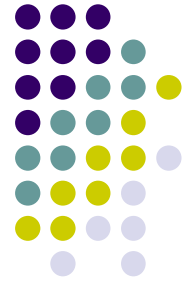
Energie absorbée par la pièce:

L'énergie dépensée au niveau de l'arc n'est pas intégralement transmise à la pièce. Dans tous les cas elle sert également à :

- La fusion du métal de base
- La fusion du métal d'apport s'il existe
- Maintenir l'ionisation de la colonne de plasma
- Fondre le flux ou l'enrobage
- Energie par rayonnement
- Etc

On a donc $E_{\text{absorbée}} = \eta E_s$ η est le rendement thermique du procédé.

E_s Energie spécifique de soudage



Quelques valeurs:

| AS | EE | MIG MAG | TIG |
|---|-------------|--|---|
| 1 | 0.8 | 0.8 | 0,6 |
| Pas de rayonnement car arc sous le flux | rayonnement | Plus de rayonnement et ionisation du gaz | Electrode réfractaire qui ne fond pas donc 50% de l'énergie à la pièce et 50 % à l'électrode. |

Paramètres influençant la vitesse de refroidissement d'une pièce.

2 origines: Les pièces
Les conditions opératoires



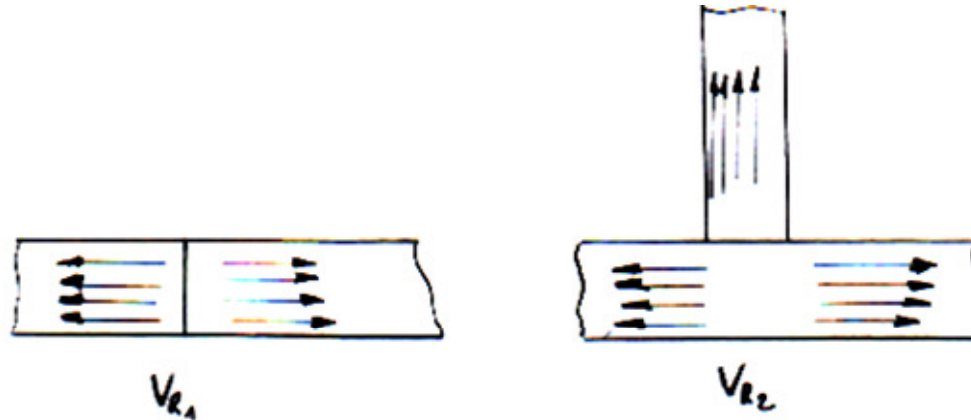
a) les pièces

Nature : caractérisées par la diffusivité thermique a

$a = \text{conductibilité thermique } (\lambda) / \text{la chaleur massique } (\rho \cdot C)$

Géométrie : masse de la pièce qui participe à l'évacuation thermique.

Caractérisée par l'épaisseur de la pièce (e) et par le type de joint.



