

1.9.10.1.1 Soudage à 2 fils – 2 générateurs

On utilise 2 générateurs pulsés, synchronisés et décalés de $\pi/2$. Permet l'obtention de grandes vitesses de soudage (jusqu'à 350 Cm/min pour des épaisseurs inférieures à 6 mm).

1.9.10.1.2 Arc rotatif :

Lorsque l'on utilise des intensité supérieures à 350 A, l'arc se met à tourner sous l'effet des champs électromagnétique, la pénétration devient moins profonde mais plus large qu'en pulvérisation axiale. Soudage uniquement a plat

1.9.10.1.3 Court-circuit contrôlé :

On contrôle le courant, ce qui limite le nombre de projections et le risque de collage.

- **Adapté pour :** - Soudage tôles minces
- Exécution des passes de pénétration
- Rabotage des tôles

1.9.11 Guide de choix :

AVANTAGES :	INCONVENIENTS :
- Auto régulation (semi-auto)	Risque de collage en court circuit
Taux de dépôt environ de 2,5 à 4 Kg / heure	Peu recommandé pour les appareils à pression
Productivité importante	Projection nécessitant parfois un parachèvement
Vitesse de soudage 35 à 50 Cm/min (en manuel)	Maintenance de l'installation (tube contact, gaine, encrassement de la buse)
Facteur de marche de 40%	
Soudage dans les 2 sens	
Pas de laitier	

12 mm : chanfrein en V ou en tulipe, si l'accès

Pour le soudage de l'aluminium, il est préférable, côté envers, de tomber la carre afin d'obtenir une forme de pénétration correcte.

En pratique

1.9.12 Préparation des bords :

- Cas des aciers

Soudage à plat, en montant, en corniche, au plafond

	$Ep \leq 1,5 \text{ mm}$	$1,5 < ep \leq 4 \text{ mm}$	$4 < ep \leq 6 \text{ mm}$	$6 < ep \leq 12 \text{ mm}$
Bout à bout	Pas de jeu	Jeu = ep	Y : ep/2 et jeu ep/2 +1 V : 60 à 70° - Jeu ep/2	V : 60 à 70°
Angle Λ	Pas de jeu	Jeu $\geq ep/2$	Jeu $\geq ep/2$	Jeu $\geq 3 \text{ mm}$
Angle 90°	Pas de préparation			
A clin	Pas de préparation			

Soudage en descendant :

Même préparation, hormis croquage à 60° en Y et angle 60° en v si bout à bout ep >4 mm

- Cas des aluminium

	$Ep \leq 1,5 \text{ mm}$	$1,5 < ep \leq 4 \text{ mm}$	$4 < ep \leq 6 \text{ mm}$	$6 < ep \leq 12 \text{ mm}$
Bout à bout	Carres envers tombées	Carres fortement tombées 2 faces	V 70° et carres tombées en envers	V 70° - jeu <1 mm X 70° + jeu <1 mm
Angle Λ	Carres envers tombées	Carres envers tombées	Carres envers tombées + jeu < 1mm	Carres envers tombées + jeu < 1mm
Angle 90°	Pas de préparation			
A clin	Pas de préparation			

1.9.13 Positions de soudage :

Type de soudage	Angle torche	Angle / joint
A plat		
Bout à bout	80°	90°
Joint angle extérieur	80°	90°
Joint angle intérieur	80°	45°
Joint à recouvrement	80°	60°
En montant		
Bout à bout	80 à 90°	90°
Angle extérieur	80°	90°
Angle intérieur	90 à 100°	45°
Joint de recouvrement	90 à 100°	60°
En descendant		
Bout à bout	60 à 70°	90°
Angle extérieur	60 à 70°	90°
Angle intérieur	60 à 70°	45°
Joint de recouvrement	60 à 70°	60°
En corniche		
Bout à bout	90°	90°
Au plafond		
Bout à bout	80°	90°
Angle extérieur	80°	45°
Joint de recouvrement	80°	60°

1.10 Les principales caractéristiques des fils fourrés 136 137

Soudage à l'Arc sous protection de gaz actif avec fil - électrode fourré fusible

Désignation américaine : FCAW (Flux Cored Arc Welding)

Désignation numérique : 136

Soudage à l'Arc sous protection de gaz inerte avec fil - électrode fourré fusible

Désignation américaine : FCAW (Flux Cored Arc Welding)

Désignation numérique : 137

1.10.1 Principe :

Les fourrés sont constitués d'une enveloppe métallique remplie de poudres de différentes natures (métallique ou minérale) et tréfilés comme un fil classique. Le principe du soudage avec fil fourré est le même que celui du soudage MIG/MAG. L'alimentation se fait toujours en courant continu. Le gaz de protection est soit inerte ou activé. Les produits contenus dans la fourrure contribuent à l'amélioration de la stabilité de l'arc, à la désoxydation du bain de fusion et à l'apport d'éléments d'alliage. Comme les enrobages ne fournissent pas assez de protection, on rajoute des gaz.

Certains fils fourrés déposent un laitier, d'autre non. Lorsqu'il y a un laitier, comme pour les électrodes enrobées, il peut être rutile ou basique. La polarité doit alors être adaptée à la nature du remplissage. Le soudage se fait toujours à droite, en tirant.

METHODE DE FABRICATION D'UN FIL FOURRE

<http://www.soudeur.com>



1.10.2 Domaine d'emploi :

A peu près identique à ceux des fils plein, mais avec plusieurs avantages :

Accroissement de la productivité de 20%

- Meilleure souplesse opératoire
- Excellentes caractéristiques mécaniques des dépôts
- Utilisation sans réticences pour les appareils à pression
- Utilisation recommandée pour constructions de qualité, sur tôles d'épaisseurs moyenne à forte.

Très utilisé aux USA et au Japon. Plus limité en France dû au coût du métal d'apport. (Comparable aux électrodes enrobées).

Mais en terme de productivité, + avantageux (même si le coût du gaz de protection est important).

1.10.3 Guide de choix :

AVANTAGES :	INCONVENIENTS :
Préparation simplifiée	Coût du métal de base
Nombre de passes	Difficile à utiliser pour les passes de fond
Qualité du métal déposé	Laitier à éliminer
Productivité +20%	
Utilisation sur appareil a pression	

Soudage à l'Arc avec fil fourré sans gaz (Innershield)114

Désignation américaine : FCAW (Flux Cored Arc Welding, without gaz)

Désignation numérique : 114

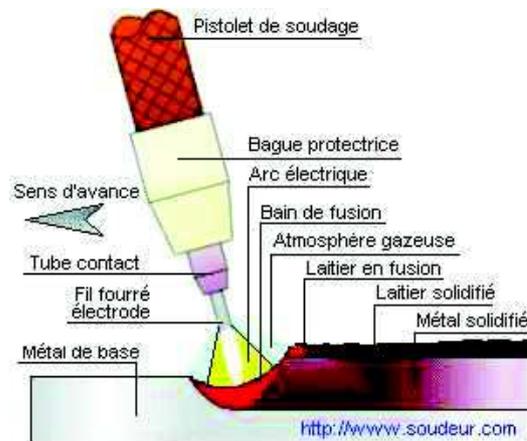
1.10.4 Principe :

Identique au fil fourré avec gaz et laitier, mais le laitier est plus abondant que le procédé 136.

Comme pour le procédé 111, la protection du bain de fusion est assurée par la décomposition de la fourrure qui produit plusieurs effets : stabilisation de l'arc, désoxydant, émission de gaz pour protéger le transfert du métal et le bain de fusion, production de laitier pour protéger le métal fondu pendant le refroidissement, apport en éléments d'alliage.

Les fils fourrés sans gaz de protection sont des feuilards remplis de flux de différentes natures (métallique ou minérale) roulés et tréfilés. Différent diamètres : **1.6 – 1.8 – 2.0 – 2.4 – 2.8 – 3mm**. On utilise des fils de diamètre supérieur à 2 mm en général.

Le générateur utilisé est un générateur multiprocess asservi en tension (cf. câble de mesure de tension à l'arc supplémentaire sur torche et retour masse). Ce générateur a une CES verticale avec une tension corrigée en fonction de la mesure de la tension à l'arc. Le mode de transfert est uniquement globulaire.



1.10.5 Constitution :

Ses rôles sont à peu près les mêmes que l'enrobage de l'électrode enrobée. Il facilite l'amorçage et la stabilité de l'arc, il assure la protection gazeuse du bain de fusion et produit un laitier qui assure la protection du cordon de soudure lors du refroidissement. La seule différence, c'est que le fourrage n'assure pas le guidage de l'arc.

En effet, le fourrage est à l'intérieur et lors du soudage, c'est l'enveloppe externe qui se consomme avant le fourrage. Ceci engendre des projections plus importantes.

