



## Guide du soudage orbital



Edition originale: Polysoude S.A.S. Nantes France

Les photos, schémas et dessins sont utilisés comme aide à la compréhension et sont donc non contractuels.

Tous droits de reproduction réservés. Aucune reproduction totale ou partielle de cet ouvrage ne pourra être effectuée, sous quelque forme ni par aucun moyen que ce soit, électronique ou mécanique, y compris photocopie, enregistrement ou moyen informatique, sans la permission écrite de l'éditeur.

Publié par Fronius International GmbH

# SOMMAIRE

1. Préface	5
2. Qu'est-ce que le soudage orbital ?	5
3. Rappel sur le procédé TIG	5
4. Pourquoi choisir le soudage orbital ?	11
5. Exemples d'utilisation positive du procédé de soudage TIG dans l'industrie	12
6. Spécificité du procédé de soudage orbital	14
7. Description d'une installation de soudage orbital	15
8. Les générateurs de soudage programmables	16
9. Têtes de soudage	18
10. Dévidoirs	21
11. Fonctionnalité des équipements de soudage orbital	21
12. Programmation d'un cycle de soudage	28
13. Acquisition de données	31
14. Applications tube / tube par fusion	32
15. Soudage orbital tube / tube avec fil d'apport	38
16. Soudage orbital tube / plaque tubulaire	43
17. Conclusion	50



## 1. Préface

Parmi les différents procédés de soudage industriels, le soudage TIG orbital (Tungsten Inert Gas) s'est peu à peu imposé comme une technique très efficace. Malheureusement, les multiples possibilités qu'il peut offrir sont très peu connues des professionnels. L'industrie aérospatiale, l'aviation, les trains à grande vitesse, les secteurs nucléaire, pharmaceutique et agroalimentaire, les systèmes microélectroniques – pour ne citer que les exemples les plus prestigieux – ont recours au soudage orbital. Mais il faut savoir que les infrastructures qui assurent notre approvisionnement quotidien en électricité, en pétrole et en gaz utilisent, elles aussi, ce procédé.

Vous trouverez dans le présent guide tout ce qu'il faut savoir sur le soudage TIG orbital

ainsi que sur les équipements nécessaires à sa réalisation : approche technique, présentation des atouts, analyse d'applications standard / spéciales, mais aussi contraintes et limites du procédé. Pour décrire au mieux les réalités du soudage TIG orbital, des exemples d'applications viennent illustrer le texte proposé.

Les tableaux ainsi que les schémas vont permettre aux ingénieurs, aux experts soudage et aux chefs de projets de visualiser rapidement si le soudage orbital peut apporter ou non une réponse à leurs besoins. Pour toute question spécifique, merci de consulter notre support technique clientèle

## 2. Qu'est-ce que le soudage orbital ?

Lorsque l'on doit effectuer des soudures avec un niveau de qualité élevé, le soudage orbital est la technique idéale pour les applications de soudage tube/tube ou tube/plaque. Généralement, avec le procédé TIG orbital, la torche de soudage tourne autour des tubes à souder. L'appellation soudage orbital vient donc de ce mouvement circulaire de l'équipement de soudage autour de la pièce à souder.

On distingue deux grandes catégories d'applications pour le soudage orbital :

- les applications tube / tube ;
- les applications tube / plaque.

La première catégorie regroupe l'ensemble des applications de soudage d'un tube sur un tube pour le rabotage ou bien sur un accessoire de type bride, coude, té, vanne. C'est le domaine de la tuyauterie.

La seconde catégorie regroupe l'ensemble des applications de soudage d'un tube sur une plaque percée. C'est le domaine essentiellement des échangeurs à plaques tubulaires.

## 3. Rappel sur le procédé TIG

Un arc électrique est généré entre l'électrode de tungstène réfractaire et la pièce à souder. L'électrode concentre la chaleur de l'arc tandis que le métal de la pièce à souder fond, formant ainsi le bain de fusion.

Le métal fondu de la pièce à souder et l'électrode ne doivent pas entrer en contact

avec l'oxygène présent dans l'atmosphère. On utilise alors un gaz de protection inerte comme l'argon, par exemple.