$$Vr1 \ll Vr2$$

Si $a \uparrow \Rightarrow Vr \uparrow$
 \uparrow

Si $e \uparrow \Rightarrow Vr \uparrow$

Si masse $\uparrow \Rightarrow Vr$

Si $\eta \uparrow \Rightarrow Vr \downarrow$

Si $Es \uparrow \Rightarrow Vr \downarrow$

Si $\theta_{ini} \uparrow \Rightarrow Vr \downarrow$

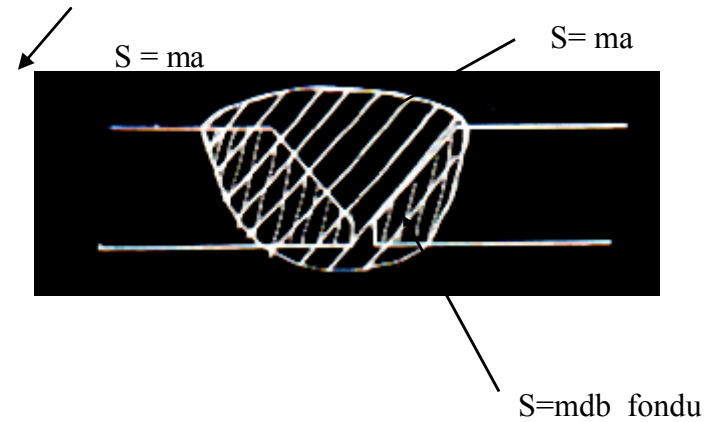
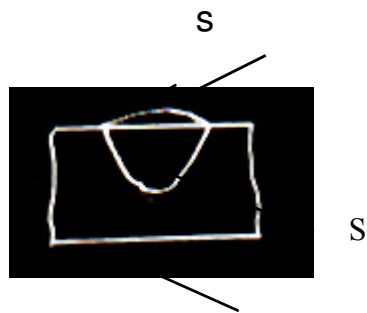
Notion de dilution.



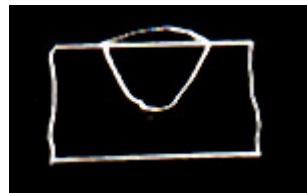
Définition:

Dans la zone fondue, on mélange du métal de base et du métal d'apport s'il existe.
La dilution, représente la quantité de métal de base que l'on introduit dans la soudure
(zone fondue)

Dépôt en pleine tôle: $d\% = (S/S+s) * 100$ s quantité de métal d'apport
S quantité de métal de base

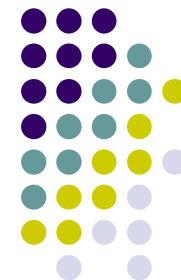


AS: d = 60%



EE: d = 30 % (3 unités de métal de base dans 10 unités)





MIG/MAG $d = 50$ à 70 %

TIG $d = 50$ à 100 %

Résistance : $d = 100$ %

Brasage : $d = 0$ % car pas de fusion du métal de base.

Exemple d'application:

Recherche du %age d'un élément chimique dans la ZF connaissant ceux du mdb et du ma