1.10.6 Élément d'addition :

Rôles	Principaux éléments d'addition
Désoxydant	Le manganèse et le silicium ; l'aluminium et le titane complètent l'action du Mn et Si
Oxydant	Quartz, silicates de fer.
Réducteur	Ferromanganèse, ferro-titane.
Ionisation de l'arc	Sels de sodium et de potassium.
Dé nitrurant	Ferro-silicium, cellulose, talc, titane, aluminium.
Fondant	Rutile (TiO ₂) silice, spath, fluor, cryolithe.
Amorce et entretien de l'arc	Oxyde de fer, et oxyde de titane.
Pénétrant	Cellulose (la formation d'hydrogène sous l'effet de l'arc augmente la température dans l'arc électrique)
Fluidifiant	Oxyde de fer.
liant	Les silicates de soude et de potasse servent à lier les éléments. Le kaolin participe à la formation du laitier

1.10.7 Rôle du flux :

1.10.7.1.1 Rôle électrique :

Les poudres contenues dans le feuilard vont permettre l'élaboration de gaz qui, en s'ionisant, favorise l'amorçage de l'arc et sa stabilité.

1.10.7.1.2 Rôle physique :

Le flux au moment de sa fusion produit un laitier qui enveloppe les gouttes de métal liquide et augmente la tension superficielle du bain permettant ainsi avec une grande majorité des fils le soudage en position.

1.10.7.1.3 Rôle métallurgique :

Le rôle du flux est

- d'une part de protéger le métal liquide de l'air pendant le transfert dans l'arc par la création de gaz et de laitier (protection contre l'azote et l'oxygène ...) et,
- d'autre part, introduire dans le bain des éléments d'alliage (manganèse, nickel..) et des désoxydants et dé nitrurant tels que aluminium, manganèse, titane, zirconium, etc...

1.10.8 Domaine d'emploi :

Acier faiblement alliés avec $Re < 360\text{Mpa}$ et quelques Acier inox.

Construction métalliques et navale car : travaux extérieurs et taux de dépôt élevé

Il est très intéressant sur chantier où l'approvisionnement en gaz est difficile (moins sensible au vent).

Pour souder à plat, on utilise la polarité indirecte.

Pour souder en position on préférera une polarité directe

1.10.9 choix du fil:

1.10.9.1.1 En fonction de :

- La nuance du métal de base,
- Les caractéristiques du métal déposé,
- La position de soudage
- L'épaisseur de l'assemblage.

1.10.9.1.2 Deux catégories de fil :

- Les fils mono passes destinés au soudage des tôles minces, ép. $\leq 4\text{mm}$
- Les fils multipasses destinés au soudage des tôles épaisses.

1.10.10 Etuvage des fils :

Ne jamais étuver un fil fourré innershield.

AVANTAGES :	INCONVENIENTS :
Préparation simplifiée	Fumée abondante
Installation robuste	Gamme étroite de produits d'apport
Soudage en extérieur	Laitier à éliminer
	Maintien du stick out

1.11 Soudage manuel avec électrodes enrobées :111

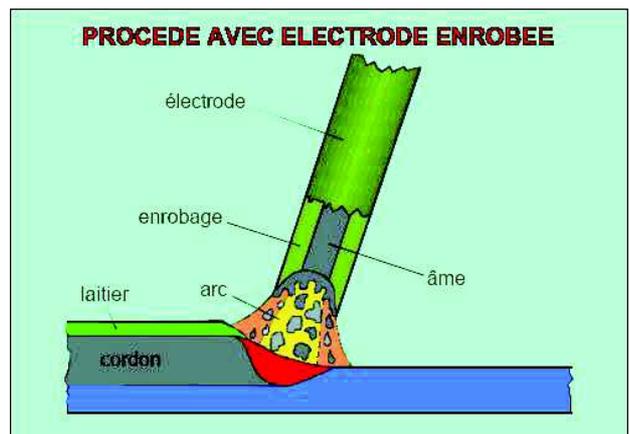
Les postes ont une **courbe caractéristique statique verticale en courant continu** avec tension a vide **65 V mini**

L'**arc électrique** qui jaillit entre l'électrode et la pièce à souder entraîne une source de chaleur qui assure la fusion simultanée des bords des pièces à assembler et du métal d'apport.

Le métal d'apport (ELECTRODE) est constitué par :

- Une âme
- Un enrobage incluant des éléments d'alliages

Le **bain de fusion** est protégé par des gaz provenant de la **décomposition de l'enrobage**. Le métal fondu est protégé par des gaz et du laitier provenant de la décomposition de l'enrobage.



- Très facile de mise en œuvre.
- Procédé de soudage polyvalent, retrouvé dans tous les types d'industrie (chantier, nucléaire, mécano soudage, chaudronnerie, plates-formes pétrolières, pétrochimie, artisanat...).
- Fortement concurrencé par d'autres procédé + facilement automatisables ou ayant des taux de dépôt + importants (MAG-FF), il est encore fortement utilisé. Notamment dans les cas de soudabilité difficile et/ou sur des ensembles nécessitant une haute qualité de soudure.
- Premier procédé utilisé pour ceux qui décident de souder, apprentissage simple.
- Sera dédaigné par certaines industries (automobile) car soudage lent et avec laitier

Les différents types d'électrodes

Constitution d'une électrode classique :

- L'âme : fil métallique plein de nature voisine du métal de base (aciers non alliés et inoxydable), exception pour le soudage des fontes (âme en Ni).
- L'enrobage : entoure l'âme sur toute la longueur exceptée la partie terminale pour assurer un bon contact électrique avec le porte-électrode. L'extrémité opposée est meulée pour permettre le court-circuit avec la pièce et faciliter ainsi l'amorçage. Il est constitué de matières minérales ou organiques.

Rôle de l'enrobage :

- **Rôles électriques** : à froid, il est isolant et donc protège le soudeur de l'électrisation et contient des produits émissifs (oxydes et carbonates) favorisant amorçage et la stabilité de l'arc.

Rôles mécaniques :

- **Guidage de l'arc et du métal d'apport** : la fusion de l'enrobage étant légèrement en retard à celle de l'âme, il se forme un cratère qui guide le transfert des gouttes vers le bain de fusion dans l'arc électrique.
- **Maintien du bain de fusion** : le laitier se solidifie plus vite que le métal fondu, constituant pour le métal fondu une sorte de moule qui l'empêche de s'affaisser. Il améliore la forme du cordon et favorise le raccordement progressif au métal de base.
- **Souffle de l'arc** : une partie de l'enrobage se volatilise sous forme de gaz chassant l'air ambiant tout en exerçant une pression sur le bain de fusion (possibilité de souder en position).

Rôle métallurgique :

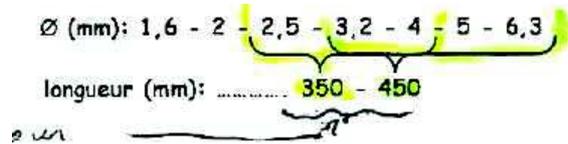
- **Protection contre l'oxydation** : les gaz produits par l'enrobage protègent les gouttes de métal liquide lors du transfert et le bain de fusion. Sous sa forme de laitier, l'enrobage protège le métal fondu lors du refroidissement.
- **Désoxydation du bain de fusion** : les éléments réducteurs (Si, Mn) présents dans l'enrobage captent l'O₂ présent dans le bain de fusion. Les oxydes ainsi formés sont éliminés dans le laitier.
- **Elimination du soufre et phosphore** : les carbonates présents dans certains enrobages captent le S et le P (présents dans certains aciers) qui sont néfastes dans le bain de fusion.
- **Compensation de la volatilisation** : Mn, Si, Cr (perdu lors du transfert de l'arc) peuvent être ajoutés dans l'enrobage (sous forme de ferroalliages), ainsi le métal déposé peut ainsi retrouver sa composition initiale.
- **Apport volontaire d'éléments** : principe identique à celui de la compensation, sauf que l'on ajoute d'autres éléments d'alliage (Cr, Ni, Mo,...) et on agit ainsi sur la composition chimique du métal déposé qui peut alors s'éloigner de beaucoup de celle de l'âme.
- **Apport volontaire de fer** : l'addition de poudre de fer dans l'enrobage permet d'augmenter le taux de dépôt. Le rendement de ces électrodes (haut rendement) peut atteindre 250%.
- **Diminution de la vitesse de solidification** : le laitier ralentit la solidification afin d'améliorer la compacité du dépôt par un meilleur dégagement des gaz.
- **Diminution de la vitesse de refroidissement** : après solidification, la présence du laitier ralentit le refroidissement du cordon, évitant le risque de formation de structures fragiles

Attention : **laitier mince = cordon bombé** ; **Laitier épais = cordon plat**, Sauf pour les hauts rendements dont l'enrobage est rempli de métal, les électrodes sont plus résistive que les autres donc elles s'échauffent plus vite et la vitesse de soudage augmente.

