

Formation au soudage à l'arc
électrique à l'électrode
enrobée

Procédé 111

Electrode enrobée

Apports théoriques et
pratiques



D.DAZINIÈRE

SOMMAIRE

| | |
|-----------------------------------------|---------|
| Historique | 2 |
| Principe | 3 |
| Dénomination du procédé | 4 |
| Schéma d'une installation | 5 |
| Appareil de soudage | 6-7-8 |
| Choix d'un poste de soudage | 9 |
| Les électrodes enrobées | 10-11 |
| Fusion de l'électrode | 12 |
| Caractéristiques des électrodes | 13 |
| Caractéristiques des enrobages | 14-15 |
| Conservation des électrodes | 16-17 |
| Reconnaitre une électrode humide | 18 |
| Etuvage des électrodes | 19 |
| Plaque signalétique des appareils | 20 à 24 |
| Prise de masse | 25 |
| Accessoires pour le soudage | 26 |
| Préparation des bords | 27-28 |
| Choix du diamètre de l'électrode | 29 |
| Choix de l'intensité | 30 |
| Choix du verre filtrant | 31 |
| Méthodologie de recherche de paramètres | 32 |
| Bibliographie | 33 |
| Annexes | 36 à 44 |

HISTORIQUE

En 1885 à Saint Pétersbourg, deux russes BERNANOS et OLSZENSKI réalisent la fusion localisée du métal en faisant jaillir un arc électrique entre une électrode en charbon et une pièce métallique.

En 1888, SLAVIANO, russe également, réalise la première soudure en faisant jaillir un arc électrique entre une pièce métallique et un simple fil de fer.

Le soudage à l'arc était né mais les qualités de l'assemblage étaient médiocres du fait des dépôts exécutés à l'air libre.

En 1907, le Suédois Oscar KJELLBERG enrobe l'électrode d'un produit réfractaire.

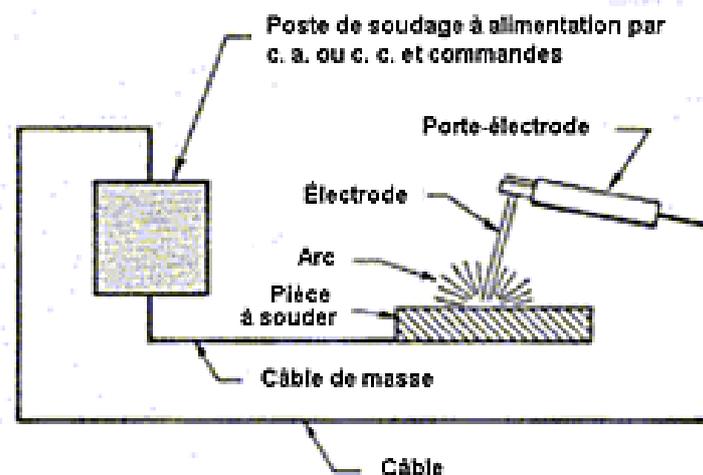
Ce n'est qu'en 1925 que le soudage à l'arc avec électrode enrobée prit réellement son essor.

PRINCIPE

Le procédé utilise la chaleur d'un arc produit par le passage d'un courant électrique entre la pièce et l'extrémité de l'électrode.

La chaleur dégagée par l'arc fait fondre très localement la pièce à souder et crée le bain de fusion. Cette chaleur fond simultanément l'électrode, dont le métal, à l'état liquide, est projeté dans le bain de fusion formant ainsi la soudure.

En fondant, l'enrobage de ces gaz protège le métal en fusion contre l'oxydation de l'air. Puis, se solidifiant, il forme le laitier qui protège la soudure au cours de son refroidissement.



Circuit de base du soudage à l'arc électrique

Le métal de base et le porte-électrode sont liés à chaque borne de l'appareil de soudage.

En écartant de quelques millimètres l'électrode de la pièce, on obtient un arc électrique qui provoque la fusion simultanée du métal de base et de l'électrode.

DENOMINATION DU PROCEDE

- **Dénomination Française :**

Soudage à l'arc avec électrode enrobée (S.A.E.E.)

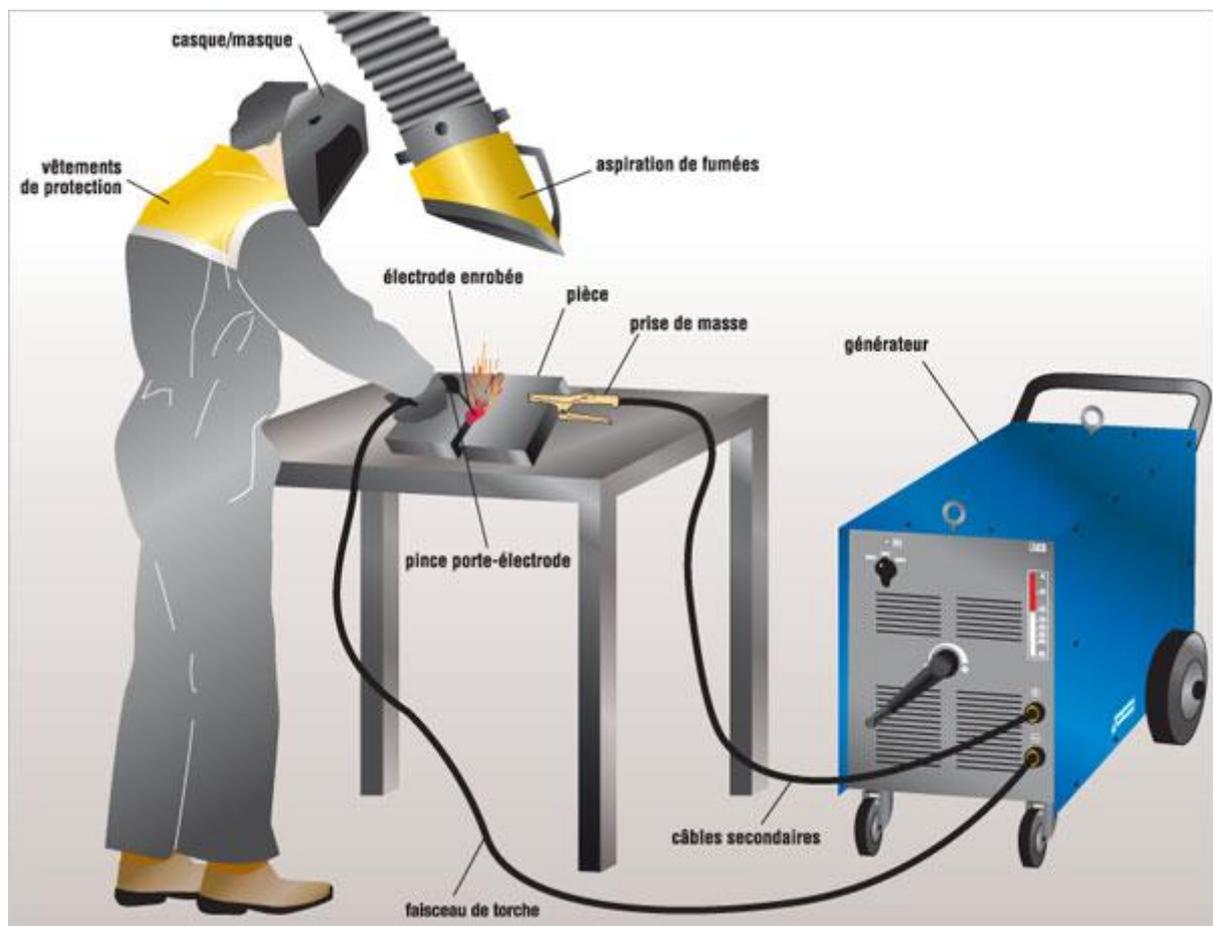
- **Dénomination anglo-saxonne :**

Shielded Metal Arc Welding (S.M.A.W.)

- **Dénomination selon la norme Française N.F.E. 04201 :**

Procédé n° 111

SCHEMA D'UNE INSTALLATION DE SOUDAGE A L'ARC AVEC ELECTRODE ENROBEE



APPAREILS DE SOUDAGE

Généralités :

Ce sont des appareils qui permettent de transformer le courant du réseau (tensions élevées et faibles intensités) en courant de soudage (faibles tensions et fortes intensités).

Il existe deux catégories d'appareils :

- Les postes de soudage à courant alternatif (Transformateur – statique)
- Les postes de soudage à courant continu (Transformateur – redresseur, Génératrice)

LES TRANSFORMATEURS STATIQUES

Ils délivrent un courant de soudage alternatif. Ils étaient fréquemment utilisés avant l'arrivée des postes onduleurs.

De faible prix, ils permettent difficilement l'amorçage des électrodes basiques.



LES TRANSFORMATEURS REDRESSEURS :

Ils délivrent un courant continu.

D'utilisation universelle, ils permettent l'amorçage de tous types d'électrodes.



LES ONDULEURS :

Récemment apparus sur le marché, ce sont des redresseurs qui font appel à une technique électrique. Il en résulte une forte diminution de l'encombrement et du poids.

Ils délivrent du courant continu.



CHOIX D'UN POSTE DE SOUDAGE A L'ARC AVEC ELECTRODE ENROBEE

Ce choix repose sur les facteurs suivant :

- **Diamètre des électrodes utilisées :**

Voir tension d'amorçage ou tension à vide « U₀ » sur la plaque signalétique du poste (≥ 70 V)

Plus l'électrode est de gros diamètre plus la tension à vide et l'ampérage doivent être élevés.

- **Type de travaux à exécuter**

Tuyauterie, travaux délicats :

- Commande à distance

Conditions d'utilisation :

- Soudage continu ou occasionnel
- Facteur de marche (*temps pendant lequel peut marcher à plein régime*)
- Intensité maximum en fonction des épaisseurs à souder.

Lieu d'exécution des soudures :

- Atelier : transformateur redresseur
- Chantier : onduleur.

Tension disponible sur le réseau :

- 380 V
- 220 V

LES ELECTRODES ENROBEES

Elles sont composées de deux parties distinctes :

1 . L'âme

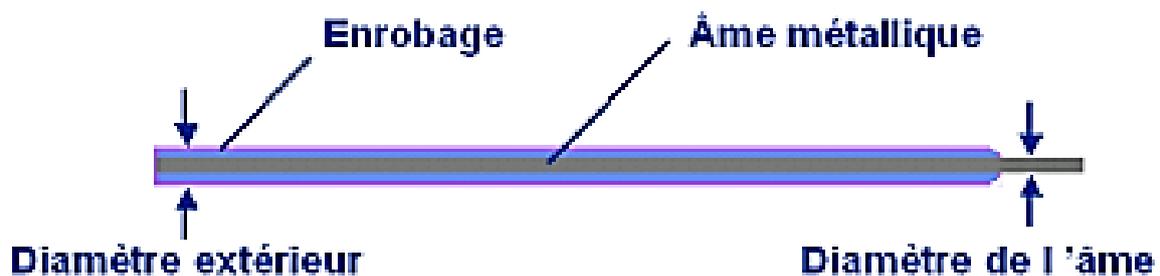
Partie centrale métallique en fil rond dont le rôle est de conduire le courant électrique et de constituer le métal déposé. Le métal de l'âme doit être de même nature que le métal de base.