Soit un mdb à $0,5$ % de Cr

Un ma à 18 % de Cr

Soudage à l'EE avec $d = 30$ %

100 gr de ZF et 30 g de mdb donc le mdb amène $(0.5/100)*30 = 0.15$ g de Cr

le ma $(18/100)*70 = 12,6$ g de Cr

Dans 100 g de ZF, on a 12,75g de Cr d'où le % de Cr dans la ZF = 12,75

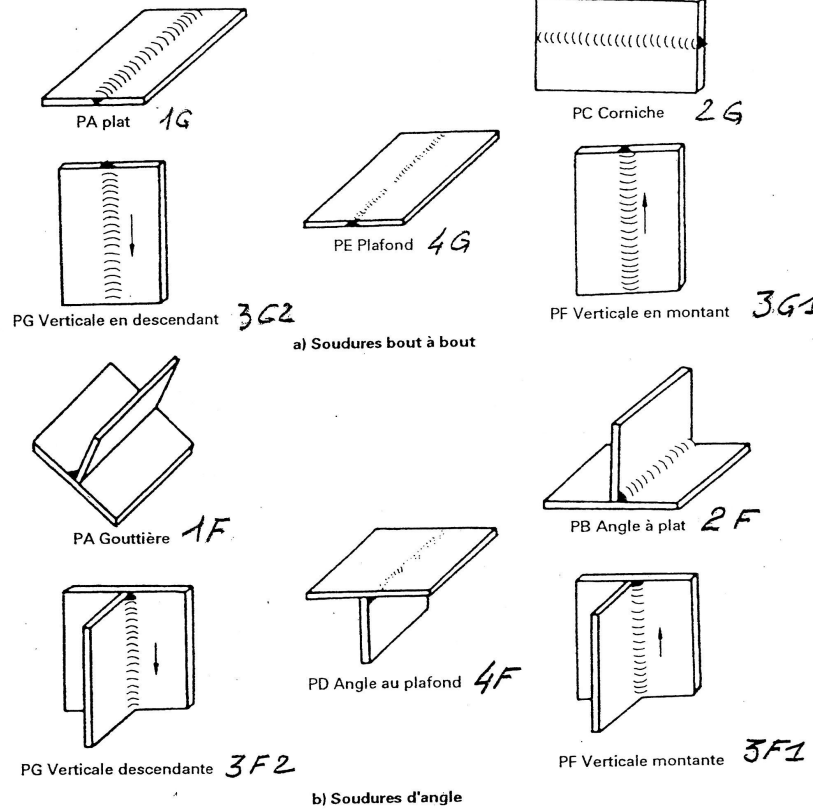
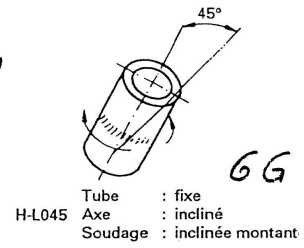
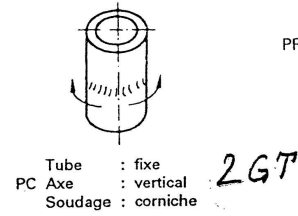
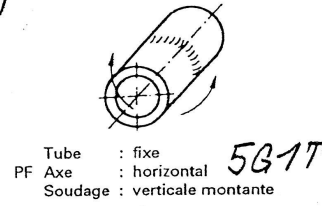
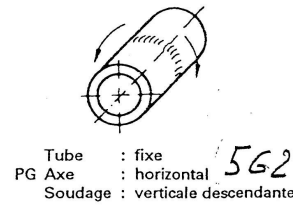
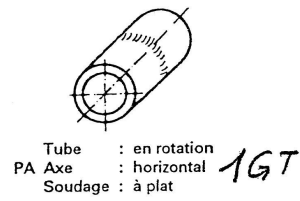


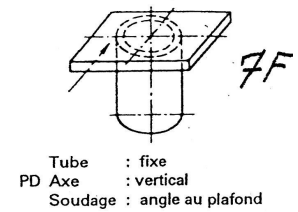
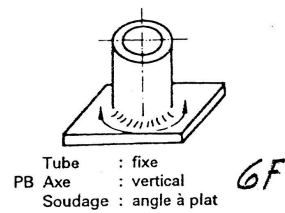
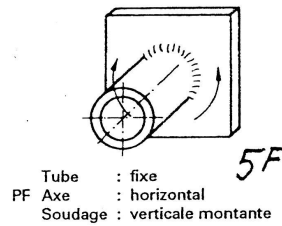
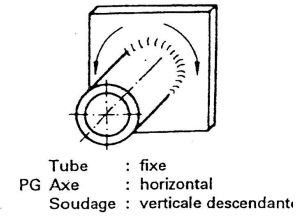
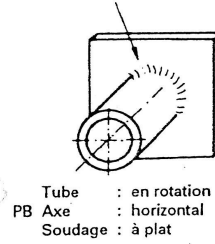
Figure 1 : Positions de soudage pour les assemblages de tôles