1.11.1 Diamètres des électrodes

diamètre nominal	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3
diamètre de l'âme	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3
tolérances sur Ø		± 0,06			± 0,10		
longueur		200 à 350			300 à 450		
tolérances sur longueur				± 3			

Dimensions normalisées suivant EN ISO 544



1.11.2 Constante de fusion

$$H \text{ (g/A.min)} = \frac{M}{I \times t}$$

H # 0,12 à 0,20 g/A.min

VITESSE DE FUSION

masse de métal déposée par minute

$$f = R_n \times H \times I$$

rendement nominal * masse de métal déposé / masse d'énergie consommée

1.11.3 Différents types d'enrobage : COBRA

1.11.3.1.1 C enrobage cellulosique :

- Polarité directe courant continu et courant si la tension à vide est élevée 70 à 90 volts
- Projections et fumées importante
- Soudages en toutes positions surtout en vertical descendant
- vitesse fusion élevée, arc pénétrant (chanfrein fermé)
- laitier peu abondant et facilement détachable

1.11.3.1.2 O enrobage oxydante :

1.11.3.1.3 B enrobage basique :

L'enrobage basique des électrodes contient des quantités notables de carbonates ainsi que des spath-fluors (savons). Le caractère métallurgique de cet enrobage est donc basique. Ces électrodes donnent une quantité moyenne de laitier dense et vitreux.

le métal déposé est très résistant à la [fissuration à chaud](#) et à froid

le dépôt est de haute qualité donc de bonne ténacité

il est possible de souder en toutes positions sauf en verticale descendante

- Polarité inverse en continu ou en alternatif tension à vide 70 v
- **Electrodes à étuver (teneur en hydrogène très faible)** donc risque de [fissuration à froid](#) faible. (étuvage suivant spécifications fabricant exemple : 2h à 350°) + conservation au chaud
- Soudage en toutes positions **sauf au plafond**
- Laitier dense et vitreux (moins épais que les rutilés).
- Dépôt de haute qualité (bonne ténacité)
- Très sensible à l'humidité
- Tension a vide 70 à 90 volts

1.11.3.1.4 R enrobage rutile ou RC rutile toutes positions RR rutile épais

- enrobage à l'oxyde de Titane TIO₂
- Polarité directe en continu ou alternatif avec une tension à vide > 45V
- Polarité directe en continu pour RR
- Toutes positions sauf verticale descendante
- Tps d'amorçage faible
- Laitier auto détachable
- Bonne vitesse de fusion
- Bonne caractéristique mécanique pour les aciers non alliés
- Deux fois moins cher que la basique
- Tension à vide 50 V, toutes positions, caractéristiques moyenne.

1.11.3.1.5 A enrobage acide :

- Polarité directe
- Très bel aspect de cordon
- Soudage à plat uniquement (risque de fissuration si utilisée en d'autres positions)

1.11.3.1.6 RC enrobage cellulose au rutile

RA enrobage acides au rutile

RB enrobage basiques au rutile

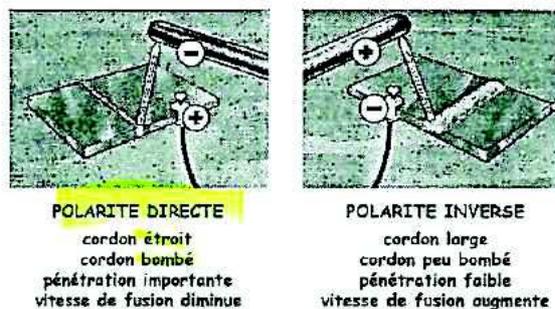
La désignation normalisé

Plusieurs normes : NF EN 499 – NF EN 757 – NF EN 1600 – NF EN 1599 – NFA 81347

E 423 B 35 H5 (exemple NF EN 499)	
E	Electrode enrobée
42	La limite d'élasticité Re mini 420 MPa
3	L'énergie de rupture par flexion par choc 47 J à -30 °c
B	Basique
35	Le rendement et le type de courant CA CC
5	Toutes positions

1.11.4 Influence de la polarité

LA POLARITE



1.11.5 Divers

Particularité EE à la poudre de fer

Poudre de fer contenu dans l'enrobage, permet d'augmenter le rendement de l'électrode, taux de dépôt supérieur à 120 % Ht rendement : 250 %

Avantage et inconvénients des électrodes basiques

Avantages :

le métal déposé est très résistant à la fissuration à chaud et à froid

le dépôt est de haute qualité donc de bonne ténacité

il est possible de souder en toutes positions sauf en verticale descendante

Inconvénients :

très sensibles à l'humidité, elles doivent donc être séchées avant utilisation (2 h à 350°C)
afin d'éviter les porosités, les électrodes enrobées doivent être conservées dans des endroits secs.

Avantages et inconvénient

Avantages	Inconvénient
Faible coût de l'installation	Taux de dépôts faibles 1 Kg/h pour R et pour RR>3Kg/h
Facilité de mise en oeuvre	Faibles facteur opérationnel 30%
Vaste domaine de produits de soudage	Présence de laitier
Vaste domaine d'utilisation	Formation des soudeurs
Dépôt de qualité	Vitesse de soudage 15 à 30 cm /min

Paramètres du soudage SAAE

- Choix du type d'enrobage → en fonction du travail à effectuer
- Choix du diamètre de l'électrode → en fonction des conditions du travail à effectuer
- Choix de la polarité : en général polarité directe (- à électrode) → meilleure gestion pénétration polarité inverse (+ à électrode) → meilleur taux de dépôt.
- Intensité de soudage : $I = 50 \times (\text{Ø de l'électrode} - 1)$
- Condition d'étuvage et de conditionnement

Hygiène et sécurité

- Risque de brûlure causée par les pièces elles-mêmes, projection de laitier et de particules chaudes (meulage)
- Accident oculaire causé par une mauvaise protection (NF EN 175)
- Les poly-traumatismes causés pas travail en hauteur sur échafaudages mal sécurisés
- Pb avec les fumées (abondantes parfois) ,également provoquées par les produits de nettoyage, dégraissage.
- Risque d'électrisation
- Rayonnement lumineux riche en infrarouge et ultraviolet (traumatisme irréversible pour l'œil)

Performances

- Coefficient de dépôt (ISO 2406 «A81 306») = 0,16 g/A/min
1 à 2.5 kg/h et > 3 kg/h pour les + grosse électrode à haut rendement
- Vitesse de soudage à plat en remplissage: 15 à 30 cm / min
- Facteur de marche opérationnel: 25 à 30 % (Rapport du tps (arc allumé) / rapport de présence sur chantier)

En pratique

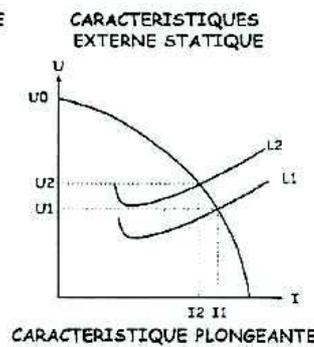
1.11.6 Préparation de soudage

Voir formation pratique

1.11.7 Les appareils de soudage

TENSION CONVENTIONNELLE DE SOUDAGE

- comparaison des appareils
 - étalonnage des appareils
- $U_2 = 20 + 0,04 I_2$ pour $I_2 \leq 600A$
 $U_2 = 44V$ pour $I_2 > 600A$



1.12 Soudage sous flux en poudre N°121 122 125

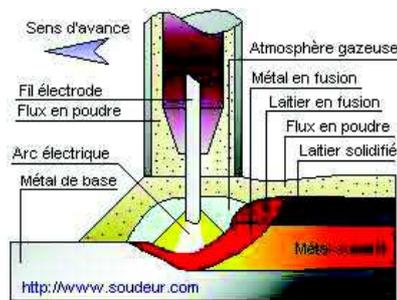
Désignation normalisé

Avec fil électrode	121
Avec électrode bande	122
Avec fil fourré électrode	125

Le principe

L'énergie de soudage est produite par le passage d'un courant électrique entre l'électrode fusible et la pièce à souder, au travers d'un milieu constitué par un laitier résultant de la fusion d'un flux en poudre recouvrant l'extrémité du fil, l'arc et le bain de fusion.

Il s'utilise avec un ou plusieurs fils nus ou feuillards fusibles. Il n'est utilisé qu'en automatique, avec un guidage de la tête de soudage assuré par une potence ou un banc de soudage.



Domaine d'emploi

- Principalement en soudage des aciers ferritiques et austénitiques.
- Avec une forte pénétration (10 mm) et une haute productivité, le destine aux fortes épaisseurs (> 5 mm). Ex : Tôle de 15 mm bout à bout jointifs chanfreinée soudée en 1 passe.
- Avec une pénétration sûre, sa bonne vitesse de soudage, sa qualité de dépôt et son aspect des cordons, on le trouve également sur des épaisseurs + faibles (≥ 2 mm). Ex : Bouteille de gaz comprimé (butane/propane). Préparation en bords soyés ou latte support.
- Utilisé pour la réalisation des revêtements déposés par soudage, avec multi fils ou feuillard.
- **Principale utilisation** : charpente métallique, construction navale, grosse chaudronnerie.