2 . L'enrobage

Cylindrique et rigoureusement concentrique à l'âme, sa constitution physique et chimique est complexe.

Son épaisseur est variable selon le rendement de l'électrode ou sa destination (maniabilité).

Il existe des enrobages minces, semi-épais, épais.



👉 Rôle de l'enrobage

L'enrobage à trois rôles distincts :

1 .Rôle électrique

Grâce à l'action ionisante des silicates, il facilite le passage du courant entre l'extrémité de l'électrode et la pièce à souder, favorisant ainsi l'amorçage et la stabilité de l'arc.

2 . Rôle métallurgique

L'enrobage en fondant crée une atmosphère gazeuse protégeant le bain de fusion contre l'oxygène et l'azote de l'air. Il dépose un laitier plus léger que le métal fondu qui surnage en le protégeant contre l'oxydation.

Il comporte des produits actifs (ferromanganèse, ferrosilicium) qui compensent les pertes subis par l'âme pendant la fusion.

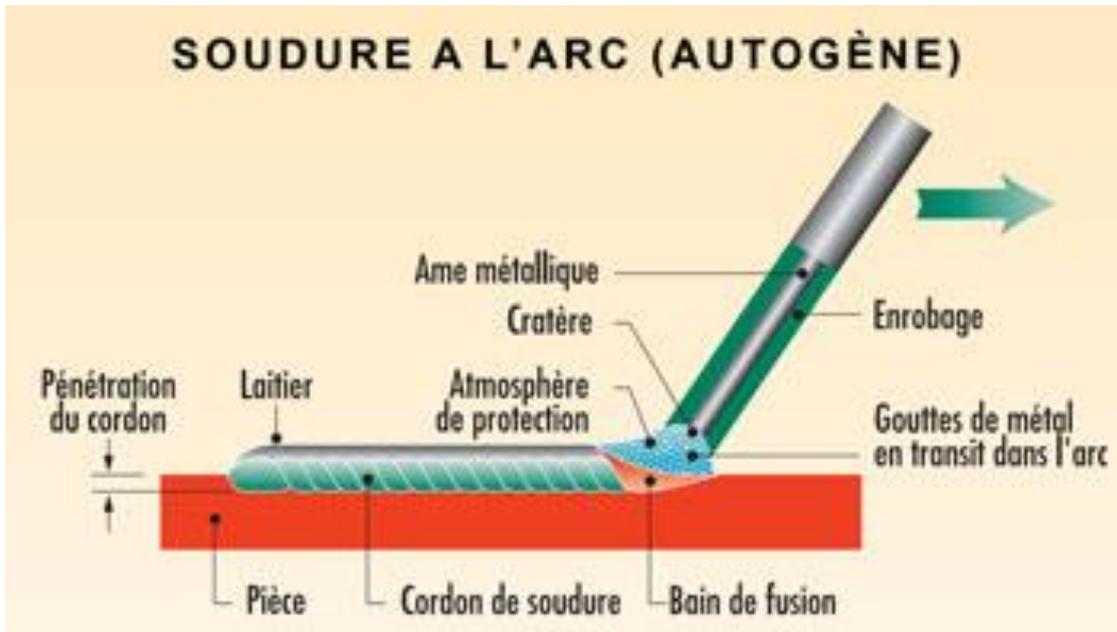
Par addition de poudre de fer dans l'enrobage, on peut augmenter le rendement des électrodes (électrodes à haut rendement).

3 . Rôle mécanique

En cours de fusion de l'électrode, il se produit à son extrémité une dépression appelée « cratère ».

Le cratère a une influence directe sur le guidage de l'arc et permet ainsi le soudage en position.

FUSION DE L'ELECTRODE



CARACTERISTIQUES DES BOITES D'ELECTRODES

The diagram shows a box of SAFER G 48N electrodes with various characteristics highlighted in colored boxes:

- Logo et marque de l'électrode:** SAF-FRO logo.
- Intensités moyennes et maxi:** 140-190 A.
- Tension à vide U0:** 50V.
- Désignation commerciale du modèle d'électrode:** SAFER G 48N.
- Diamètre et longueur de la baguette:** 4,0 x 350 mm.
- Numéro du lot:** Lot: 06976-90560.
- Coordonnées du fabricant du produit:** AIR LIQUIDE WELDING - France, 13 Rue d'Electrode SAINT-DOLME-LEZ-LYON, F-95315 CERGY-PONTOISE Cedex 77, France. Tel: +33 (0)1 34 21 33 33, Fax: +33 (0)1 34 21 31 30, Internet: airliquidewelding.com.
- Position de soudage conseillé ou possible:** Indicated by a symbol showing the electrode position.
- Source de courant:** Indicated by a symbol showing the power source type.
- Désignation normalisée de l'électrode selon les normes EN ISO et AWS:** EN ISO 2560-A E 38 0 RC 11, AWS A5.1 E 6013.
- Agréments d'entreprises privées:** ABS - BV - DNV, SNCF.
- CE mark:** 0036 06, 0036-CPD-C307, EN 13479.

www.rocdacier.com

CARACTERISTIQUES DES ELECTRODES

Caractéristiques dimensionnelles (extrait de la norme française NFA 81-301).

| ∅ mm | L mm |
|--------------|-------------------------------------|
| 1,25 | (150) – 200 |
| 1,60 | (150) – 200 – (225) – 300 |
| 2,00 | 200 – 250 – (300) – 350 |
| 2,50 | (300) – 350 – 450 |
| 3,15 | (300) – 350 – 450 |
| 4 – 5 – 6,30 | 350 – 450 – 500 – (600) – 700 – 900 |

Les électrodes sont désignées par le diamètre de l'âme métallique et non par le diamètre de l'enrobage.

CARACTERISTIQUES DES ENROBAGES

Enrobage rutile « R »

De loin les plus employés, ils sont à base d'oxyde de titane avec une faible proportion de cellulose.

Domaine d'utilisation : pour tous travaux

- Belle présentation
- Facilité d'enlèvement de laitier
- Bonnes caractéristiques mécaniques.

Particularité d'emploi :

- Courant alternatif ou courant continu (-) à l'électrode.

Tension d'amorçage :

- Environ 50 Volts.

Enrobages cellulosiques « C »

Ils sont fortement chargés en cellulose rendant l'enrobage très volatil.

Domaine d'utilisation :

- Soudage en verticale descendante
- Pour le soudage de pipeline ou le soudage de tôles galvanisées

Particularité d'emploi :

- Courant alternatif ou continu (+) à l'électrode, sauf indication contraire du fabricant

Tension d'amorçage :

- Supérieure à 70 Volts

Enrobages acides « A » et oxydants « O »

Ils n'ont plus cours à l'heure actuelle.

Composés uniquement d'oxyde de fer, de silice, et souvent de manganèse, ils offrent une très belle présentation.

Domaine d'utilisation :

- Tôles minces, recherche de cordon et bel aspect

Particularité d'emploi :

- Courant alternatif ou continu (-) à l'électrode

Tension d'amorçage :

- 40 à 45 Volts

Enrobages spéciaux « S »

Ils ne rentrent pas dans les familles citées ci-dessus.

Ex : Rechargement, Fonte, Aluminium...

Enrobage basique « B »

Les caractéristiques mécaniques du métal déposé sont excellentes. Ils sont dits à bas taux d'hydrogène (hydrogène inférieur à 5 cm³ pour 100 grammes de métal déposé).

Ils sont composés de carbonates de calcium additionnés de fondants (spathfluor).

Domaine d'utilisation :

- Construction de qualité où les critères de sécurité sont sévères
- Recherche de bonnes résiliences à basse température.

Particularités d'emploi :

- Courant alternatif
- Courant continu

Le **plus** à l'électrode pour les passes de remplissage

Le **moins** à l'électrode pour les passes de pénétration

Tension d'amorçage :

- 70 à 80 Volts

CONSERVATION DES ELECTRODES

L'enrobage des électrodes risque principalement d'être endommagé de trois manières :

- Mécaniquement
- Par humidité
- Par vieillissement

Mécaniquement

Principalement les chocs qui peuvent détruire l'enrobage à l'extrémité de l'électrode et rendre ainsi l'amorçage plus difficile voire impossible.

Absorption d'humidité

Une trop forte teneur en humidité entraîne des défauts dans les soudures (porosités).

Les électrodes à enrobage rutile ou cellulosique sont peu sensibles à l'humidité et peuvent en tolérer un pourcentage sans entraîner de porosités. Il en va différemment lorsque l'humidité atmosphérique est élevée. On doit alors veiller à leur protection, surtout lors de stockage.

Ce sont des électrodes à enrobage basique et à faible teneur en hydrogène qui sont plus susceptibles, en particulier des électrodes employées pour des assemblages représentant un risque de fissuration sous le cordon.

Les électrodes doivent être entreposées dans une salle dont la température n'est pas inférieure à 10°C.

Dans le cas des électrodes basiques, la température doit être, si possible, de 15°C avec une humidité relative inférieure à 40 %.

Les prélèvements sur stock ne doivent pas dépasser les besoins d'une journée de travail.

Cependant, l'action directe de l'humidité n'est pas seule en cause.

La condensation intervient également lorsque les variations de température diurne et nocturne sont importantes et que les électrodes sont stockées dans des locaux non chauffés.

De jour, l'air s'échauffe rapidement alors que les électrodes, du fait de leur masse et de leur conditionnement, s'échauffent beaucoup plus lentement.

La nuit, la température décroît et une partie de l'humidité atmosphérique se condense sous forme de rosée. Les paquets absorbent cette rosée qui progressivement, passe dans l'enrobage des électrodes.



RECONNAITRE UNE ELECTRODE HUMIDE

Prendre 2 à 5 électrodes et les secouer des deux mains, entre le pouce et l'index, de manière à les faire rouler, s'entrechoquer les unes contre les autres.

Si on entend un bruit métallique, les électrodes sont sèches ou peu humides.

Les électrodes humides émettent un bruit sourd. Cette différence est très marquée lorsqu'il s'agit d'électrodes à enrobage basique, particulièrement sensible à l'humidité.

Lors du soudage, certains types d'électrodes émettent, lorsqu'elles sont humides, un fort crépitement.

Si l'électrode est particulièrement humide, on observe un dégagement de vapeur blanche due à la condensation.

Autre indication relevée sur l'électrode elle-même ; lorsque l'on interrompt le soudage, des fissures peuvent apparaître sur l'enrobage à partir du cratère d'électrode.

ETUVAGE DES ELECTRODES

↳ Pour les électrodes basiques :

Etuvage : 2 heures à 350°C

Température de maintien : 120°C

↳ Pour les électrodes organique du type rutile :

Séchage éventuel à 70°C – 80°C pendant une heure

Etuve de séchage et de stockage portable pour électrodes de soudage



Etuve de séchage et de stockage pour électrodes de soudage



Vieillessement de l'enrobage

Après une très longue période de stockage, certains types d'électrodes présentent sur leur surface, une sorte de « duvet » de cristaux blanchâtre liés à la présence de silicate de potasse.