Si l'ajout de métal s'avère nécessaire, on ajoute directement au bain de fusion, du fil d'apport qui fond grâce à l'énergie générée par l'arc électrique.

## 3.1. Les principaux avantages et inconvénients du procédé TIG

### 3.1.1. Avantages

1- Presque tous les métaux peuvent être assemblés.

2- Le procédé s'applique facilement à tous les aciers dont l'acier inoxydable, ainsi qu'aux alliages de nickel résistants à la corrosion ou réfractaires, le titane, l'aluminium; le magnésium, le cuivre, le laiton, le bronze ou l'or. Les pièces à souder composées de différents alliages ou de différents métaux (soudures hétérogènes) peuvent également être assemblées moyennant l'utilisation d'un métal d'apport approprié.

3- Toutes les positions de soudages sont réalisables.

### 3.1.2. Inconvénients

1- Comparé à d'autres procédés de soudage à l'arc, le taux de dépôt du procédé TIG est relativement faible.

2- L'établissement des procédures et des paramètres de soudage nécessaires au bon fonctionnement du procédé néces-

4- Le procédé est très stable et fiable permettant d'abaisser les taux de défaut ou de reprise, à des niveaux inférieurs à 1 %.

5- Aucune fumée ni aucun résidu n'apparaît lors de la soudure.

6- Les paramètres de soudage sont adaptables et, pour la plupart, indépendants les uns des autres.

7- Le procédé de soudage TIG peut être mis en œuvre avec ou sans fil d'apport suivant l'application.

8- La tension d'arc, qui est directement liée à la longueur d'arc et à l'intensité du courant de soudage est facilement automatisable.

site du temps ainsi qu'un certain coût de développement.

3- La sophistication de l'équipement de soudage implique des coûts d'investissement supérieurs à ceux d'un équipement de soudage manuel.

## 3.2. Types de courants de soudage

Le procédé de soudage TIG utilise deux types de courant :

► Le courant continu (CC) servant au soudage de tous les matériaux (le plus fréquemment utilisé).

► Le courant alternatif (CA) utilisé, de façon essentiellement, pour le soudage de l'aluminium et des alliages d'aluminium.

En courant continu, l'électrode est reliée au pôle négatif (cathode). On nomme cela CCEN (Courant Continu à Electrode Négative). Dans ce cas, les électrons de l'arc circulent de l'électrode négative à la pièce à souder reliée au pôle positif. Généralement, on considère que 70% de l'énergie de l'arc est transférée à la pièce à souder. On traduit cela en attribuant, au procédé TIG, un rendement de 0,7 (énergie utile/énergie de

l'arc).

La configuration CCEP (Courant Continu à Electrode Positive) n'est pas utilisée dans le procédé de soudage TIG orbital, hormis pour des applications très spéciales de soudage d'aluminium. Cependant, avec cette configuration, la chaleur est en grande partie transmise à l'électrode de tungstène. Par conséquent, même avec un courant de soudage de faible intensité, il faut utiliser des électrodes de diamètre beaucoup plus important qu'en TIG CCEN.

En courant alternatif, l'électrode alterne entre le pôle positif (anode) et le pôle négatif (cathode). En polarité positive, l'électrode en tungstène devient anode, ce qui permet de briser la couche d'oxyde présente à la surface de la pièce à souder. En polarité négative,

l'électrode de tungstène devient cathode, la chaleur nécessaire pour faire fondre l'aluminium est appliquée à la pièce à souder et l'électrode peut alors refroidir.

### 3.3. Électrodes de tungstène

#### 3.3.1. Types d'électrodes

Le tungstène est un élément métallique réfractaire dont le point de fusion se situe à 3410°C. Sa résistance à la chaleur de l'arc est excellente et il conserve sa dureté même à très haute température. Par le passé, les électrodes de tungstène thorié ont été très fréquemment utilisées en soudage TIG, mais le thorium présentant un risque lié à la présence d'isotopes radioactifs, une machine de meulage spéciale était nécessaire afin d'assurer une bonne évacuation des poussières.