Composition d'une installation

Source de courant

- Générateur de courant proche des autres procédés, mais spécifique car **il doit permettre le réglage séparé de la tension et de l'intensité**.
- Générateur à courant alternatif issue des transformateurs monophasés.
- CES transformateurs monophasés : **plongeante**
 - o **$I \leq 450$ A** : transformateur redresseur de CES **plate**, pour profiter de l'autorégulation de l'arc comme en MIG/MAG. La vitesse de fil est asservie à l'intensité. Grande facilité d'amorçage et grande stabilité de l'arc, même pour de faibles densités de courant.
 - o **$I \geq 450$ A** : transformateur à CES **plongeante ou verticale**. Le réglage de l'intensité est indépendant et la tension est asservie sur la vitesse d'avance du fil.
- Intensité fonction des travaux à exécuter et \emptyset du fil utilisé.
 - o En mono fil : $250 < I \leq 500$
 - o En multi fil ou feuillard : $700 \leq I \leq 1500$
- **Tension à vide** générateur comprise entre **50 et 70 V**.
- Pour le soudage en courant continu, la polarité dépend du flux. En courant alternatif il faut souder avec un minimum de 450 A. Au-dessous, l'arc devient très instable ou nécessite des conditions particulières d'utilisation (tension d'arc élevé, préchauffage pièce)
 - o $I \geq 1200$ A : courant alternatif pour limiter les effets néfastes du soufflage magnétique.

Boîtier de commande et régulateur

Il alimente le moteur de dévidage car il contient un régulateur électronique.

Il contrôle la vitesse de fil, commande l'électrovanne d'arrivée de flux. Il présente un ampèremètre et un voltmètre. Une télécommande de réglage de U et I du générateur peut exister en option.

Tête de soudage

Elle comprend :

Groupe moto régulateur à vitesse réglable : vitesse constante car elle fixe la vitesse du fil.

- Tube contact pour arrivée de courant
- Tube arrivé du flux pouvant être concentrique au tube contact
- Optionnellement, dispositif de palpage ou de suivi de joint
- Optionnellement, oscillateur avec support de bobine de fil ou oscillateur linéaire.

Automate de soudage

Procédé essentiellement automatique, donc il est nécessaire de faire bouger soit :

- La tête de soudage (avec potences, bancs de rabotage, chariots sur poutre...)
- La pièce à souder (avec vireurs, positionneurs, mandrins motorisés, tours de soudage...)

Aspirateur à flux

Plusieurs types existants :

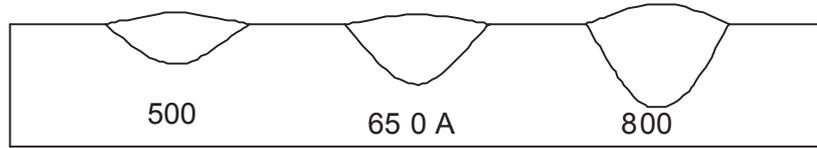
Les plus simples sont constitués d'un aspirateur. L'excédant de flux est mélangé avec des morceaux de laitier solidifié, nécessitant le triage. Certains permettent le recyclage du flux.

Paramètres de soudage et influence

En mono fil; les résultats dépendent de l'intensité, de la tension d'arc, de la vitesse de soudage, de Ø du fil, de la polarité et du stick-out.

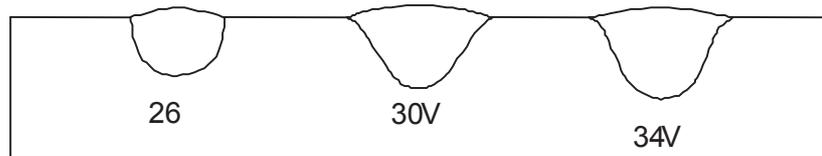
1.12.1 Intensité

La pénétration ↗ si l'intensité ↗, mais peu influant sur la largeur et la surépaisseur du cordon.



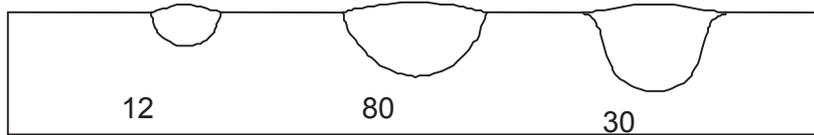
1.12.2 Tension d'arc

Si la tension ↗, la largeur du cordon, la consommation de flux et le risque de caniveaux ↗



1.12.3 Vitesse de soudage

Si v ↗, le cordon devient étroit et la pénétration ↘.

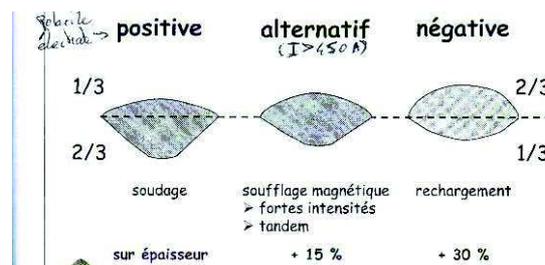


1.12.4 Ø du fil

Si les autres paramètres sont constants, la pénétration ↗ quand le Ø du fil ↘.

1.12.5 Polarité

En CC, on soude en polarité indirecte. Mais si on se place en polarité directe, la pénétration ↘, la stabilité de l'arc est moins bonne mais la vitesse de fusion et le taux de dépôt ↗.



1.12.6 Longueur libre de fil (stick out)

Elle est de 5 à 7 fois le Ø du fil. Si la longueur ↗, la pénétration ↘, l'arc est moins stable mais le taux de dépôt ↗.

Amorçage de l'arc

Si la CES est plate, pas de problème, I_{CC} est suffisant pour un amorçage immédiat.

Si la CES est plongeante, il faut un artifice pour l'amorçage : soit un démarreur HF, soit un lit de paille de fer qui volera à l'amorçage de l'arc. Sinon, on peut démarrer à la volée en mettant le fil en contact, puis en démarrant l'avance du chariot et en mettant le courant.

Nature et utilisation du flux

Ils sont en général composés d'oxydes de manganèse, de silicates de chaux complexes, d'alumine, de magnésie, de rutile et de fluorure de calcium. Ses propriétés sont les suivantes :

- Conduction du courant à l'état fondu

- Protection du bain de fusion par la création d'une atmosphère gazeuse
- Mouillage
- Modification de la composition chimique du métal fondu par l'ajout d'éléments d'alliage
- Action sur la forme du cordon de soudure
- Protection du cordon de soudure lors du refroidissement par le laitier (refroidissement lent)
- Scorification des oxydes de fer

Deux familles de flux principales :

1.12.7 Flux fondus

Mélange de produits minéraux fondus au four électrique, coulés sur sole refroidie, concassés, broyés et tamisés.

Le choix de la granulométrie dépend : du **type de flux**, de l'**intensité** et de la **forme du joint**.

- → **Granulométrie fine** :
 - favorise le mouillage (influence l'aspect du cordon)
 - pénétration moindre
 - facilite le soudage en angle avec une forte gorge
 - consommation de flux plus importante
 - meilleur rendement thermique (moins de pertes de chaleur)
- → **Granulométrie grosse** : dégazage plus facile que la granulométrie fine

Caractéristique du flux fondu : aspect vitreux, contient peu d'eau, très homogène, bon au recyclage, peu de poussières, admet du soudage avec forte intensité (1400 A avec un fil). En général, ce type de flux est utilisé lors du soudage avec un faible taux d'hydrogène. L'étuvage est nécessaire en fonction des prescriptions du fabricant.

1.12.8 Flux agglomérés

Agglomération de produits minéraux et poudre métallique au moyen de liant, puis cuit pour séchage.

Granulométrie : d'un seul type 1400-200 (μm). Etuvage parfois nécessaire (200°/2h ou 400°/1h).

Caractéristique : grain compact, possibilité d'apport de ferroalliage. Fusion plus douce et forme du laitier facilement détachable, même en fond de chanfrein.

1.12.9 Comparaison des flux

	flux fondus	flux agglomérés
densité (kg/dm ³)	+ dense: 1,5 à 1,8	- dense: 0,95 à 1,25
consommation	+ grande	- importante
reprise d'humidité	pas sensibles	sensibles
éléments d'addition	non	oui
activité	- actifs	+ actifs
recyclage	+ facile	limité

1,2 fois la quantité de fil fondu pour les flux agglomérés

1,5 fois la quantité de fil fondu pour les flux fondus

1.12.10 Influence épaisseur couche de flux

Suffisante pour assurer bonne protection du bain de fusion liquide, éviter les projections et les arcs visibles. Le lit du flux arrivera au dessus du tube contact. Elle joue sur le rendement thermique. Plus l'épaisseur de flux est importante, mieux le transfert de chaleur s'effectue.

1.12.11 Choix du couple fil/flux

En général, on ne peut pas dissocier les couples fil/flux. On le choisit en fonction de :

- La nuance de la tôle
- Le nombre de passes
- La préparation des bords
- Le procédé de soudage (énergie, mono fil, bi fils ...)
- Les traitements thermiques (post-chauffage)

Procédés dérivés

- Soudage avec 2 fils fins ou auto-plurial ou bi-fils fins : deux fils l'un derrière l'autre ou l'un à coté de l'autre afin d'augmenter la vitesse d'exécution.
- Soudage avec apport de fil chaud : apport à l'avant du bain de fusion d'un fil supplémentaire chauffé proche de la fusion par effet joule (courant \approx pour \simeq soufflage magnétique) afin d'augmenter le taux de dépôt.
- Rechargement par FEUILLARD : rechargement par feuillard de 30 ou 60 ou 120mm de large en polarité directe en courant continu. Le feuillard est de même nature que le MB ou de nature différente pour le revêtement inox.