Pour les soudures de qualité, il est préférable de ne pas les employer.

ACCESSOIRES POUR LE SOUDAGE A L'ARC

Le porte-électrode

Outre son calibre, son raccordement au câble de soudage et au mode de préhension de l'électrode, le porte-électrode est caractérisé par sa forme, sa masse, ainsi que son isolement électrique et thermique qui doivent être appropriés aux conditions d'utilisation (position de soudage, intensité du courant de soudage, configuration de l'emplacement de travail).

Quelques types de porte-électrodes



1 : A levier et ressort



2 : A serrage par vis



3 : A tête déportée

LA PRISE DE MASSE

La prise de masse est caractérisée par son mode de fixation sur les éléments à assembler, en particulier à leurs formes et démentions.

Serre-joint



Contact tournant



Crocodile Bronze



Contact magnétique



Bronze à ressort



PREPARATION DES BORDS

Afin d'assurer une pénétration correcte de l'assemblage à effectuer, il est nécessaire de préparer les bords à souder pour les épaisseurs supérieures à 4mm.

Cette opération doit être menée avec soin car elle conditionne la qualité finale de l'assemblage.

Lors du pointage des pièces, il faut tenir compte du retrait transversal qui tend à rapprocher les bords à assembler.

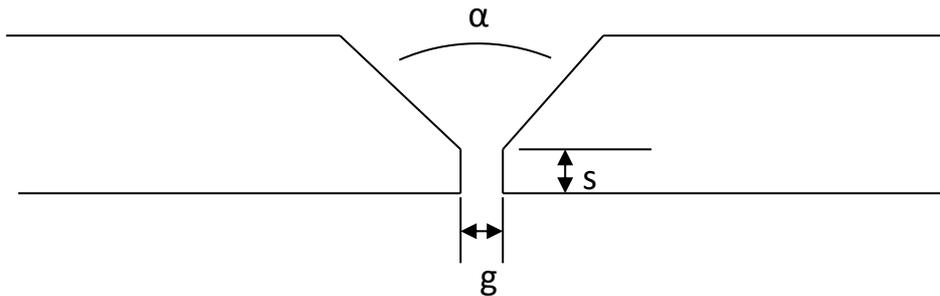
Le choix de la préparation est conditionnée par :

- L'accessibilité du joint
- Le degré de pénétration souhaité
- L'économie du métal déposé

Toutes les préparations habituelles de soudage sont possibles :

V, X, K, tulipe, etc...

Le choix des valeurs de méplat et de l'écartement est directement lié au diamètre de l'électrode utilisée pour l'exécution des passes de pénétration.



g = écartement des bords (égal au diamètre de l'électrode après pointage – 0 + 0,5 mm)

s = Méplat au talon (égal au diamètre de l'électrode)

α = angle d'ouverture du chanfrein (60°C à 70°C)

Nota : La valeur de l'écartement (g) s'entend après pointage.

CHOIS DU DIAMETRE DE L'ELECTRODE

↳ Passe de pénétration

Diamètre maximum 3,15 mm en général, et de 2,5 mm pour la tuyauterie soudée en position.

Pour le soudage à plat sur latte support, le diamètre de l'électrode peut être plus important.

↳ Passe de remplissage et finition

Tous les diamètres sont utilisables selon l'épaisseur des pièces à assembler. On se limitera au diamètre 4 mm pour l'exécution de passes en position autre qu'à plat.

↳ Choix de l'électrode

Il est conditionné par :

- Les caractéristiques de l'appareil de soudage
 - ✓ Tension d'amorçage < tension à vide de l'appareil
 - ✓ Les intensités (mini et maxi)
 - ✓ La nature du courant de soudage (alternatif, continu)

- Les caractéristiques du joint
 - ✓ Nature du métal à souder
 - ✓ Qualité du joint à obtenir
 - ✓ L'épaisseur du métal à souder
 - ✓ Type de joint
 - ✓ La position du soudage

CHOIX DE L'INTENSITE

Ce choix est directement lié au diamètre de l'électrode. Il peut s'exprimer ainsi :

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



Cette formule permet de dégrossir le réglage ; il pourra être affiné en fonction de la position de soudage, de l'épaisseur et la nature de l'enrobage.

En général, pour le soudage à plat, la valeur maximale de l'intensité et minimale pour les travaux en position.

Nota : Généralement, le fabricant indique sur les paquets d'électrodes les intensités mini et maxi d'utilisation.

CHOIX DU VERRE FILTRANT

Le visage et les yeux :

Il est indispensable de protéger :

. Les yeux contre les coups d'arc (éblouissement de l'arc en lumière visible et les rayonnements infrarouge et ultraviolet).

. Les cheveux, le visage et les yeux contre les projections pendant le soudage et les protections du laitier lors du refroidissement de la soudure.

Le masque de soudage, sans ou avec casque, doit toujours être muni d'un filtre protecteur dont l'échelon dépend de l'intensité du courant de l'arc de soudage (normes NF S77-104 A 88-221 A 88-222).

Le filtre coloré peut être protégé des chocs et projections par un verre transparent situé sur la face avant du masque.

En cas de remplacement du filtre, conserver les mêmes références (Numéro de l'échelon d'opacité).

Les personnes, dans le voisinage de l'opérateur et à fortiori ses aides, doivent être protégées par l'interposition d'écrans adaptés, de lunettes de protection anti-UV et si besoin est par un masque muni du filtre protecteur adapté (NF S771-4 A 1-5).

Numéro d'échelon (1) et utilisation recommandée pour le soudage à l'arc

| Procédé de soudage ou techniques connexes | Intensité 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 | | | |
| Electrodes enrobées | | | | 9 | 10 | 11 | | | 12 | | 13 | | 14 | | |
| MIG sur métaux lourds (2) | | | | | | | 10 | 11 | | 12 | | 13 | | 14 | |
| MIG sur alliages légers | | | | | | | 10 | 11 | | 12 | | 13 | | 14 | 15 |
| TIG sur tous métaux et Alliages | | | | 9 | 10 | 11 | | | 12 | | 13 | | 14 | | |
| MAG | | | | | 10 | 11 | 12 | | 13 | | | 14 | | 15 | |
| Gougeage air/arc | | | | | | | | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | | 15 | |
| Coupage au jet plasma | | | | 9 | 10 | | 11 | | 12 | | 13 | | | | |
| Soudage plasma | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 10 | 20 | 40 | 80 | 125 | 175 | 225 | 275 | 350 | 450 | | | | |
| | 0,5 | 2,5 | 5 | 15 | 30 | 60 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 | | |

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...

Note : Les zones grisées ci-dessus correspondent aux domaines où les procédés de soudage ne sont pas habituellement utilisés dans la pratique actuelle du soudage.

METHODOLOGIE DE RECHERCHE DES PARAMETRES DE SOUDAGE

Face un assemblage déterminé, procéder de la manière suivante :

Etape 1 Choix de la préparation des bords

Etape 2 Choix de l'électrode

Etape 3 Choix du diamètre de l'électrode

Etape 4 Choix de la polarité du courant

Etape 5 Règles d'étuvage des électrodes

Etape 6 Choix du verre filtrant

BIBLIOGRAPHIE

SOUDAGE

Auteur : H. GERBEAUX

Editeur : P.S.A.

32 Bd de la chapelle – 75018 PARIS

SOUDAGE MANUEL A L'ARC

Editeur : P.S.A.

32 Bd de la chapelle – 75018 PARIS

SOUDAGE A L'ARC

Auteur : L. MENDEL

Editeur : DUNOD

LE SOUDAGE

Auteur : James A. PENDER

Editeur : MC GRAW – HILL

ANNEXES

QUALIFICATIONS DE SOUDEURS

Qualification de Mode Opérateur de soudage – Q M O S

Une QMOS a pour but de vérifier la méthodologie pour l'exécution d'un assemblage. On ne vérifie pas en priorité l'habileté du soudeur mais le process :

- ☞ Choix des matériaux
- ☞ Choix du procédé
- ☞ Choix des traitements thermiques
- ☞ Choix des paramètres de soudage etc...

A travers une multitude de contrôles destructifs et non destructifs.

C'est la société qui est certifiée, cela pour une durée illimitée, à condition de garder, pour la production, le même groupe de matériau et la méthodologie de la qualification.

Exemples de normes européennes :

☞ NF EN 288/3

☞ NF EN 288/4

Qualification de soudeur

Les qualifications de soudeur ont pour objet la vérification de l'habileté gestuelle du soudeur pour un type de fabrication donné. Elles peuvent s'accompagner d'un test de connaissances technologiques.

Types de qualification de soudeur

En fonction de la fabrication de donneur d'ordre, de la législation en vigueur, plusieurs textes et cahiers de charges de qualification de soudeur sont reconnus en France.

Qualifications françaises :

- FDA 88 111 (reconduction soudage des aluminiums) avec 3 niveaux d'aptitudes différentes.

La reconduction se fait tous les ans.

- Aéronautique : AIR 0191

Qualification de soudeurs appelés à travailler sur des constructions aéronautiques.

- Gaz de France : ATG B 540.9

Qualification des soudeurs, braseurs, soudo-braseurs appelés à travailler sur des canalisations du réseau Gaz de France.

Elle permet de qualifier plusieurs procédés :

Soudage oxyacétylénique et soudage électrique à l'arc avec électrode enrobée sur tube en acier.

Durée de Validité : 24 mois

- Brasage capillaire fort sur tube en cuivre
- Brasage capillaire fort sur tube en acier

Durée de validité : 36 mois

- Soudo-brasage sur tube en cuivre ou en acier

Durée de validité : 12 mois

- ATG B 527.9

Qualification des opérateurs polyéthylène

Durée de validité : 24 mois

Qualifications européennes :

- NF EN 287/1 devient NF ISO 9606-1

Qualification de soudeur par fusion sur les aciers.

- NF EN 287/2

Qualification de soudeur par fusion sur les aluminiums et ses alliages.

Un niveau d'aptitude, la reconduction de fait tous les deux ans.

Toutefois, le responsable soudure prolonge la certification tous les 6 mois. Celui-ci doit prouver que le soudeur a réalisé des assemblages de mêmes types que la qualification pendant cette période.

- NF EN 1418

Qualification Opérateur Soudeur

Soudage par fusion et par résistance

Qualifications internationales :

- NF EN 9606-3

Qualification soudeur sur cuivre et alliages

- NF EN 9606-4

Qualification Soudeur sur nickel et alliages

PRINCIPE DES QUALIFICATIONS DE SOUDEURS

Les essais représentent le plus possible de soudures rencontrées en fabrication et sont exécutées dans les positions réelles de travail :

- ☞ bout à bout sur tôles ou tubes
- ☞ en angles intérieur
- ☞ piquage sur tube

Les diamètres et les épaisseurs sont représentatifs des pièces fabriquées.

Les matériaux d'essais sont identiques aux métaux rencontrés en fabrication.

Les essais sont exécutés en présence d'un inspecteur délégué par un organisme agréé par le Ministère de l'Industrie ou le donneur d'ordre.