Aujourd'hui, on préfère utiliser des électrodes de tungstène au cérium ou au lanthane qui ne présentent aucun risque radioactif. De plus, elles sont tout aussi performantes que les électrodes de tungstène thorié.

De plus, elles sont tout aussi performantes que les électrodes de tungstène thorié.

#### 3.3.2. Affûteuse d'électrodes de tungstène

Pour obtenir un affûtage d'électrode de qualité et suffisamment répétitif pour garantir la stabilité de l'arc ainsi qu'une pénétration de soudure régulière, il est nécessaire d'utiliser une affûteuse d'électrode.

Il faut affûter le bout de l'électrode de sorte que les stries d'affûtage soient parallèles à l'axe de l'électrode. Cela garantit un meilleur amorçage et une plus grande stabilité de l'arc en soudage.



Affûtage correct



Affûtage incorrect

### 3.4. Métaux d'apport

L'ajout de fil d'apport peut être nécessaire dans les cas suivants :

- 1- La soudure a besoin d'être renforcée sur l'épaisseur du cordon.
- 2- Assemblage d'aciers au carbone ou d'aciers doux.
- 3- Préparation des bords à souder, en J ou V par exemple.
- 4- Pour prévenir les problèmes métallurgiques de tubes à souder de métaux ou d'alliages différents.

L'exemple le plus connu est l'assemblage d'acier carbone et d'acier inoxydable 316

utilisant un fil d'apport de type 309 ou de l'Inconel 82°.

- 5- Si la composition ou la structure des alliages est modifiée au cours de la soudure.

Les composants de l'alliage peuvent s'évaporer au cours du cycle de soudage ou bien former un nouveau composant. Par exemple, le carbure de chrome est le produit de la combinaison chrome/carbone. Le manque de chrome, dans la zone périphérique, peut entraîner une altération indésirable de la résistance à la corrosion.

### 3.5. Gaz

#### 3.5.1. Gaz de soudage

En soudage TIG, le gaz de protection le plus utilisé est l'argon. L'argon facilite l'amorçage de l'arc et permet une excellente stabilité de l'arc même avec un courant de faible intensité, l'énergie générée par l'arc ne se diffuse que dans une zone restreinte. De plus, l'argon est compatible avec tous les matériaux de base.

Pour une utilisation standard du procédé de soudage TIG, le gaz de protection doit avoir une pureté de 4,5 soit un niveau de pureté de 99,995%. Les métaux délicats tels que le titane, le tantale, ou le zirconium et leurs alliages requièrent une pureté de 4,8 ce qui équivaut à un niveau de pureté de 99,998%.

Afin d'accroître l'énergie de soudage, on peut utiliser des mélanges d'argon/hydrogène contenant, généralement de 2 à 5% d'hydrogène. Le mélange argon/hydrogène augmente l'énergie produite de 10 à 20%, ce qui permet une meilleure pénétration et de plus grandes vitesses de soudage. De plus, il offre des propriétés réductrices permettant de protéger le métal en fusion contre les agents oxydants de l'atmosphère ambiante. Pour les aciers doux et les aciers au carbone absorbant l'hydrogène pouvant entraîner des inclusions et des fissures à froid, les mélanges contenant de l'hydrogène ne sont pas recommandés. Pour le

soudage d'aluminium ou de titane, ils sont formellement interdits.

Il est également possible d'augmenter l'énergie de soudage grâce au mélange argon/hélium avec un taux d'hélium de 20, 50 ou 70%, voire de l'hélium pur. L'hélium n'a aucun effet néfaste sur le titane ; c'est pourquoi il est généralement utilisé pour le soudage de pièces en métal pur ou en alliage.

Le mélange argon/hélium/azote est utilisé pour le soudage d'aciers Duplex et super Duplex.