Hygiène et sécurité

Peu de risques, pas de fumée, pas de rayonnement.

Performances

Coefficient de dépôt : 2,5 à 12 kg/h avec un maxi de 18 kg/h.

Vitesse de soudage à plat en remplissage : 2,5 à 12 cm/min avec un maxi de 300 cm/min.

Facteur de marche opérationnel : 70% (temps arc allumé / temps chantier)

Rappels :

Investissements	30 à 120 KF
Matériaux soudables	Tous les aciers, Nickel
Ep. Courantes	A partir de 5 mm. Permet d'obtenir des pénétrations de 10 mm
Caractéristique du générateur	Jusqu'à 450 A caractéristique plate (en Courant Continu) après caractéristique plongeante
Types de courant	Courant continu, polarité suivant type de flux Courant alternatif pour les fortes intensités
Tension à vide mini U_0	Courant continu: 50 à 70 V / Courant alternatif: 70 à 80 V
Tension de soudage U_2	$22 \text{ à } 40 \text{ V} \Rightarrow U_2 = 14 + 0,04 \cdot I_2$ ou $U_2 = 20 + 0,04 \cdot I_2$
Intensité de soudage I_2	Courant continu: 200 à 600 A et jusqu'à 1500 A pour revêtements Courant alternatif: 450 à 1500 A
Stick out	5 à 8 fois le \varnothing du fil
\varnothing les + usités	1,6 – 2,4 – 3,2 – 4 – 5 – 6,3
Rendement (%)	98 %
Facteur de marche opérationnel (%)	70 %
Vitesse linéaire de soudage	Usuellement 2,5 à 12 cm/min Maximum: 300 cm/min
Taux de dépôt	Usuellement 2,5 à 12 kg/h, maximum 18 kg/h
Gaz	-
Avantages	Taux de dépôt élevé, bel aspect du cordon, excellente caractéristique mécanique (flux basique)
Inconvénient	Soudage à plat uniquement Suivi de joint difficile Travail en automatique uniquement
Hygiène et Sécurité	Peu de risque, pas de fumée, pas de rayonnement
Application	Charpente, mécano soudage, offshore, gros tube, appareils à pression, revêtement sur les grandes surfaces

1.13 Soudage par résistance N°21.22.23.24.25

Désignation normalisé

Soudage par résistance par point	21
----------------------------------	----

soudage a la molette	22
Soudage par bossage	23
Soudage par étincelage	24
Soudage en bout par résistance pur	25

Le principe et résistance

Les pièces à assembler sont superposées et sont serrées localement entre 2 électrodes d'alliage de cuivre. C'est l'**accostage**.

L'ensemble pièces/électrodes est traversé par un courant de soudage qui provoque une élévation de la T° par **effet JOULE** et la fusion localisée des pièces dans la zone de positionnement des 2 électrodes. La loi de JOULE : **$W=R \times I^2 \times t$** avec **I** qui crée le point et **t** qui le fait grossir. C'est la formation du **noyau** et le **soudage**.

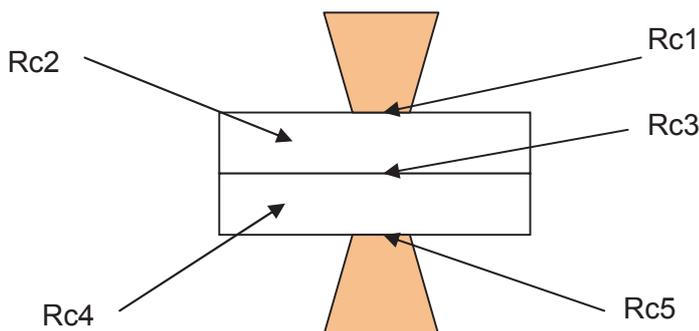
La continuité métallique est obtenue par l'application simultanée d'un **passage de courant électrique** et d'un **effort de forgeage**. L'effort est appliqué aux électrodes de la machine, dont le rôle est aussi de véhiculer le courant électrique et d'évacuer les calories.

Le courant circulant entre les électrodes est freiné par une résistance R. Outre les résistances intrinsèques des électrodes, la résistance est constituée de 5 résistances s'additionnant:

- **R₁, R₃ et R₅** : résistances de contact
- **R₂ et R₄** : résistances pures ou intrinsèques des pièces à souder

Chaque résistance délivre une énergie calorifique calculée suivant : **$W=W_1+W_2+W_3+W_4+W_5$**

Le point de soudure se fera entre les 2 pièces seulement si **R₃** est la plus grande des résistances, le cas normal. Si ce n'est pas le cas, la soudure apparaîtrait à l'endroit de la résistance la plus élevée donc en dehors de l'interface entre les 2 tôles. Donc **R₃ devra être tjrs la + grande résistance**. Mais comme **R₃** diminue lors de la réalisation du point et que **R₁** et **R₅** augmentent avec l'échauffement et la dégradation des électrodes. Dès que **R₁** et **R₅** sont proche de **R₃**, il faudra arrêter le soudage et remettre en état les électrodes.



Influence des résistances de contact et des résistances pures

Une résistance de contact est plus importante qu'une résistance pure. Elle dépend de la nature du matériau (dureté, résistivité), état de surface (rugosité, traitement, oxyde), de la T°, et surtout de l'effort appliqué par les électrodes. Elle varie également avec l'effort.

Pour avoir la création du noyau, il faut apporter plus d'énergie que la pièce ne peut en dissiper. Il faut donc fournir une puissance > à la puissance calorifique ($P = R \times I^2$). Si l'effort ↗, R_3 ↘.

La résistance pure est déterminée par :

$$R = \rho \times \frac{L}{S} \rightarrow \rho = \rho_0 \times (1 + \alpha(\theta - 20))$$

Avec :

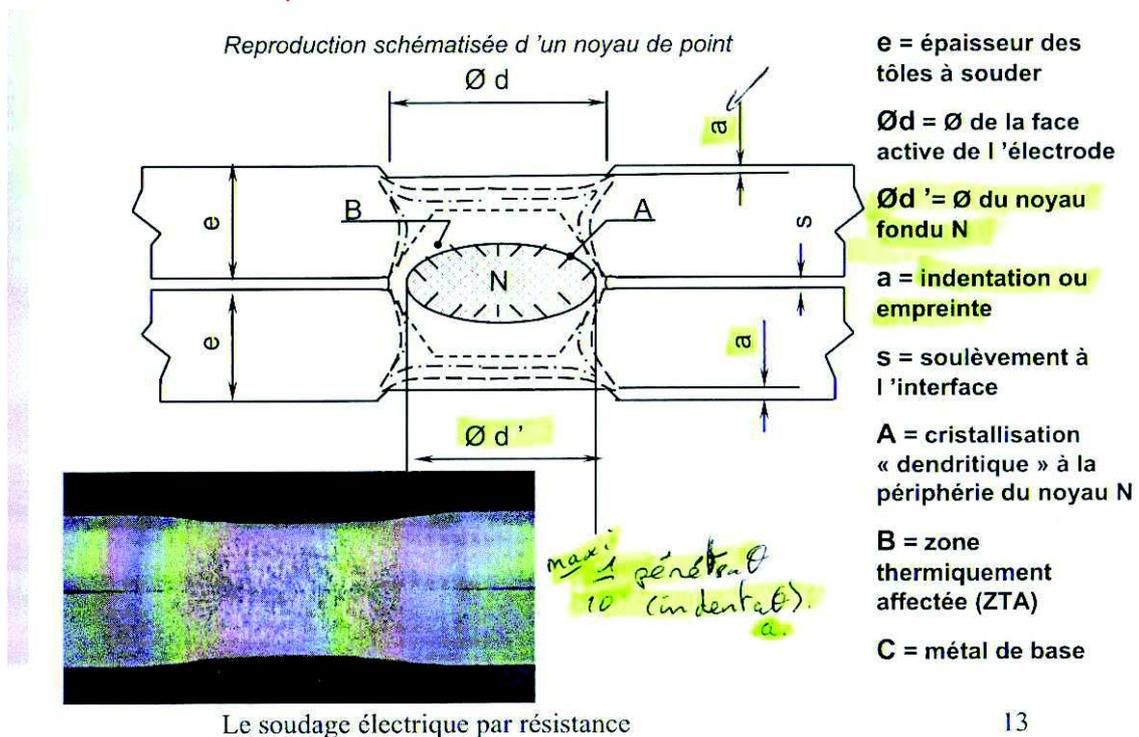
- ρ : résistivité du métal, constante du métal ($\mu\Omega/cm$)
- L : longueur de résistance (ép. de la pièce en cm)
- S : section de la partie active de l'électrode (en mm²)
- ρ_0 : résistivité de la pièce à 20°C
- α : le coefficient de dilatation linéaire du matériau
- θ : la température considérée

Constitution d'un point de soudage

- Au début, l'échauffement est prépondérant au niveau de R3 donc on a une élévation locale de la T° due à l'effet JOULE.
- Rapidement, la chaleur engendrée provoque une augmentation des résistances des tôles R2 et R4 dans zone de contact. Cela favorise formation d'un petit volume de métal fondu.
- La chaleur se propage, contribuant au développement de la ZF constituant le noyau. Ce noyau est entouré de métal froid appelé **creuset plastique** se comportant comme un moule froid et des électrodes en contact avec tôles
- En phase plasticité, **électrodes** pénètrent dans la peau des tôles en laissant **une empreinte : indentation**.
- Après l'arrêt du courant, le creuset plastique refroidit très rapidement entraînant en fin de solidification une retassure.