Un essai de qualification couvre une plage d'équivalence :

- ☞ de diamètres
- ☞ d'épaisseurs
- ☞ de matériaux

▪ La qualification est toujours assortie d'une durée de validité.

QUALIFICATION EUROPEENNE EN 287

GENERALITES

Domaine de validité :

- Pas d'équivalence de procédé :

Le procédé de soudage utilisé pendant l'essai n'étend pas la qualification à d'autre procédé.

- Assemblage d'essai :

Le bout à bout (BW) ne couvre pas les angles (FW) depuis 2011.

L'épaisseur d'essai couvre :

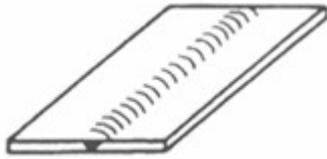
| EPAISSEUR DE L'ESSAI | DOMAINE DE VALIDITE |
|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Inférieur ou égal à 3 mm | De l'épaisseur de l'essai au double de cette épaisseur |
| Supérieur à 3 mm et inférieur ou égale à 12 mm | De 3 mm au double de l'épaisseur de l'essai |
| Supérieur à 12 mm | De 5 mm à toute épaisseur supérieure |

Nota : Exception faite du soudage Oxyacétylénique.

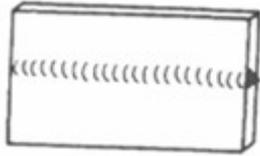
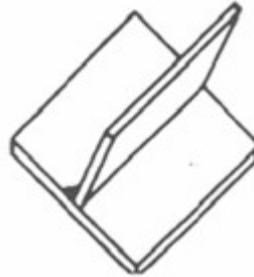
Le diamètre de l'essai couvre :

| DIAMETRE DE L'ESSAI | DOMAINE DE VALIDITE |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------|
| Inférieur ou égal à 25 mm | Du diamètre de l'essai au double de celui-ci |
| Supérieur à 25 mm | 0,5 à 2 fois le diamètre de l'essai (sans être inférieur à 25mm) |

PA Plat

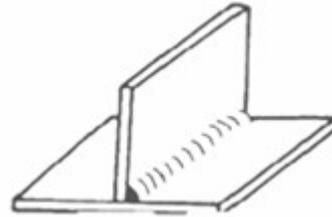


PA Gouttière

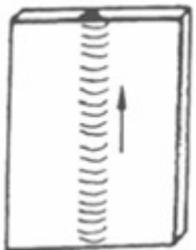


PC Corniche

Angle à plat

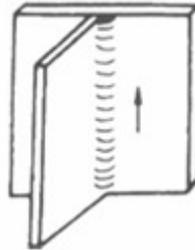


PB

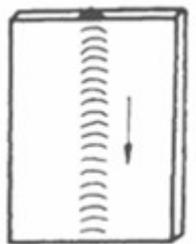


montant

PF Verticale en montant

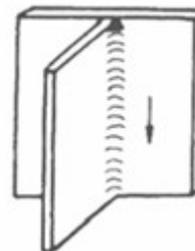


PF Verticale en



descendant

PG Verticale en descendant



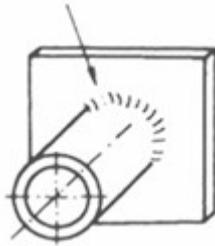
PG Verticale en

PE Plafond



PD angle au Plafond





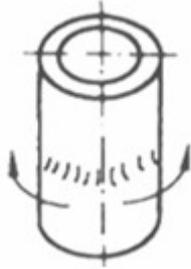
PB tube : en rotation Axe : horizontal,

soudage à plat

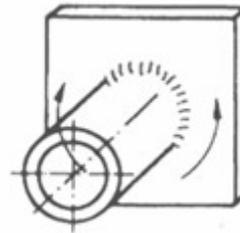
PA tube : en rotation

Axe : horizontal

Soudage : à plat



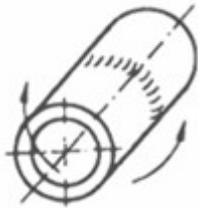
PC tube fixe,



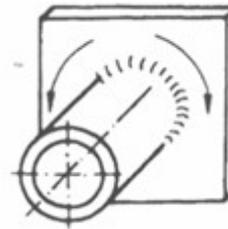
PF tube fixe, axe

horizontal, soudage vertical montant

axe vertical, soudage en corniche



PH tube fixe,



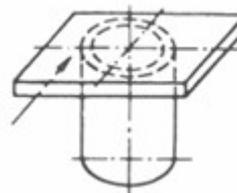
PG (tube

fixe, axe horizontal, soudage vertical descendant

axe horizontal, soudage vertical montant



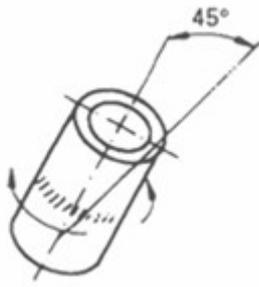
PG tube fixe,



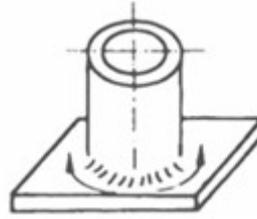
PD tube fixe,

axe vertical, soudage angle au plafond

axe horizontal, soudage vertical descendant



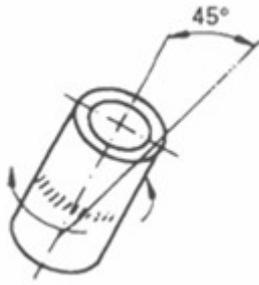
H-L045 tube fixe,



PB (tube fixe, axe

vertical, soudage angle à plat

axe incliné, soudage vertical montant



J-L045 tube fixe,

axe incliné, soudage vertical descendant

Contrôle des pièces d'essai

- ☞ *Visuel* : Tous les essais (bout à bout et angles)
- ☞ *Radiographie* : Assemblages bout à bout (BW)
- ☞ *Pliages* : Assemblages bout à bout (BW) exécutés en soudage MIG MAG ou oxyacétylénique en complément de la radio
- ☞ *Macrographie* : Assemblages d'angles (FW)

Dimensions minimum des éprouvettes d'essai pour :

↳ EN 287/1

Bout à bout (BW) 300 mm x 125 mm

Angles intérieurs (FW) 150 mm x 300 mm

↳ EN 287/2

Bout à bout (BW) 300 mm x 150 mm

Angles intérieurs (FW) 150 mm x 300 mm

Test des connaissances technologiques

Actuellement facultatif en France, il est obligatoire pour étendre la qualification pour l'Allemagne, la Suisse et l'Autriche.

Nota : Ceci est un résumé très succinct. Pour des informations plus complètes, consulter les normes.

EN 287/1 ➤ Partie Acier

EN 287/2 ➤ Partie Alliages légers.

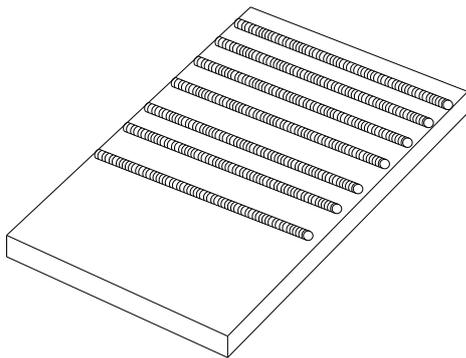
EXERCICES DE PROGRESSION ELECTRODE ENROBÉE

NIVEAU 1 : Soudage à plat

Electrodes rutilés branchées au moins

Pour commencer nous utiliserons les électrodes rutilés $\varnothing 2.5$ et des tôles épaisseur 3 mm de 150 x 200 mm pour les exercices 1 à 3 (**Réglages 70 à 75 Ampères**)

N°1 Ligne de fusion (1h à 8h)



Objectifs

Faire des cordons de largeur régulière, qu'ils soient droits n'est pas important.

Pour ça vous devez :

Maitriser l'amorçage.

Maitriser le geste (longueur d'arc)

Maitriser la vitesse d'avance.

Travailler les reprises.

Contrôler l'angle de l'électrode

Conseils :

Amorçage : Sur ce schéma on voit que l'amorçage se fait en deux étapes. On amorce, puis on vient se replacer sur le bord de la tôle pour commencer la soudure.

Longueur d'arc : Pour obtenir un arc de longueur constante, il faut bien pencher la tête sur le côté pour **VOIR** la distance entre l'électrode et la pièce. Elle doit se situer entre 2 et 3 mm. Il faut également penser à trouver une position confortable avec les jambes et le dos.

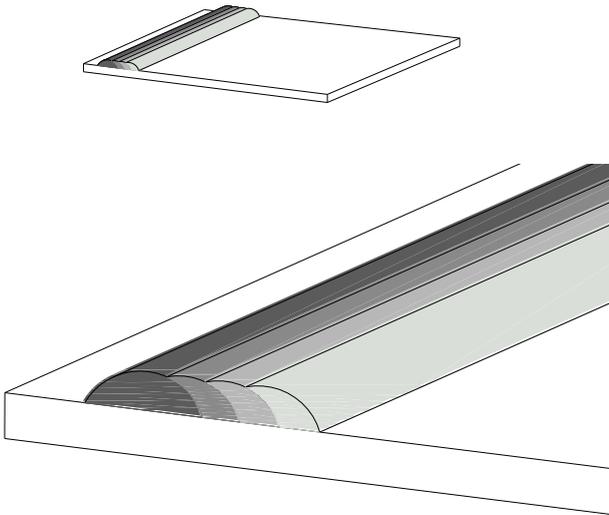
Vitesse d'avance : Vous allez pouvoir maîtriser la vitesse en surveillant la largeur du bain. Plus vous ralentissez, plus il grossit. Plus vous accélérez, plus son diamètre diminue.

Diamètre du bain de fusion = 2.5 x diamètre de l'électrode

Reprises : Une fois que les cordons commencent à être réguliers, travaillez les reprises en faisant des cordons de 2 cm, s'arrêter, casser le laitier, brosser puis reprendre. Moins on voit la reprise, mieux c'est.

Angle de l'électrode : Veillez à conserver un angle de 70 à 80° par rapport à la tôle et à bien aligner l'électrode par rapport à votre cordon.

N°2 Rechargement (1h à 4h)



Objectifs

Dépôt sans creux ni bosses supérieur à 1 mm.

Pour ça vous devez :

Suivre une ligne, celle du cordon précédent.

Placer le cordon au bon endroit.

Contrôler l'épaisseur de l'ensemble des cordons

+ Conseils :

Placement du cordon : Faites un premier cordon le plus droit possible et de largeur régulière. Ensuite il s'agit de placer le prochain cordon de manière à ce qu'il arrive jusqu'au milieu du précédent. Renouveler l'opération de manière à obtenir 5 cordons bien réguliers.