Pour NF 287-1

bout à bout -> BW
Angle -> FW

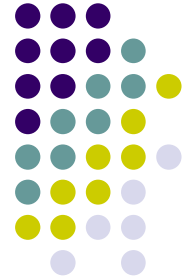


a) Soudures bout à bout



b) Soudures d'angle

Figure 2 : Positions de soudage pour les assemblages de tubes



Principaux procédés

- EE
- AS
- MIG-MAG
- Fil fourré sans gaz
- TIG
- Plasma
- HDE
- résistance

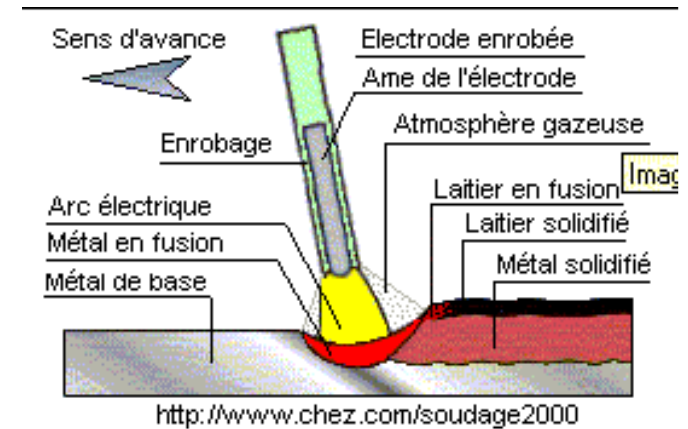
Electrode enrobée

Énergie : arc entre électrode fusible et pièces à assembler

L'enrobage

fond avec l'âme et produit un gaz protecteur (laitier)

Il favorise la stabilité de l'arc



Procédé manuel:

Applications

Chantier

Bricolage

structures de sécurité

Acier, Inox

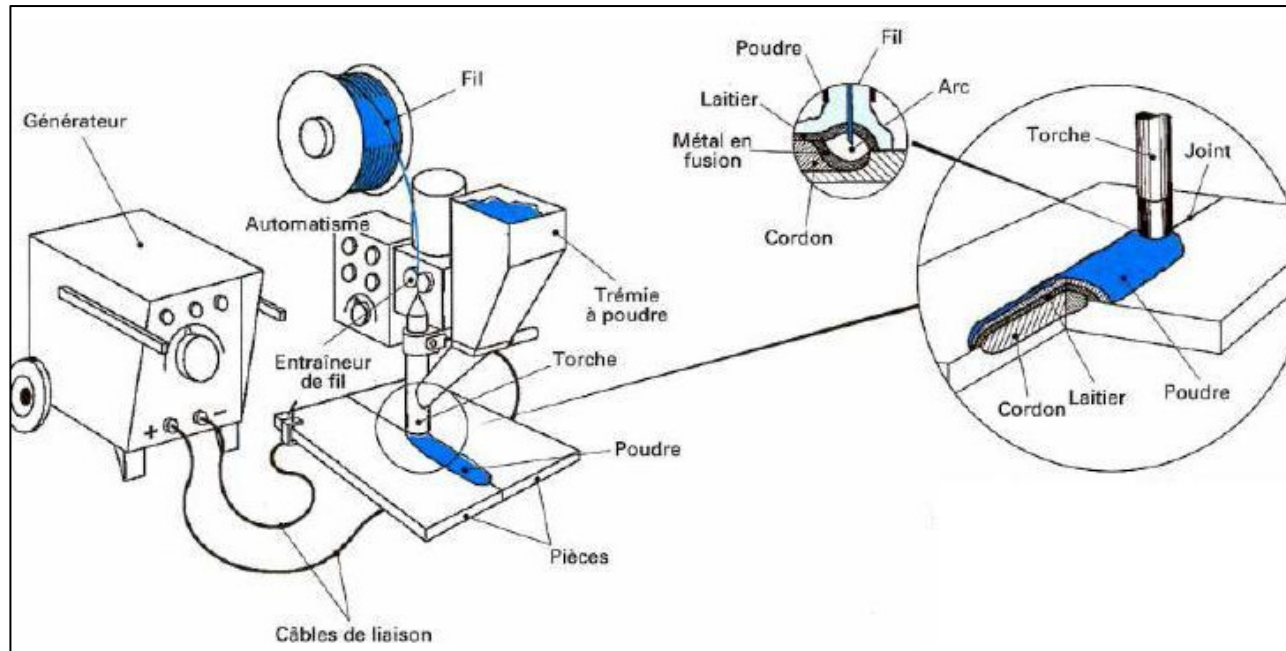
épaisseur > 1,5 mm



Arc submergé

Arc électrique entre un ou plusieurs électrodes fil fusible et les pièces à assembler

Fusion et volatilisation du flux en poudre déversé en excès (et récupéré en partie)