Ensuite on a une phase de forgeage (effort maintenu ou accru durant le refroidissement) qui permet de limiter ces défauts et d'affiner la qualité métallurgique du grain

Mécanisme de constitution du point



13

La machine est constituée par :

- Le vérin
 - o Hydraulique
 - o Pneumatique
- moteur électrique
 - o le transformateur on soude en alternatif monophasé
- l'interrupteur électronique : utilisation des périodes (20 millisecondes)
- le séquenceur ou coffret de commande
 - o la durée de l'accostage
 - o la durée du cycle de soudage
 - o l'intensité de soudage
 - o la durée et la force de forgeage
- recuit
- intervalle entre deux points
- le dispositif de refroidissement

1.13.1 Les électrodes

ont 3 rôles important

- **Electrique** : elles doivent avoir une bonne conductibilité électrique, mais le cuivre pur est déconseillé car ses caractéristiques mécaniques sont trop faibles. **Préférer les alliages de cuivre au chrome.**
- **Mécanique** : elles doivent supporter mécaniquement les montées en pression. En effet, elles permettent l'accostage des pièces, le maintien du creuset plastique et le forgeage.
- **Thermique** : elles doivent limiter l'expansion du creuset plastique en évacuant les calories apportées par l'apport de l'énergie de soudage

1.13.2 PRESSES DE SOUDAGE

Les presses à souder par résistance sont des machines massives fixes. C'est donc la pièce qui se déplace pendant l'opération de soudage.

1.13.3 PINCES À SOUDER À TRANSFORMATEUR INCORPORE

Ce sont des machines autonomes ayant les mêmes organes que les presses à souder. Une partie de leur masse est supportée par un palan qui permet à l'opérateur de positionner les électrodes à l'endroit où il doit faire le point de soudure. Ce sont des machines plus fragiles que les presses. Elles sont limitées en puissance et ne peuvent faire qu'un point à la fois.

PINCES À SOUDER À TRANSFORMATEUR DEPORTE

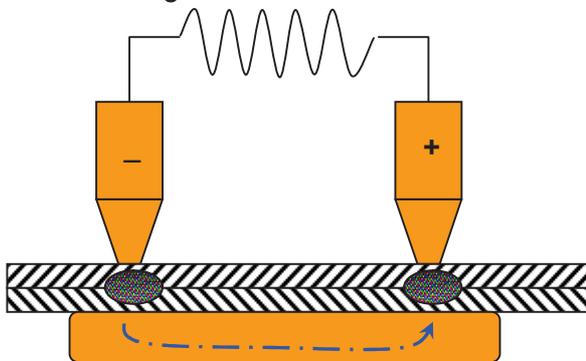
Utilisées sur des robots ou les machines automatiques. Le courant électrique secondaire doit être véhiculé par des câbles à basse impédance généralement. Les câbles sont refroidis par eau. Leur positionnement sur la machine doit être optimisé pour limiter l'impédance du circuit électrique secondaire.

1.13.4 MACHINE MULTI-POINTS

Elles permettent de réaliser plusieurs points en même temps. Elles sont de plusieurs types :

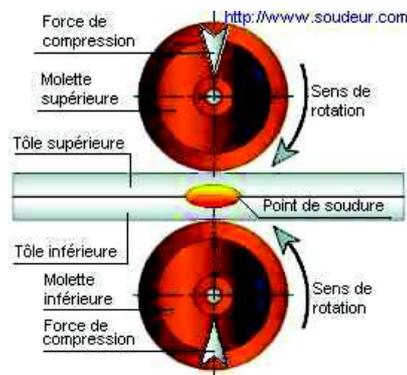
Machine double point parallèle : elle permet de faire 2 points en même temps, permettant de gagner du temps. La force d'**accostage** doit être égale pour une résistance de contact identique et l'**intensité** totale doit être égale à l'intensité de chaque point multipliée par le nombre de point à réaliser.

Machine double point série : elle diffère de l'autre procédé par le fait que les deux points sont réalisés par le même courant de soudage. Les pièces sont posées sur une table en cuivre pour permettre le passage du courant. Largement utilisé dans l'automobile.



1.13.5 MACHINE À SOUDER A LA MOLETTE (22)

Machine permettant de faire des points en continu. Les électrodes sont des roues en cuivre qui tournent à vitesse programmée. Suivant le cycle de soudage et la vitesse de cadencement des points, on peut obtenir des point imbriqués ou non.

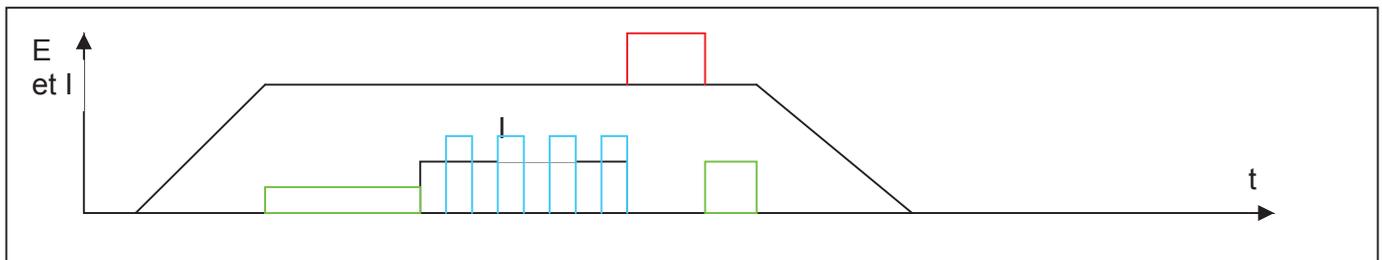


Paramètres de soudage

- Taille du point : limitée à la zone chauffée par le courant électrique. A cause de la déperdition thermique, le \varnothing du point est toujours plus petit que le cylindre $\varnothing_{\text{électrode}} \times \text{hauteur}_{\text{pièces}}$. Le $\varnothing_{\text{électrode}}$ dépend de l'épaisseur : $\varnothing = 5\sqrt{e}$ ou $\varnothing = 2e + 3 \text{ mm}$ pour l'acier. $\varnothing_{\text{mini}} = 3,5\sqrt{e}$
- Intensité : se fait par le réglage de l'angle d'ouverture du thyristor. Cela détermine l'intensité efficace, donc l'énergie calorifique.
- Plus le matériau est conducteur, plus l'intensité \nearrow et \searrow du temps.
- Le rapport d'épaisseur acceptable doit être ≤ 3

1.13.6 Réglage cycle de soudage simple

Trois phases : accostage – soudage – maintien (ou forgeage).



Le cycle classique est représenté en noir :

Accostage pendant 15 périodes

Soudure pendant 5 périodes à X%

Maintien pendant 10 périodes

Le cycle rouge représente le forgeage avec une augmentation de l'effort en fin de cycle lors du refroidissement. En vert, c'est le pré et post chauffage.

Lorsque l'on veut réaliser un cycle de soudage long, il est préférable de réaliser des trains d'ondes de 5 périodes afin de favoriser la diffusion de la chaleur. C'est le cycle bleu.

Cycle de soudage simple :

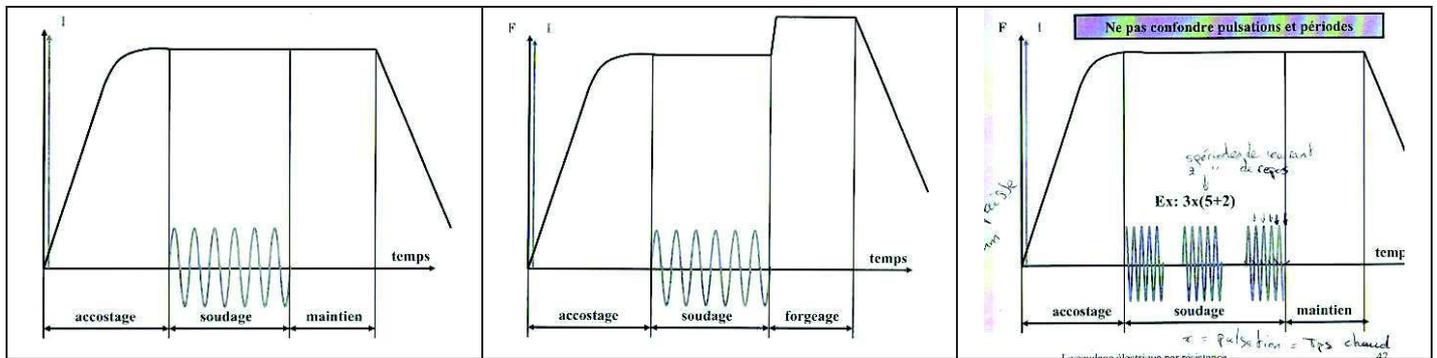
- Temps d'accostage pour atteindre 90% d'effort
- Temps de soudage
- Temps de main tien minimum $\frac{1}{2}$ temps de soudage