Défauts courants :

A : Trop d'intensité

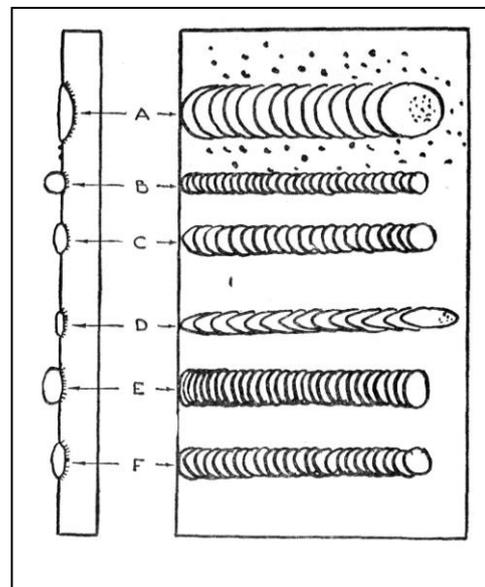
B : Manque d'intensité

C : **Bonne intensité**

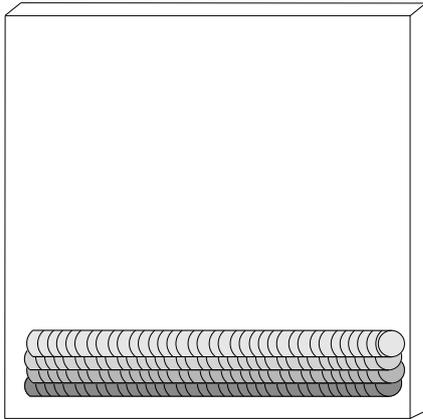
D : Vitesse d'avance trop rapide

E : Vitesse d'avance trop lente

F : **Bonne vitesse d'avance**



N°3 Rechargement en corniche (2h à 6h)



Objectifs

Dépôt sans creux ni bosses supérieur à 1 mm.

Pour ça vous devez :

Regarder votre bain de fusion en entier.

Faire la différence entre le laitier et le bain de fusion.

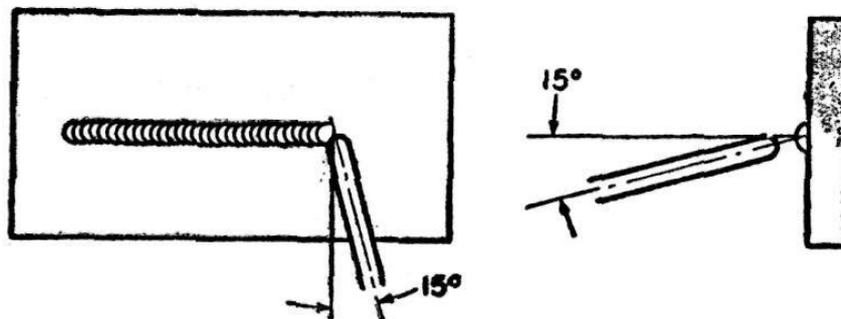
Adapter votre position et l'angle de l'électrode pour une soudure en corniche

+ Conseils :

Cet exercice est **essentiel** et va vous obliger à regarder la totalité de votre bain liquide pour maîtriser le volume de métal et que le bain ne coule pas. Positionnez-vous bien sur le côté pour voir le bain ainsi que la direction où vous allez.

Adapter votre position et l'angle de l'électrode :

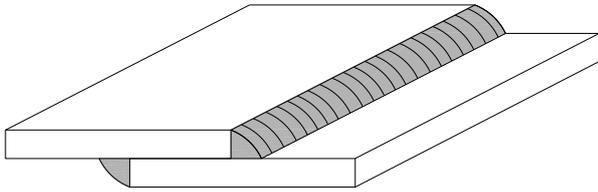
Pour souder en corniche, vous devez modifier un peu vos angles d'électrode comme le schéma ci-dessous :



Pour la première soudure il faudra conserver un angle de 15° par rapport à l'horizontal, mais **pour le rechargement** il faudra être **à l'horizontal voir un peu au-dessus**.

N°4 Soudage à clin (2h à 8h)

Prenez maintenant des tôles de 150 x 50 d'épaisseur 3mm pour les exercices 4 à 6



Objectifs

Faire des cordons plats et réguliers.

Pour ça vous devez :

Effectuer une préparation (*pointage*) de qualité.

Avoir une vitesse d'avance parfaite.

Avoir un placement de l'électrode idéal.

Bien regarder son angle d'électrode pour assurer le cordon plat.

+ Conseils :

Voici votre premier assemblage et donc votre première soudure. Jusqu'à présent vous n'avez effectué que des lignes de fusion dans le but d'obtenir un cordon de qualité, maintenant vous allez appliquer tout ce que vous savez sur un assemblage.

La préparation c'est 70% d'une soudure réussie

Préparation et pointage des pièces :

Le pointage doit être considéré comme une soudure. Des points de mauvaises qualités entraîneront une soudure de mauvaise qualité.

A quoi ça sert ?

- Maintenir les pièces à assembler
- Conserver un écartement constant des bords à souder
- Aligner les génératrices des pièces
- Limiter les déformations en cours de soudage

Pour cet exercice, il va falloir « blanchir » les pièces à l'endroit où vous aller souder. N'oubliez pas la tranche de la tôle qui doit être aussi bien propre.

Ensuite, vous commencerez à pointer au milieu d'un côté, puis au milieu de l'autre côté.

Puis à droite et à gauche puis de l'autre côté idem.

Si après le pointage, vous constatez que les tôles ne sont pas bien alignées, il faudra les replacer en les martelant sur une enclume.

La longueur du point de soudure peut varier entre 5 et 20 mm, selon la taille et l'épaisseur des plaques.

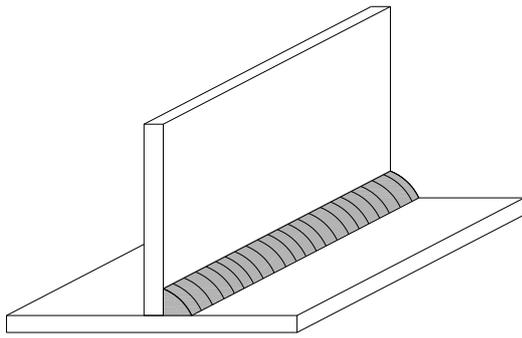
L'espacement entre les points doit se situer **entre 10 et 30 fois l'épaisseur** des tôles dont la longueur est assez importante.

Par contre, pour les plaques de faible longueur, **deux à quatre points de soudure sont nécessaires pour les retenir ensemble.**

Les points doivent être bien fusionnés, sinon ils se fissureraient pendant l'exécution du cordon de soudure.

Rendez-vous sur le document « Mise en position, préparation et pointage » pour la suite.

N°5 Soudage en angle intérieur PB (2h à 8h)



Objectifs

Faire des cordons plats, sans projection et bien repartis dans l'angle.

Pour ça vous devez :

Effectuer une préparation (*pointage*) de qualité.

Avoir un angle d'électrode constant.

Avoir un bon réglage de l'intensité.

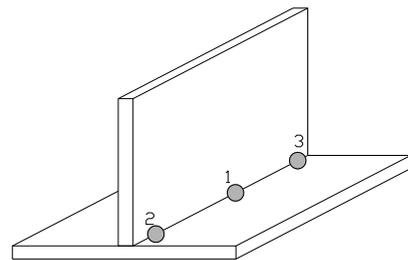
Travailler les reprises

+ Conseils :

Pointage des pièces :

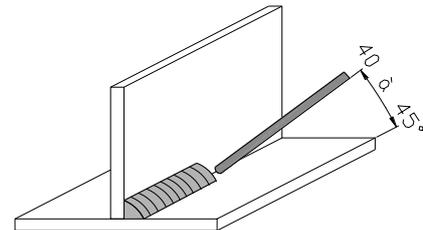
Pour une soudure en angle intérieur, il faut qu'après pointage les deux pièces forment un angle à 90° et qu'il n'y ait pas de jour entre les deux. Si ce n'est pas le cas, ajustez à l'enclume.

N'oubliez pas de blanchir les pièces à l'endroit de la soudure ainsi que la tranche de la tôle verticale. L'ordre de pointage à son importance.



Angle de l'électrode :

La difficulté dans la soudure en angle est le placement du cordon. Il faudra respecter un angle de 40° à 45° par rapport à la tôle du bas.



Réglage de l'intensité :

Augmenter l'intensité de 20 % par rapport à une soudure à clin ou une ligne de fusion.

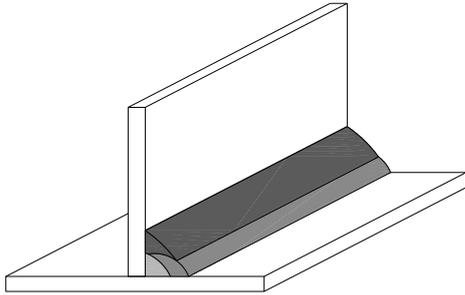
Reprise :

Une fois les cordons réguliers, travaillez les reprises.

Faire au moins 10 reprises sur la même pièce.

Voir doc sur les reprises.

N°6 Soudage en angle intérieur multi passes PB (2h à 8h)



Objectifs

Faire des cordons plats, sans projection et bien repartis dans l'angle.

Pour ça vous devez :

Avoir une première passe bien placée.

Avoir un angle d'électrode adapté à chaque passe.

Travailler les reprises

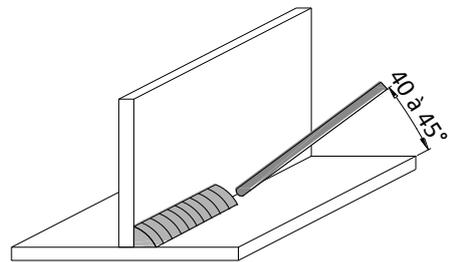
+ Conseils :

Reprendre les pièces de l'exercice n°5

Faire le 2ème cordon sur **la moitié de la tôle** puis tout de suite le 3ème au-dessus et pas le second sur toute la longueur. Si le 2ème est mal placé, toute la longueur est à refaire.

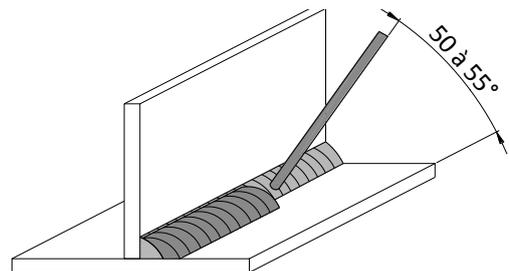
1ère passe :

Pour la première passe, respecter un angle de 40° par rapport à la tôle du bas et un angle d'avance de 20 à 30° .

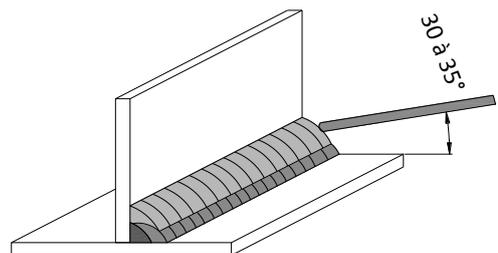


2ème passe :

Pour la deuxième passe, relever un peu l'angle par rapport à la première passe. Surveiller le haut du bain de fusion de manière à ce qu'il recouvre au $\frac{3}{4}$ voir complètement la première passe.