Applications:

Soudage horizontal des tôles épaisses

Soudage et rechargement des aciers

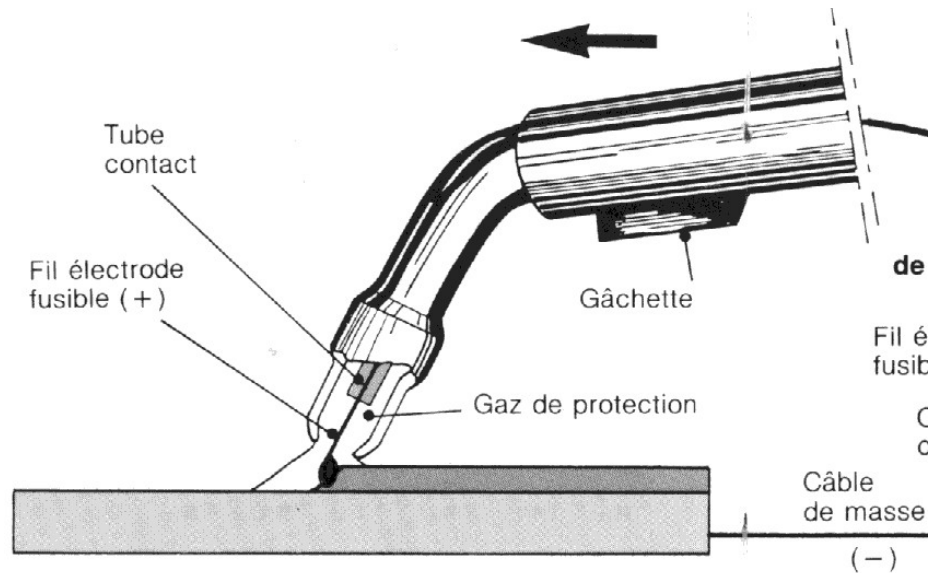
Utilisé en automatique

Épaisseur supérieures à 5 mm

Fils ou feuillard

Chaudronnerie, pont, PRS,
construction navale, réservoir, etc...





Source de chaleur: Arc entre électrode fil fusible dévidé automatiquement et pièces à assembler

Protection : Gaz inerte ou réducteur

Métal d'apport: fil fusible

Applications

Procédés le plus répandu

Serrurerie, métallerie, mécano-soudure, moyenne et grosse chaudronnerie industrie, transport, électrique, ..etc.

Aciers, inox, alliages légers, cuivreux, etc..

Facilement automatisable.

De 0,5 mm pour l'acier et 2 mm pour l'alu à très fortes épaisseurs en multipasses.

Pas de laitier à enlever

Attention industries de qualité (collage)



Applications

Procédés le plus répandu

Serrurerie, métallerie, mécano-soudure, moyenne et
chaudronnerie industrie, transport, électrique, ..etc.

Aciers, inox, alliages légers, cuivreux, etc..

Facilement automatisable.

De 0,5 mm pour l'acier et 2 mm pour l'alu à très fortes
épaisseurs en multipasses.

Pas de laitier à enlever

Attention industries de qualité (collage)

grosse



Fil fourré sans Gaz

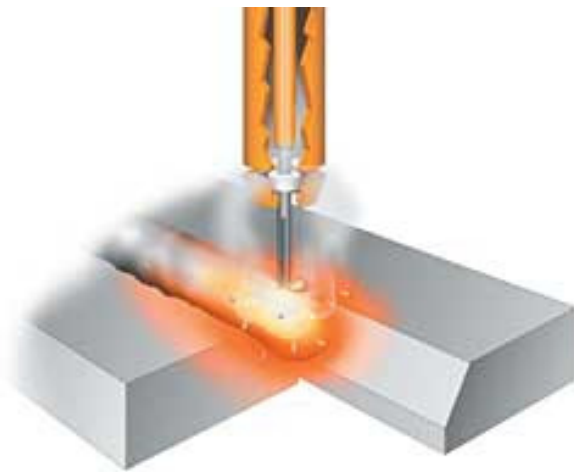
Protection solide dans le fil (équivalent enrobage EE)