Avec Forgeage : Application de l'effort pendant le soudage

Cycles de soudage :

Les plus utilisés :

Cycle simple	Avec Forgeage	Pulsations
--------------	---------------	------------



1.13.7 Soudabilité

Elle est fonction des réglages d'effort, d'intensité et de temps. Trois types de points sont possibles :
 Point correct et dimension souhaitée
 Point collé, sans résistance mécanique
 Projections excessives

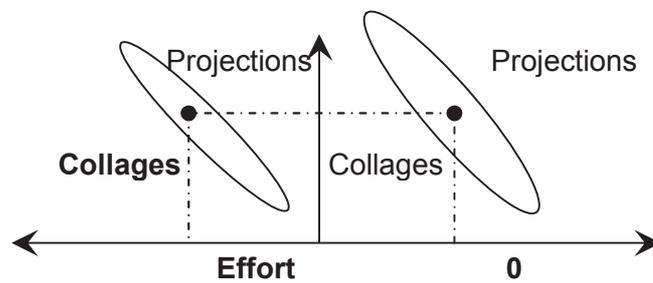


Diagramme de soudabilité (image)

1.13.8 Aciers non alliés

Jusqu'à 0.18 % de carbone sinon post chauffage ep courant 0.5 à 3 mm
 HLE idem précédent mais + temps+ effort+ intensité
 Inox

1.13.9 Ferritique au chrome

pré et post chauffage + 1 cycle + long
 Austénitiques soudent avec temps court et maintient long
 Martensitiques ne se soudent pas sans TTh global après soudure

1.13.10 Aciers alliés

Fer a béton en croix et bout a bout
 Corten « cuivre phosphore » possible malgré l'effet trempe
 Acier décolletage déconseillé

1.13.11 Aciers revêtu

- Zingués et galvanisés
- Attention épaisseur de zinc (3 à 7 μm) et de galva (20 à 30 μm)
- Electrode détériorer par le zinc
- Plombées se soudent bien
- Peinte ou plastifie idem avec temps court
- Etamées idem que les tôles zingués
- Bi métalliques possible mais il faut que
- La résistance de contact
- La résistivité d'une pièce supérieure à l'autre
- Dispersion des calories

Soudage par RESISTANCE PAR BOSSAGE

Création de bossage avant soudage :

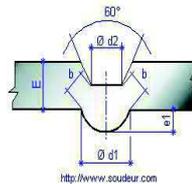
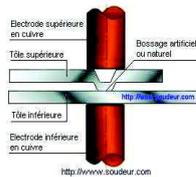
AVANTAGES	INCONVENIENTS
Souder plusieurs bossages en un cycle	Puissance élevée des machines
Localisé exactement les points de soudés	Éléments mobiles d'effort avec de l'inertie pour accompagner le bossage durant sa phase d'effondrement
Souder sans déformation	Outillages importants
Élimine l'empreinte sur l'une des tôles	Électrodes précises massives ou en plusieurs parties
Faible usure des électrodes	Assemblage par recouvrement uniquement
De pouvoir rapporter des pièces mécaniques sur la tôle	Préparation des bossages artificiels
Possibilité de souder des pièces massives	Équilibrage de la densité de courant dans les bossages

1.13.12 Principe

Dans ce cas, les électrodes n'assurent plus la fonction d'effort et de courant, c'est une déformation locale de la tôle au niveau d'une protubérance, appelée **bossage** qui remplit ce rôle. Le bossage peut être semi-hémisphérique (+ courant), oblong ou annulaire.

1.13.13 Définition

Le procédé de soudage est comparable au procédé de soudage par résistance par points. Les pièces à souder sont superposées (assemblage par recouvrement) et sont serrées localement entre deux électrodes en alliage de cuivre. Le bossage, obtenu par emboutissage de la pièce, assure la concentration du courant de soudage et la localisation de la soudure. L'ensemble pièces/électrodes est traversé par courant de soudage provoquant une élévation de T° par effet Joule à l'interface des deux pièces et la fusion localisée des deux pièces dans la zone de positionnement du bossage ou des bossages. Lorsque la matière atteint un certain degré de plasticité, le bossage s'affaisse et l'assemblage des deux pièces est réalisé.



1.13.14 Profil type du bossage artificiel et naturel

Il y aura un **échauffement** excessif de la protubérance si la côte e_1 est trop forte, car la résistance électrique du bossage sera trop importante.

Il y aura **collage** si la côte e_1 est trop faible, car l'énergie produite sera insuffisante.

Il y aura un effondrement trop rapide du bossage si la côte b est trop faible.

Bossages naturels : les pièces assurent la fonction de bossage suivant leur forme géométrique.

Bossages artificiels : le bossage est réalisé mécaniquement par déformation plastique ou par usinage.

Dimension de BOSSAGES			
Épaisseur	Diamètre d_1	e_1	Diamètre d_2
Tôle 1 mm	3.2	0.8	1
Tôle 2 mm	4	1	1,25
Tôle 3 mm	5	1.25	1.6

La forme et la dimension du bossage dépendent :

- de l'épaisseur et de la nuance des pièces,
- de l'intensité du courant,
- du temps de passage du courant,
- de la section de contact des électrodes et de l'effort appliqué aux électrodes.

1.13.15 Installation pour soudage par résistance de bossage

- Un transformateur de courant de soudage.
- Un dispositif de mise en pression des électrodes.

- Un dispositif de commande du cycle de soudage.
- Un circuit de refroidissement avec contrôle en température.

1.13.16 Types de transformateur

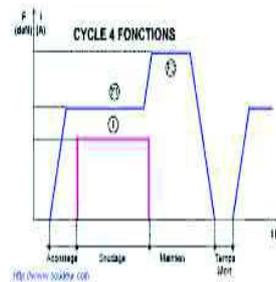
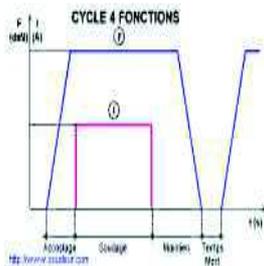
- Les transformateurs monophasés
- Les transformateurs triphasés avec changement de fréquence
- Les transformateurs triphasés avec redresseurs
- Les transformateurs électrostatiques (décharge de condensateurs)

1.13.17 Types de mise en pression des bossages

- La commande manuelle
- La commande pneumatique
- La commande hydraulique (eau ou huile)
- La commande mécanique

1.13.18 Cycle de soudage par résistance de bossages

Cycle simple de soudage le plus fréquemment utilisé :



1.13.19 Essais pour qualifier et contrôler le soudage par résistance en général

- Tenue mécanique :
Essai de déboutonnage : Epaisseur Référence lié au Rivet Matière ou Matière arrachée
Les spécifications sont données en tableau ; si $0,55 \leq ER \leq 0,7$ mm $\rightarrow \varnothing \geq 3$ mm, etc...

- Défauts de forme et d'aspect

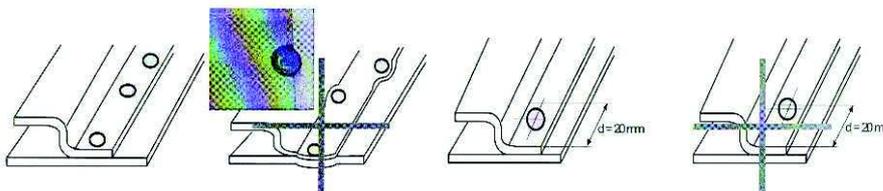
Pour la forme, ils peuvent affecter la tenue des points.

Pour l'aspect, ils sont non acceptables ou blessant

Défauts	Cause	Risque
Point déformé	alignement machine	↘ tenue mécanique
Point indenté	Trop d'effort et Intensité	Crachement point
Point percé	Electrode encrassée Effort trop faible	
Point criqué		
Point avec éclats		Bavures coupantes

- Défauts de position

Le point soudé a une mauvaise position, soit par rapport au bord, soit trop près de la tôle



- Essai de déboutonnage

Essai rapide permettant de déterminer le \varnothing du bouton

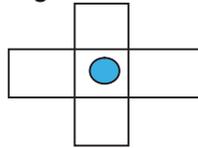
- Traction cisaillement

Traction transversale au bouton selon NF A 89-206



- Traction pure (en croix) selon NF A 87-001

Facilite le déboutonnage



Pour vérifier la qualité du soudage d'un point de soudure par résistance, plusieurs essais destructifs sont réalisés :

- L'examen macrographique et/ou l'examen micrographique
- La filiation de dureté sous cordon des aciers susceptibles à la trempe
- L'essai de traction et de cisaillement
- L'essai d'arrachement ou de déboutonnage
- L'essai d'endurance ou de fatigue

Il est possible également de réaliser des contrôles en ligne sur la machine de soudage :

- En mesurant au cours de la séquence de soudage, l'évolution de la valeur de la résistance électrique et de la tension. En effet, cette résistance décrit une courbe caractéristique du bon déroulement du point de soudure.
- En mesurant la valeur d'écrasement des points de soudure et en déterminant une mesure limite haute et basse pour chaque point.
- En mesurant la température du point de soudure au cours de la séquence de soudage.