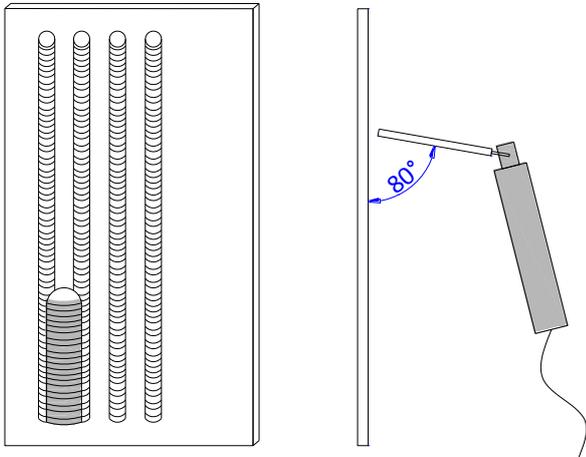
Pour la troisième passe, coucher l'électrode à 30° et surveiller cette fois le bas du bain pour qu'il recouvre de moitié ou $\frac{3}{4}$ la deuxième passe.



;

N°7 Soudage en pleine tôle montante PF (4h à 8h)

Pour cet exercice vous allez prendre des chutes épaisses dans la benne (*minimum 5mm*)



Objectifs

Faire des cordons plats, sans projection.
Pour ça vous devez :
Avoir un angle de 80°.
Marquer des temps d'arrêt sur les côtés.
Regarder le bain « gonfler ».
Faire la différence entre laitier et métal.

Pour cet exercice vous allez commencer avec des électrodes de $\varnothing 2.5$ pour effectuer des passes étroites. Effectuer une légère oscillation de droite à gauche pour étaler un peu le cordon. N'oubliez pas de **baiss**er l'intensité car nous sommes sur une **montante**.

Une fois que vous avez réussi à faire quelques passes régulières, vous aller en faire d'autres mais cette fois en essayant d'avoir un **espace de 10 mm** entre chaque cordons pour faire du remplissage. Etaler votre cordon en marquant des pauses à droite et à gauche de manière à ce que le cordon large recouvre à moitié les petites passes.

Conseils :

Avoir un angle de 80° :

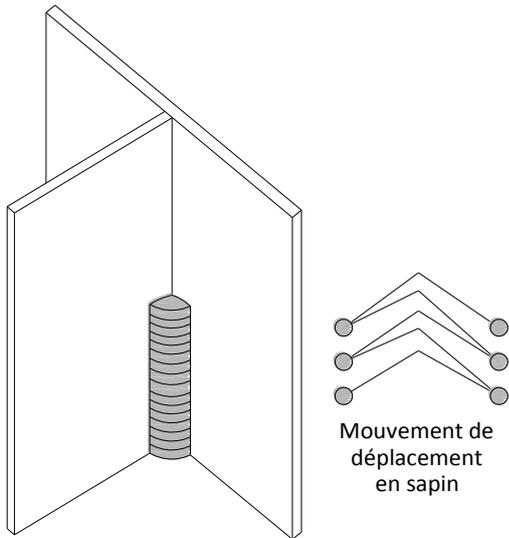
Effectivement d'après cet angle on se rend compte qu'il faut pousser l'électrode vers le haut. C'est la **seule position où on pousse** avec ce procédé.

Marquer des temps d'arrêt :

Les temps d'arrêt sur les côtés sont indispensables surtout pour les passes larges. Ils permettent de refroidir le bain d'un côté pour éviter qu'il ne chauffe trop et qu'il coule.

Si votre cordon large est bombé c'est que vos temps d'arrêt sont trop courts.

N°8 Soudage en angle montant en SAPIN (Multi passe) PF(8h à 16h)



Objectifs

Faire des cordons plats, sans caniveaux, réguliers en largeur avec bonne fusion de la racine.

Pour ça vous devez :

Avoir un angle de 80°.

Marquer des temps d'arrêt sur les côtés.

Regarder le bain « gonfler ».

Faire la différence entre laitier et métal.

1ère PASSE :

Vous allez **commencer** tout d'abord à effectuer des **montantes en angle sur des tôles de 3 mm d'épaisseur avec des électrodes $\phi 2.5$** Vous n'aurez pas besoin de vous déplacer en sapin sur des tôles fines, une légère oscillation suffit en veillant à passer au-dessus du bain une fois qu'il commence à gonfler.

Une fois le résultat correct, vous allez maintenant passer sur des tôles plus épaisses (5,6 ou 10 mm) **avec des électrodes $\phi 3.2$** . Prenez les chutes d'angles déjà soudé dans la benne pour vos premiers essais.

Les passes en sapin sont utilisées pour des passes inférieures à 15 mm de largeur, vous allez devoir faire attention à ne pas trop étaler le cordon à droite et à gauche.

2ème PASSE :

Pour la 2^{ème} passe, vous allez recouvrir la 1^{ère} en effectuant un déplacement de droite à gauche en marquant bien des temps d'arrêts de chaque côté de la soudure. **Il va falloir serrer le plus possible votre déplacement et ne pas chercher à monter trop vite.**

Les 3 ou 4 premiers allers-retours doivent être assez lents, puis vous allez commencer à accélérer votre passage au milieu du cordon pour ne pas trop bomber, tout en gardant les temps d'arrêts sur les côtés.

ATTENTION : les temps d'arrêts sur les côtés permettent de laisser refroidir l'autre côté pour ne pas trop chauffer le bain qui sans ça, coulerait.

Les temps d'arrêts permettent également d'obtenir un cordon plat, si il est trop bombé c'est que vos temporisations sont trop courtes.

Conseils :

Marquer les temps d'arrêt :

Marquer les temps d'arrêt aux endroits où il y a un point sur le schéma de déplacement.

Il ne faut pas trop monter au milieu et descendre sur les côtés, il faut chercher à être le plus plat possible dans le balayage.

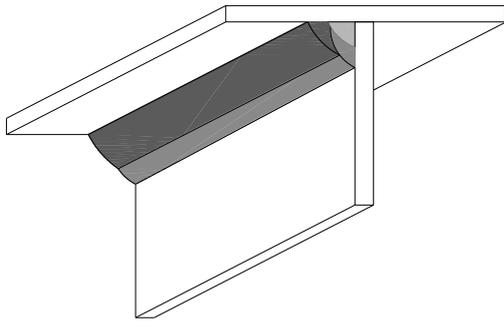
Il faut chercher à être le moins large possible tout en ayant la racine du cordon bien fondue.

Essayer de souder avec des paramètres plutôt fort pour ne pas être gêné par le laitier, même si d'apparence c'est plus difficile.

Si vous obtenez des « écailles » très espacées, c'est que vous montez trop vite.

ATTENTION : Si vous éloignez l'électrode ou si vous ne marquez pas les temps d'arrêt, cela va creuser énormément la racine du cordon, ce qui le rendra difficile à combler pour l'avoir bien plat et non pas creux.

N°9 Soudage en angle au plafond PD (8h à 16h)



Objectifs

Faire des cordons plats, sans projection et bien repartis dans l'angle.

Effectuer des cordons sur 3 mm et du 6 mm en adaptant le diamètre de l'électrode et l'intensité.

Pour ça vous devez :

Avoir une première passe bien placée.

Avoir un angle d'électrode adapté à chaque passe.

Travailler les reprises

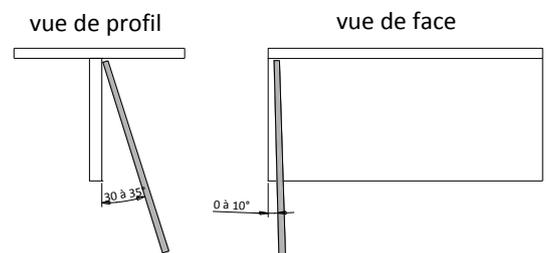
+ Conseils :

Prenez le temps de trouver votre position, il est essentiel de bien voir le cordon depuis le côté et non pas en face. Mettez votre électrode au bout du porte électrode.

Faire le 2ème cordon sur **la moitié de la tôle** puis tout de suite le 3ème au-dessus et pas le second sur toute la longueur. Si le 2ème est mal placé, toute la longueur est à refaire.

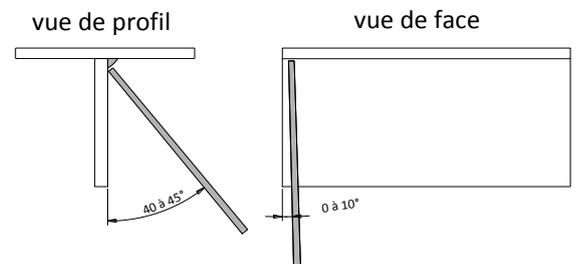
1ère passe :

Pour la première passe, respecter un angle de 30 à 35° par rapport à la tôle du bas et un angle d'avance de 0 à 10°.

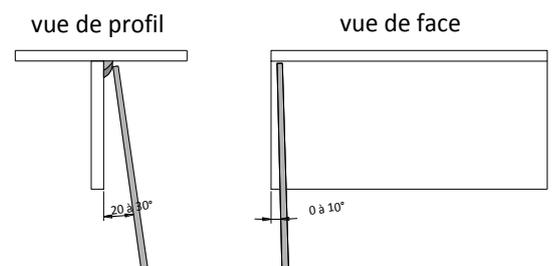


2ème passe :

Pour la deuxième passe, relever un peu l'angle par rapport à la première passe. Surveiller le haut du bain de fusion de manière à ce qu'il recouvre au 3/4 voir complètement la première passe.



Pour la troisième passe, coucher l'électrode à 20° et surveiller cette fois le bas du bain pour qu'il recouvre de moitié ou 3/4 la deuxième passe.



*Refaites maintenant tous les exercices
avec des électrodes basiques
en alternant
tôle de 3 mm = électrode $\varnothing 2.5$
et
tôle de 6 mm = électrode $\varnothing 3.15$*

Le changement risque de vous paraître compliquer ou au contraire vous faciliter la tâche, mais quoi qu'il en soit vous devez maîtriser ces deux types d'électrodes pour prétendre être un soudeur à l'électrode.