Soudage en extérieur

Accessibilité

Laitier à enlever

Maîtrise du geste



TIG : Tungsten Inert Gaz

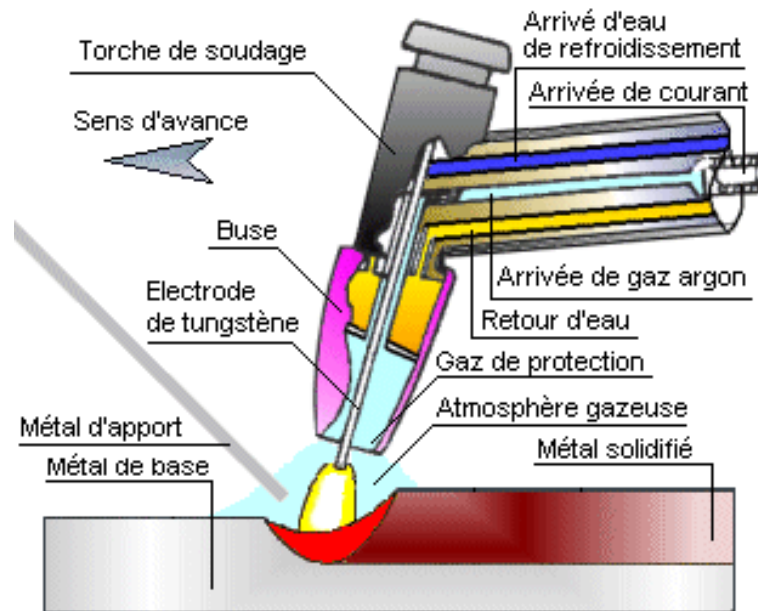
Soudage sous gaz inerte avec électrode réfractaire



Arc entre électrode en tungstène non fusible et les pièces à assembler

Gaz inerte (Ar, Ar + He, Ar + He + H₂)

Métal d'apport: amené séparément



Applications:

Soudage haute qualité

aéronautique, alimentaire, chimique, pétrochimique, etc

Aciers, inox, alu, cuivre, titane, à partir de 0,5 mm

Manuel ou automatique

Attention courants d'air



Soudage plasma



2 gaz : plasmagène et protection

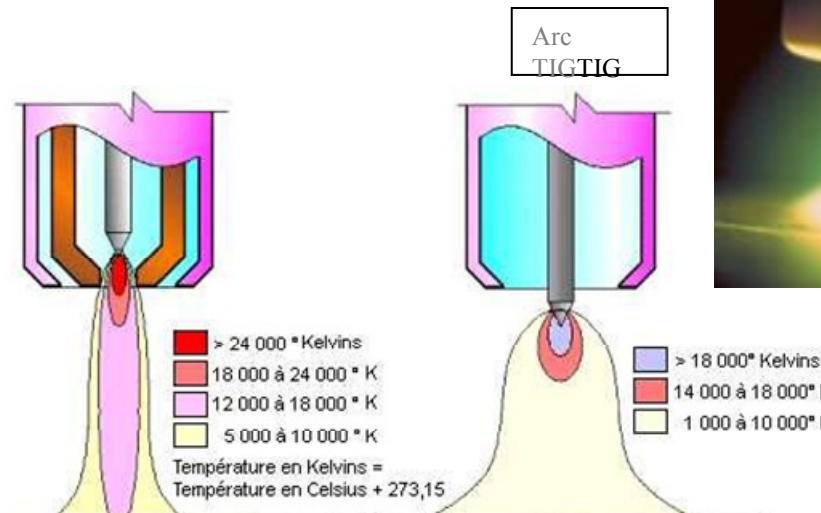
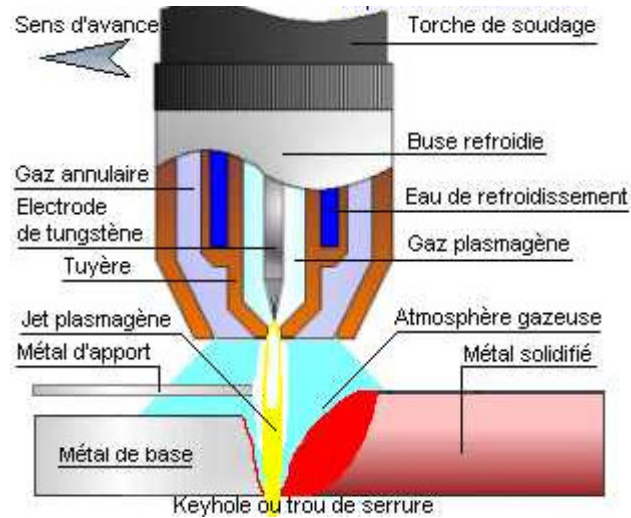
Arc plus puissant et plus rigide