Contrairement à l'argon, l'hélium est un excellent conducteur de chaleur. Avec de l'hélium, la tension d'arc est beaucoup plus élevée qu'avec l'argon, ce qui augmente considérablement l'énergie de l'arc. La colonne d'arc est plus importante et permet une pénétration plus profonde. L'hélium est utilisé pour le soudage de métaux à conductivité thermique élevée comme le cuivre, l'aluminium et les alliages de métaux légers. L'hélium étant un gaz léger, le débit d'un gaz de protection identique devra être deux ou trois fois supérieur à celui de l'argon.

Le tableau ci-après liste des matières premières ainsi que les gaz de soudage à utiliser pour chacune.

	Ar	Ar + H <sub>2</sub>	Ar + Hé	Ar + N <sub>2</sub>	He	
Acier doux/ Acier carbone	***	**	**	*	**	Ar Argon
Acier austénitique	***	**	**	**	**	N <sub>2</sub> Azote
Duplex/ Super duplex	**	**	**	***	**	H <sub>2</sub> Hydrogène
Cuivre	***	X	***	**	***	He Hélium
Aluminium	***	X	***	*	***	*** Recommandé
Titane	***	X	***	X	***	** Possible
						* Non utilisé
						X Interdit

### 3.5.2. Gaz de protection

En soudage orbital, la plupart des applications exigent – côté intérieur – une racine d'une qualité exceptionnelle, puisque c'est cette partie de la soudure qui entre en contact avec le produit transporté. Avant, puis pendant la réalisation de la soudure, le métal chaud à l'intérieur de la zone de soudage ne doit absolument pas entrer en

contact avec l'oxygène présent dans l'atmosphère afin d'éviter tout risque d'oxydation. En fonction du matériau à souder, des composants réducteurs comme le N<sub>2</sub> ou le H<sub>2</sub> peuvent être ajoutés. Les gaz de protection les plus utilisés pour diverses matières premières sont les suivants :

	Ar	N <sub>2</sub>	Ar + H <sub>2</sub> ou N <sub>2</sub> + H <sub>2</sub>	
Acier doux / Acier carbone	***	***	*	Ar Argon
Acier austénitique	***	***	***	N <sub>2</sub> Azote
Duplex / Super duplex	**	***	**	H <sub>2</sub> Hydrogène
Cuivre	***	**	**	*** Recommandé
Aluminium	***	*	X	** Possible
Titane	***	X	X	* Non utilisé
				X Interdit

### 3.6. Energie de soudage

#### 3.6.1. Influence

L'apport de chaleur ne peut pas être mesuré, mais seulement calculé. Ce calcul est utilisé, par exemple, pour comparer différentes procédures de soudage pour une technique donnée. L'apport de chaleur influence le taux de refroidissement ainsi que la ZAC (Zone Affectée par la Chaleur) de la soudure. Avec un faible apport de chaleur, le refroidissement est plus rapide et la ZAC plus réduite. Avec des taux de refroidissement rapides, les changements de microstructure du matériau de base sont moindres, ce qui permet d'éviter la perte de résistance mécanique ou de résistance à la corrosion. Pour un grand nombre de matériaux, comme par exemple les aciers inoxydables ou traités thermiquement, l'apport de chaleur est limité par les spécifications du fournisseur.

Pour obtenir un apport de chaleur précis en soudage manuel, le soudeur doit maintenir la longueur d'arc constante de manière continue. Ainsi, la tension d'arc est elle aussi constante et conserve la valeur souhaitée. Mais, comme l'apport de chaleur dépend de la vitesse de soudage, le soudeur manuel doit terminer la soudure dans un laps de temps déterminé. Seuls les professionnels du soudage chevronnés peuvent parvenir à réaliser cette opération.

En soudage TIG, les paramètres de soudage tels que la tension d'arc, le courant de soudage, la course et la vitesse de débit du fil sont gérés et maintenus constants grâce à un poste de commande électronique. Par conséquent, il est très facile d'obtenir l'apport de chaleur souhaité.