La grande différence d'utilisation entre une électrode basique et une rutile réside dans :

- *la longueur de l'arc électrique*
- *l'étuvage*
- *la polarité*
- *l'amorçage.*

*Si ces **4 termes** sont inconnus pour vous, relisez attentivement votre documentation avant de commencer les exercices à la basique.*

NIVEAU 3 : Soudage de tôles bout à bout toutes positions



Electrode Basique Pénétration au – et remplissage au +

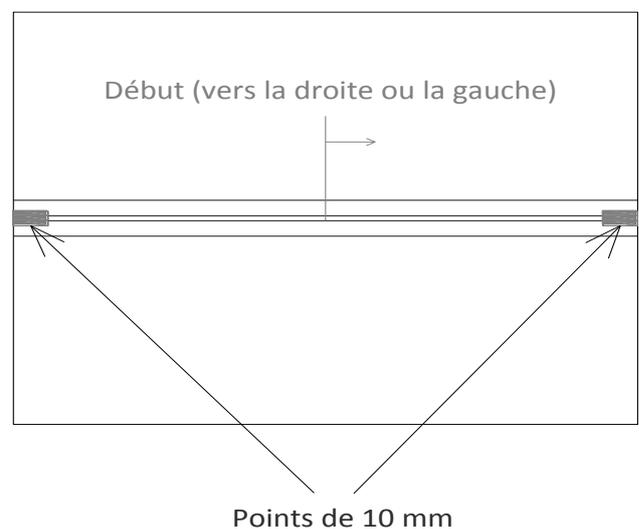
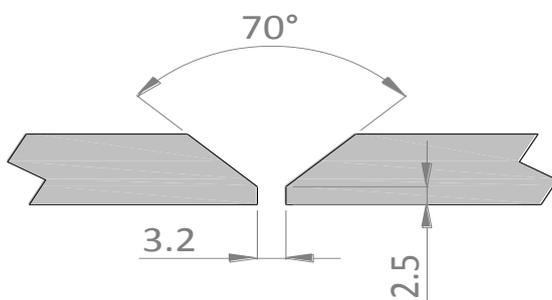
Soyez précis dans la préparation et l'ordre de soudage

Si *l'écartement*, *le talon* et *l'angle de chanfrein* varient sans (même de 0.5mm), cela modifiera les paramètres de soudage ainsi que la vitesse d'avance. Vous ne pourrez donc pas trouver vos repères et comprendre votre geste.

Il faut s'assurer de préparer ses pièces toujours avec la même méthode pour que les 3 éléments cités auparavant soient reproduits à l'identique.

Les valeurs de préparation indiquées sont moyennes, on peut bien sûr en définir d'autres. Cependant, elles sont le compromis le plus facile pour apprendre. Elles s'appliquent à toutes les positions de soudage.

Une fois le principe compris (gestuelle, réglages), vous devriez savoir faire la pénétration quelles que soient les valeurs de préparation (sans trop exagérer) en adaptant vos paramètres et votre vitesse.

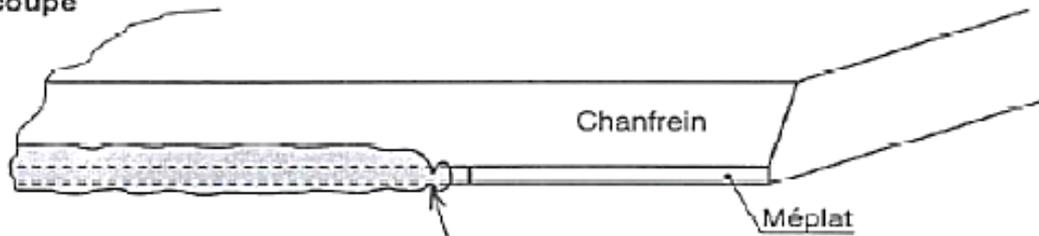


Lors d'un arrêt pendant la passe de pénétration ou lors du démarrage il faudra faire un meulage de reprise ou de bouclage (c'est le moment où on revient sur le cordon)

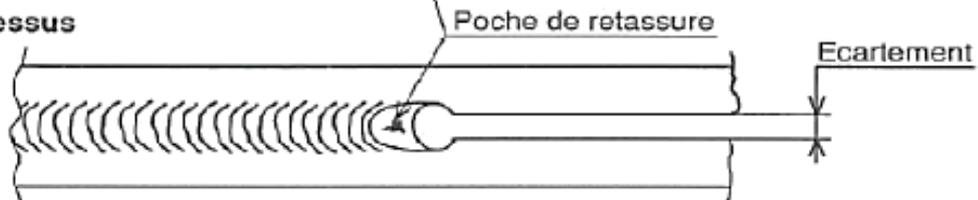
(Voir méthode page suivante)

Reprise et bouclage des cordons

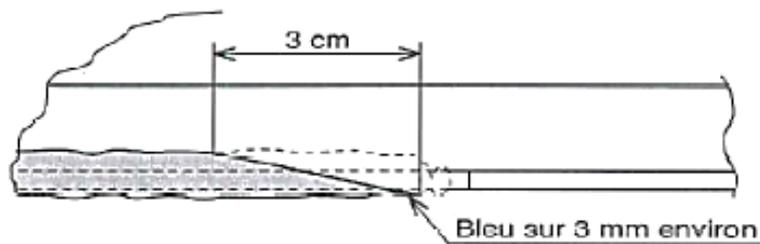
Vue en coupe



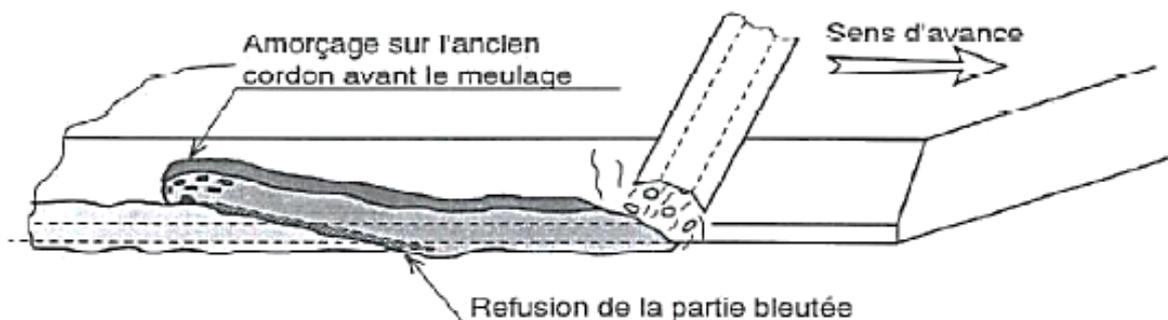
Vue de dessus



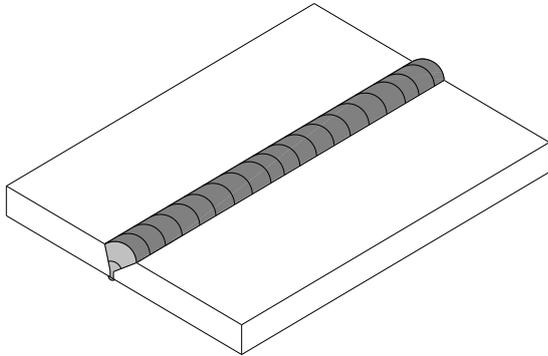
Le but du meulage est de ne pas interrompre la continuité de la qualité de la pénétration et d'éliminer la poche de retassure en fin de cordon.



Eviter au maximum, au cours du meulage, de blesser le chanfrein avec la meule en avant du cordon.



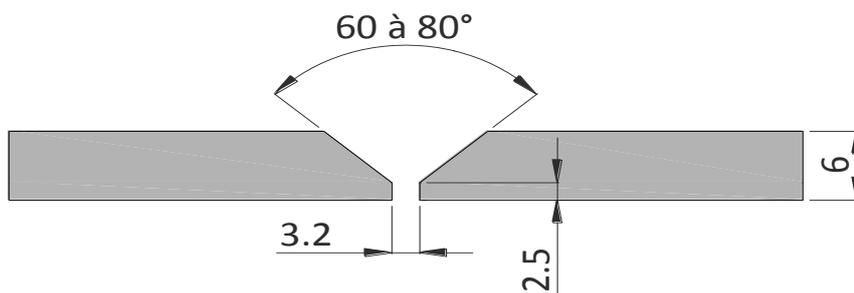
N°10 Soudage bout à bout à plat PA (8h à 16h)



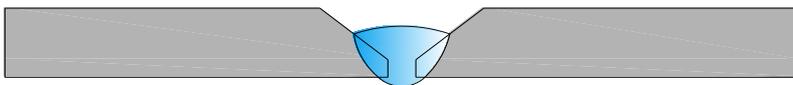
Objectifs

Maitriser la passe de pénétration.
Préparer ses pièces avec rigueur.
Dessous : Bonne fusion des racines
Dessus : Cordons sans creux ni caniveaux
Pour ça vous devez :
Contrôler la position de l'électrode dans le bain.
Garder l'enrobage en contact permanent avec les chanfreins sur la passe de pénétration
Travailler les reprises.

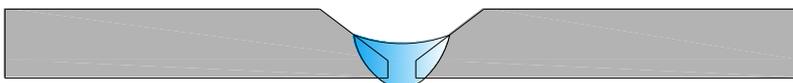
Voici les différentes phases pour effectuer un assemblage bout à bout :



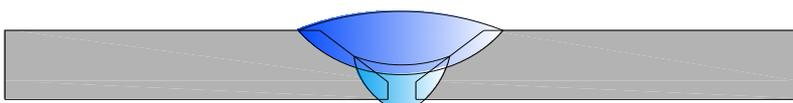
Préparation



Passe de pénétration



Meulage



Passe de finition

Conseils :

La maîtrise de la passe de pénétration est l'objectif de cet exercice.

La position de la baguette par rapport au bain de fusion est essentielle :

- Vers l'avant, plus dans le vide : on fond bien les talons avec une pénétration bien plus large que l'écartement, ce qui est recherché.

Attention, trop devant on crée un arc trop long et des soufflures.

- Vers l'arrière, plus sur le cordon : on a une pénétration parfois volumineuse en épaisseur mais peu large avec un risque important de **manque de fusion des talons.**

Maintenir l'électrode **en contact permanent** avec les bords du chanfrein, le moindre éloignement créera des soufflures.

Le remplissage pourra être fait en multi passe étroites (joints plus résistant mais plus de déformations) comme un angle à plat, ou alors en passe balayées.

Dans les deux cas il faudra blanchir totalement entre chaque passes por éviter les inclusions de laitier.

Si l'arc ne reste pas centré (pour la passe de pénétration):

L'intensité est insuffisante, l'arc est trop faible pour fondre l'enrobage qui fond de travers.

Ou

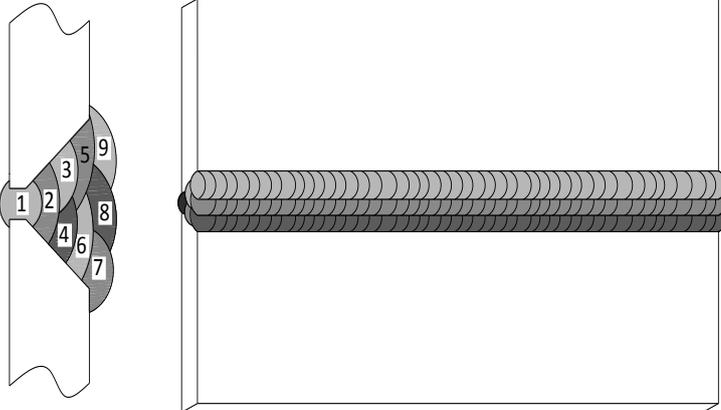
Au départ, l'électrode était mal centrée dans le chanfrein et l'enrobage a fondu de biais. C'est très difficile à corriger, il faut incliner l'électrode de l'autre côté du chanfrein pour obliger l'arc à fondre l'enrobage et retrouvé un arc droit, dès que c'est le cas on repasse en position normale.

Ou

L'enrobage de l'électrode est mal centré (plus fin du côté ou va l'arc).