Mash Welding

Il consiste au recouvrement de 2 bords
Vitesse 15 à 20 m/min
Recouvrement de 0,8 à 1,2 x épaisseur



Soudage en bout par ETINCELAGE

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Excellente qualité des joints soudés	Section admissible des pièces en fonction de la capacité de la machine
Rapidité d'exécution	
Possibilité de souder des formes très variées	Demande une grande puissance électrique
Limitation des déformations	Perte de matière lors du soudage par étincelage
Absence de préparation des bords à souder	Bourrelet externe à éliminer par usinage
Possibilité d'automatisation	
Zone thermiquement affectée très faible	
Pas de protection du bain de fusion	

1.13.20 GENERALITE

1.13.20.1.1 Désignation normalisée

Française : Soudage par Etincelage (24).

Américaine : Flash welding

Désignation internationale: **241** : Soudage par étincelage avec préchauffage

242 : Soudage par étincelage sans préchauffage

1.13.20.1.2 Principe

Le processus de soudage est réalisé sur une machine automatique. Les pièces à souder sont maintenues solidement par des mâchoires ou mors. Une des mâchoires est fixe et l'autre mâchoire est mobile en translation. Les pièces sont appliquées l'une contre l'autre avec un effort de pression modéré. L'ensemble est traversé par un courant de soudage qui provoque une suite de **micro arcs électriques** entre les

aspérités du métal. C'est **ce qui provoque l'échauffement** (et non pas l'effet joule) et la fusion localisée des deux pièces dans la zone de contact des aspérités des pièces. **Un mouvement de déplacement lent à vitesse constante est appliqué à la mâchoire mobile**. Des effets magnétiques violents chassent le métal en fusion et génèrent des étincelles. **Lorsque toute la section des pièces est en fusion, un déplacement rapide et une forte pression sont appliqués pour assurer le forgeage** avec chasse des impuretés et création d'un bourrelet externe sur les pièces.

1.13.20.1.3 Installation

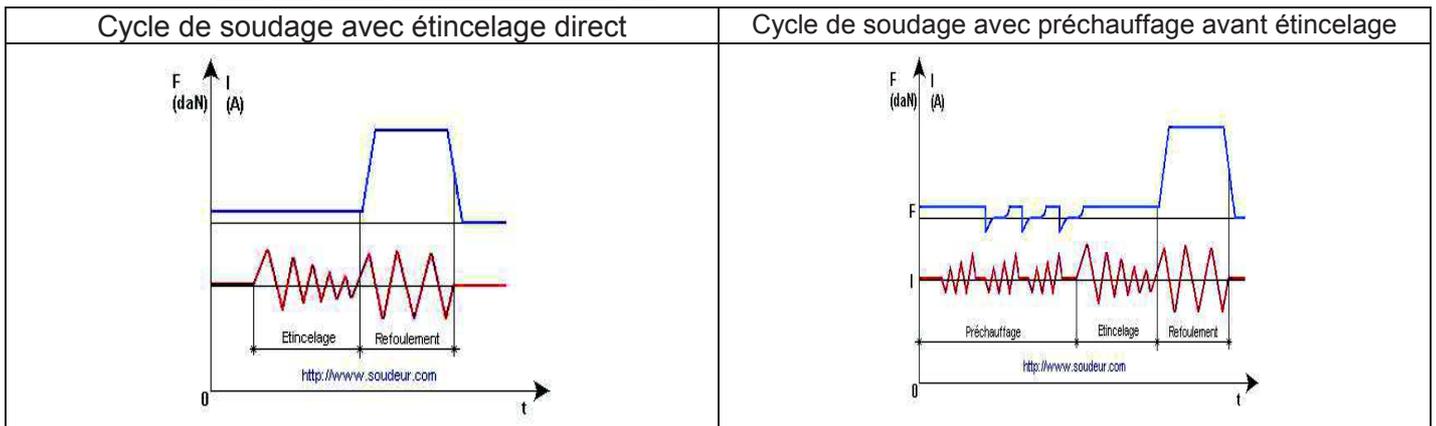
Un transformateur de courant de soudage

Un dispositif de serrage des pièces par vérins pneumatiques ou hydrauliques

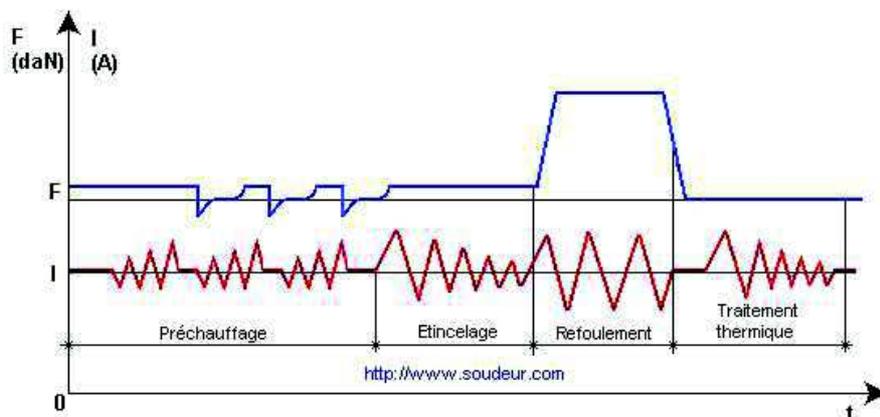
Un dispositif de déplacement du mors mobile

Un dispositif de commande du cycle de soudage

1.13.20.1.4 Réglage Cycle de soudage



Cycle de soudage avec préchauffage et Traitement Thermique



1.13.21 Paramètre de soudage du procédé par étincelage en bout

1.13.21.1.1 Intensité de soudage :

L'intensité est déterminée lors de la phase d'étincelage par les valeurs indicatives suivantes : de 5 à 30 A/mm².

L'intensité est déterminée lors de la phase de refolement par les valeurs indicatives suivantes : de 30 à 40 A/mm².

1.13.21.1.2 Tension de soudage :

Il faut adopter une tension minimale compatible avec un étincelage optimal. La formule de calcul estimatif est égale à **0,5 V x Ø_{barre}**.

Soudage en bout par RESISTANCE PURE

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Rapidité de soudage	Les pièces à assembler doivent être dressées pour avoir une bonne portée des surfaces à souder
Pas de projections	La section doit être limitée pour appel du courant

	Le bourrelet est important (donc consommation importante du métal à prendre en compte pour la longueur initiale des pièces)
--	---

1.13.22 GENERALITE

1.13.22.1.1 Désignation normalisée

Française : Soudage en bout par résistance pure.

Américaine : Résistance butt welding

Numérique internationale : **25**

1.13.22.1.2 Principe

Le principe du soudage en bout par résistance allie le principe du soudage par pression avec l'effet de transformation de l'énergie électrique en énergie calorifique. Ce principe est connu sous le nom d'effet joule. Il ressemble beaucoup au soudage par point.

Les pièces sont serrées dans des mâchoires en alliage de cuivre, reliées au secondaire du transformateur. L'une des mâchoires est fixe, l'autre, mobile assure la mise en effort de l'assemblage.

Le courant étant établi par effet joule, le métal situé entre les mâchoires s'échauffe avec une élévation de température plus importante, à l'interface des pièces, ce qui est la manifestation d'une résistance de contact élevée.

Les systèmes d'avance du mors mobile sont commandés par des vérins pneumatiques ou hydrauliques ou des cames entraînées par moteur.

1.13.23 Cycle de soudage

Les pièces sont usinées afin d'obtenir le meilleur contact possible au niveau du joint.

- **Accostage** : les pièces sont mises en contact.
- **Echauffement** : il se produit par effet joule. Le courant est interrompu avant que la zone de liaison ne soit en fusion. Le métal est suffisamment ramolli pour être forgé.
- **Forgeage** : on repousse la partie chauffée par un violent effort de forgeage

1.13.23.1.1 Applications dérivées

D'autres procédés dérivés du soudage par résistance existent :

- Soudage par décharge de condensateurs : on charge une batterie de condensateurs et on les décharge dans le primaire d'un transformateur. Donc on a une puissance plus faible sur un temps plus long pour charger les condensateurs (pas de surcharge du réseau). C'est un procédé très répétitif.
- Soudage en courant triphasé redressé : cela évite le déséquilibre du réseau triphasé comme dans le soudage par point (machine monophasée).
- Brasage par résistance : on se sert de la machine pour chauffer la pièce. Les flux sont solides du fait de la force de serrage. Il est difficile de maîtriser les jeux ce qui est important pour la capillarité. Soudage par bossage

1.14 Autres procédés de soudage

Le soudage Plasma

Plasma : 4^{ème} état de la matière – Le confinement de l'arc électrique permet d'obtenir une température très élevée dans la colonne d'arc.

Electrode au W à la cathode (-)