### 3.6.2. Formule

L'énergie générée par l'arc électrique lors du soudage par unité de longueur de la soudure (l'apport de chaleur) s'obtient grâce à la formule suivante :

$$HI = 60 \times U \times I / S$$

HI = Apport de chaleur [J/mm ou J/in]

U = tension d'arc [V]

I = courant [A]

S = Vitesse linéaire [mm/min ou in/min]

Dans l'équation ci-dessus permettant de calculer l'apport de chaleur, les caractéristiques du procédé de soudage utilisé ne sont pas prises en compte. En appliquant un coefficient «r» lié au procédé de soudage, on peut obtenir des valeurs d'apport d'énergie efficace de rendement pour différents procédés :

$$HI = 60 \times U \times I \times r / S$$

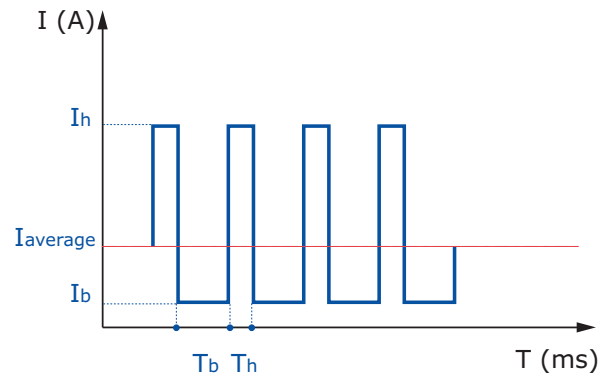
En soudage TIG mécanisé, le coefficient «r» est compris entre 0,6 et 0,8 ce qui veut dire qu'entre 60 et 80 % de l'énergie générée par l'arc sert à chauffer la pièce à souder tandis qu'entre 20 et 40 % de cette énergie disparaît par rayonnement thermique, par réchauffe-

ment du gaz de protection, etc.

Rappel :

Pour une application de soudage orbital avec un courant pulsé, le calcul de  $I_{\text{moyen}}$  – appelé  $I_{\text{average}}$  ci-après – s'effectue en utilisant la formule suivante :

$$I_{\text{average}} = (I_h \times T_h + I_b \times T_b) / (T_b + T_h)$$



I<sub>h</sub> Courant haut

T<sub>h</sub> Temps de pulsation haute

I<sub>b</sub> Courant bas

T<sub>b</sub> Temps de pulsation basse

## 4. Pourquoi choisir le soudage orbital ?

Diverses raisons peuvent être à l'origine du choix du soudage orbital TIG mécanisé ou automatique ; il peut s'agir de raisons techniques, économiques, organisationnelles ou autres, à des niveaux d'importance variables de mineures à décisives. Le procédé de soudage orbital offre une multitude d'avantages pouvant convaincre les partenaires industriels. Voici quelques exemples :

### 4.1. Productivité supérieure à celle du soudage manuel

Comparé au soudage TIG manuel, le procédé automatique ou mécanisé augmente la productivité. Les tâches répétitives effectuées en atelier ou les opérations de montage complexes sur site sont autant de contraintes

auxquelles l'équipement de soudage orbital peut remédier : les séquences de soudage sont répétées de façon stable et les opérations de maintenance peuvent être réduites à un minimum de temps.

### 4.2. Soudure de haute qualité

En général, la qualité de la soudure obtenue avec un équipement mécanisé est supérieure à celle issue du soudage manuel. Une fois qu'un programme de soudure adapté est développé, le cycle de soudage peut être

répété aussi souvent que nécessaire sans qu'apparaissent de différences ou de défauts de soudure imputables aux équipements de soudage.

### 4.3. Niveau de compétence

Les soudeurs confirmés sont rares. L'équipement de soudage orbital peut être manipulé par des opérateurs ayant été for-

més au préalable. Ceci permet une réduction des coûts de la main d'œuvre.

### 4.4. Environnement

Le procédé de soudage orbital peut être utilisé même dans des conditions difficiles. Espace réduit ou difficilement accessible, manque de visibilité, exposition aux radia-

tions : une fois que la tête de soudage est positionnée, la soudure peut tout à fait être réalisée à distance avec, dans la majorité des cas, une assistance vidéo.