Key hole

Vitesses de soudage importantes

ZAT réduites

Inox, métaux nobles



Arc plasma

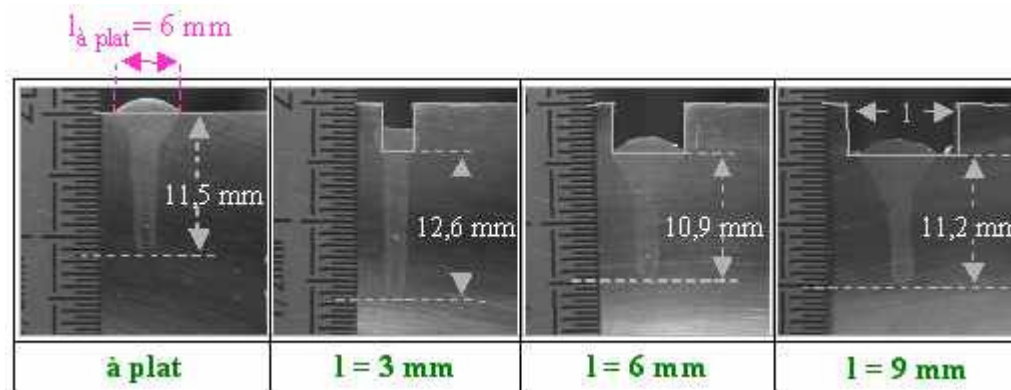
Arc
TIGTIG

Procédés Haute densité d'énergie



Laser

Faisceau d'électrons



Très forte énergie (plusieurs kW)

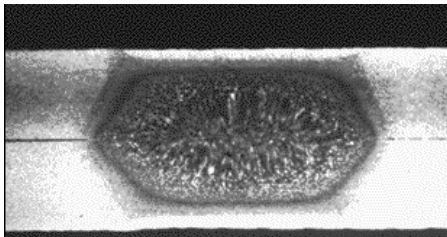
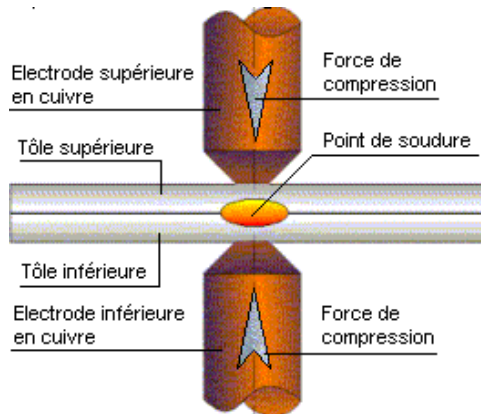
Faible taille tache focale

Forte pénétration

Déformations très faibles

Soudage par résistance

Par points



$$W=RI^2t$$

R : résistance entre les tôles

I : courant en kA

t : en périodes

Recouvrement tôles minces

Aciers, alus, Nickel, etc..

Automatisation

Automobile, ferroviaire, électroménager, mobilier, etc..