N°10 Soudage bout en corniche PC (8h à 16h)

Objectifs



Maitriser la passe de pénétration en position.

Effectuer un remplissage sans affaissement.

Derrière : Bonne fusion des racines

Devant : Cordons sans creux ni bosse $\geq 3\text{mm}$

Pour ça vous devez :

Contrôler la position de l'électrode dans le bain.

Garder l'électrode bien horizontale pour la pénétration.

Conseils :

Pour la pénétration :

La pénétration est plus facile qu'à plat car elle tolère des intensités plus élevées.

Il faut cependant faire attention à rester centré et à garder l'électrode bien horizontale sinon l'arc aura tendance à fondre trop le talon du haut si on dirige l'arc vers le haut... et inversement.

Pour le remplissage :

C'est là qu'est la difficulté...

L'empilage de cordons (*chacun le plus plat possible*) n'est jamais exactement de la même taille que sur le dessin, il faut essayer de réaliser les cordons (*suivant l'épaisseur de la tôle*) comme sur le dessin en respectant le même ordre.

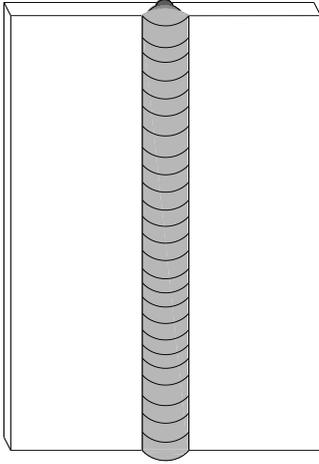
Cela permettra d'éviter l'affaissement du bain, défaut classique dans cette position.

Le remplissage est donc un peu plus rempli vers le haut sans avoir peur de fondre l'arête du haut (*passé n°5 sur le dessin*)

Pour la finition (*passes 7, 8 et 9*) on doit laisser l'arête du bas bien visible. C'est une base pour placer le moins bas possible le premier cordon ce qui limite le nombre de passe.

Ensuite, il suffit d'empiler les cordons comme sur l'exercice n°3.

N°12 Soudage bout à bout en montant PF (8h à 16h)



Objectifs

Maitriser la passe de pénétration en position.

Effectuer un remplissage bien régulier

Derrière : Bonne fusion des racines

Devant : Cordons sans creux ni bosse

≥3mm

Pour ça vous devez :

Contrôler la position de l'électrode dans le bain.

Garder l'électrode bien horizontale pour la pénétration.

+ Conseils :

Tous les éléments qui permettent de réussir cette soudure ont déjà été abordés.

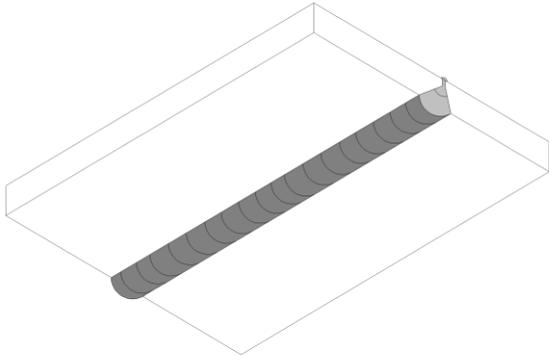
Les **temps d'arrêt sur les côtés** sont encore plus **indispensables** pour la passe de finition.

Deux compléments cependant :

Possibilité de faire un balayage en sapin pour la passe de pénétration. Cela donnera une passe plus plate et permettra de mieux gérer le volume de la pénétration ainsi que la chaleur du bain en prenant appui sur les bords du chanfrein (valable sur tôle ≥10 mm)

Possibilité de faire un balayage en trapèze au lieu du triangle pour les passes de remplissages larges.

N°13 Soudage bout à bout au plafond PE(8h à 16h)



Objectifs

Obtenir une passe de pénétration bombée.

Effectuer un remplissage bien régulier

Derrière : Bonne fusion des racines

Devant : Cordons sans creux ni bosse

≥3mm

Pour ça vous devez :

Avoir de l'angle en tirant l'électrode.

Trouver une position confortable.

Conseils :

C'est la plus difficile de toutes, rarement vue en entreprise. C'est surtout la position de travail qui rend les choses difficiles.

Pour la passe de pénétration :

Il faut tenir son électrode avec de l'angle en tirant. C'est cet angle qui donnera le côté bombé de la pénétration.

Pour le remplissage :

Il y a le choix entre des cordons tirés étroits ou des larges balayés.

NIVEAU 4 : Soudage de tubes bout à bout toutes positions

En dehors de conserver le même angle de baguette tout au long de la rotation autour du tube, il n'y a pas de conseil spécifique mis à part de veiller à la rotation de l'électrode pour conserver le bon angle.

Cependant, il faudra travailler pour trouver une position confortable et un bon angle de vue

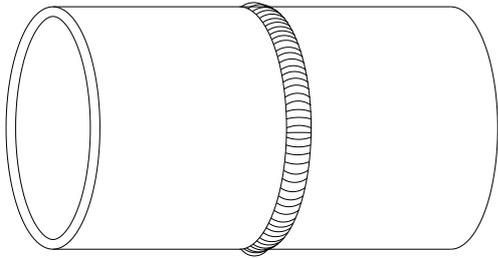
La préparation des pièces est la même qu'à plat.

On fera au minimum **3 points** :

- Points pénétrés de 10 mm de long : meuler en biseau pour partir ou arriver sur le point.
- Points non pénétrés de 5 mm : meuler pour faire sauter le point quand on arrive dessus.

Faites en sorte que le départ soit dans la partie où l'écartement est le plus faible.

N°14 Soudage de tube en rotation horizontale PA (8h à 16h)



Objectifs

Obtenir une passe de pénétration bombée.

Effectuer un remplissage bien régulier

Dedans : Bonne fusion des racines

Dehors : Cordons sans creux ni bosse

≥3mm

Pour ça vous devez :

Penser aux exercices précédents pour trouver l'angle de l'électrode suivant le secteur du tube.

Trouver une position confortable.

Avoir un bon angle de vue.

Conseils :

Une fois le tube préparé et pointé, bridez-le en position horizontale (dans un U ou sur une cornière).

Suivant votre méthode de pointage (points pénétrant ou non) soit vous démarrez sur le point après l'avoir biseauté, soit vous démarrez dans le vide pour arriver jusqu'au point et le couper.

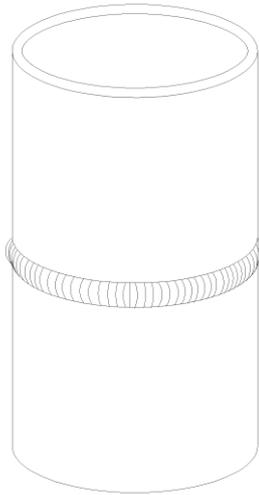
Vous allez souder par quart de tour en effectuant la première passe (de 3h à 12h).

Les bouclages et les reprises sont les parties sensibles aux défauts... ne les négligez pas.

Vous allez souder des baguettes complètes sans vous arrêter en travaillant bien la rotation de l'électrode ainsi que votre position pour être placé confortablement sans vous tordre le cou et le dos.

Votre angle de vue est également très important, il va vous permettre de voir votre pénétration et également le volume de métal pour le remplissage.

N°15 Soudage de tube en rotation vertical PC (8h à 16h)



Objectifs

Obtenir une passe de pénétration bombée.

Effectuer un remplissage bien régulier

Dedans : Bonne fusion des racines

Dehors : Cordons sans creux ni bosse
 $\geq 3\text{mm}$

Pour ça vous devez :

Penser aux exercices précédents pour trouver l'angle de l'électrode suivant le secteur du tube.

Trouver une position confortable.

Avoir un bon angle de vue.

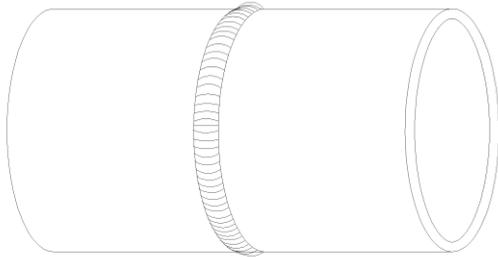
Conseils :

Mêmes conseils que pour l'exercice 10.

Vous pouvez faire tourner le tube au fur et à mesure.

N°16 Soudage de tube horizontal SANS rotation PH (8h à 16h)

2 montantes en partant du bas



Objectifs

Obtenir une passe de pénétration bombée.

Effectuer un remplissage bien régulier
Dedans : Bonne fusion des racines sans creux

Dehors : Cordons sans creux ni bosse
 $\geq 3\text{mm}$

Pour ça vous devez :

Penser aux exercices précédents pour trouver l'angle de l'électrode suivant le secteur du tube.

Trouver une position confortable.

Avoir un bon angle de vue.

Conseils :

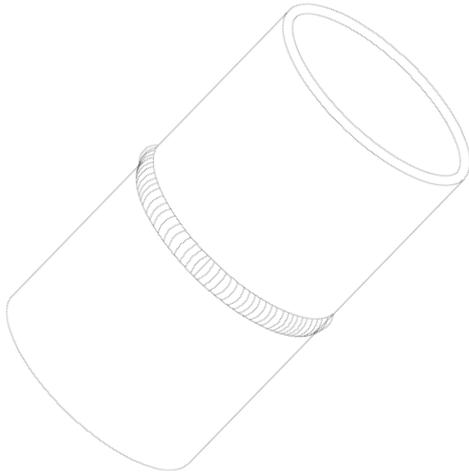
Toujours rechercher une position confortable avec un bon angle de vue.

Il va falloir, si possible, trouver une solution pour se relever au fur et à mesure de l'avancée de la baguette.

Sinon, trouver une position de jambes qui permettent au corps de tourner lui aussi autour du tube. Jambes pliées et les pieds bien écartés pour conserver de bon appui et monter en même temps que la main.

N°16 Soudage de tube à 45° HLO45 (8h à 16h)

2 montantes en partant du bas



Objectifs

Obtenir une passe de pénétration bombée.

Effectuer un remplissage bien régulier
Dedans : Bonne fusion des racines sans creux

Dehors : Cordons sans creux ni bosse
≥3mm

Pour ça vous devez :

Penser aux exercices précédents pour trouver l'angle de l'électrode suivant le secteur du tube.

Trouver une position confortable.

Avoir un bon angle de vue.

Conseils :

On retrouve sur cette position tous les conseils précédents.

Deux précisions cependant :

Comme nous sommes à 45°, il va y avoir un côté facile et un côté plus difficile selon si vous êtes droitier ou gaucher.

Si vous êtes en avance, reprenez les exercices 2, 3, 6, 8 et 10 **de la « mauvaise » main** pour acquérir de la dextérité. Assez facile contrairement aux idées reçues en 1 à 2 jours.

Le remplissage peut être fait en **passes étroites tirées** (le plus facile) comme en corniche.

Ou en **passes larges balayées**, un peu plus dur, le geste est particulier car il faut balayer en biais pour que le balayage soit le plus horizontal possible. Il faut également adapter les temps d'arrêt au volume du cordon et réajuster constamment.