### 4.5. Traçabilité – Contrôle qualité

Sur tous les équipements de soudage orbital, les paramètres de soudage peuvent être contrôlés et compilés dans un protocole de soudage imprimable. Des dispositifs d'acquisition de données très sophistiqués fonction-

nent en parallèle. Ils peuvent être connectés directement à un autre système de contrôle qualité et ainsi permettre un transfert automatique des données sans interruption du cycle de soudage.

## 5. Exemples d'utilisation positive du procédé de soudage TIG dans l'industrie

### 5.1. Industrie aéronautique

Dans l'industrie aéronautique, première industrie à reconnaître l'importance du procédé de soudage orbital dans sa production, plus de 1 500 soudures sont nécessaires pour produire le circuit haute pression d'un seul avion. Le soudage manuel des petits tubes de faible épaisseur est très difficile à réaliser : il est impossible d'obtenir un cordon de

soudure régulier. La seule solution consiste donc à créer un programme de soudure avec un équipement de soudage orbital. Ainsi, les valeurs paramétrées sont scrupuleusement contrôlées par l'équipement et les soudures obtenues atteignent le même niveau de qualité que lors des tests de qualification du procédé.

### 5.2. Industrie agroalimentaire

L'industrie agroalimentaire requiert l'utilisation de tubes et de tuyaux respectant des normes sanitaires strictes. La pénétration des joints de soudure doit être complète : la moindre irrégularité, cavité, fissure, fêlure ou soufflure peut présenter un danger qui peut être mortel en favorisant le développement des bactéries pathogènes (*Listéria*, etc.). Les surfaces lisses à l'intérieur des tubes facilitent

les opérations de nettoyage et de stérilisation des éléments. Seule la réalisation des soudures par un équipement de soudage orbital peut permettre d'atteindre la qualité de surface exigée. C'est pour cette raison que les normes et les spécifications actuelles obligent de plus en plus les acteurs de l'industrie agroalimentaire à adopter le procédé TIG orbital.

### 5.3. Industries pharmaceutiques et biotechnologiques

Les usines de l'industrie pharmaceutique doivent être équipées de réseaux de tuyauterie pour les produits, le nettoyage vapeur et l'eau d'injection. L'eau d'injection et ses dérivés sont, à terme, amenés à entrer en contact avec le corps humain, d'où une exigence de pureté particulièrement élevée. Toute trace de corrosion est formellement interdite : la résistance à la corrosion des soudures ne doit

en aucun cas être altérée, surtout en cas de surchauffe partielle de la matière. Les joints issus du soudage orbital sont caractérisés par une résistance à la corrosion supérieure. En outre, leur surface lisse peut être passivée chimiquement après soudage pour éviter toute oxydation ou corrosion ultérieure.

## 5.4. Fabrication de matériaux semi-conducteurs

Pour la fabrication de composants semi-conducteurs, des tubes électropolés en acier inoxydable sont utilisés comme conduites de gaz. La plupart de temps, ce sont des tubes de 6,3 mm de diamètre extérieur et de 0,9 mm d'épaisseur. Le gaz ultra-pur utilisé dans ce procédé doit passer à travers les tubes sans être contaminé par l'humidité; l'oxygène, les particules ou autres. Les critères d'acceptation des installations sont

extrêmement stricts : soudures uniformes avec cordon extra-fin pour minimiser la surface de soudure dans les tubes, pleine pénétration, absence de coloration, etc. Seuls les techniciens chevronnés travaillant sur des équipements de soudage fiables sont à même de réussir ce type d'opération, parfois même dans des conditions difficiles, sur site.

## 5.5. Industrie chimique

L'industrie chimique et particulièrement la chimie fine sont très demandeuses de soudage orbital. En effet une unité de production est un assemblage de tubes, échangeurs et réacteurs constitué de métaux et alliages nobles comme le titane, le zirconium, le nickel (et ses alliages) et toute la panoplie d'acier inoxydable. De la qualité des soudures dépend la durée de service des ins-

tallations. Le contrôle rigoureux du procédé de soudage passe donc nécessairement par l'automatisation du soudage. Sur un échangeur par exemple, on compte plusieurs centaines voir milliers de soudures. Le choix du soudage orbital s'impose de lui-même et d'ailleurs il est généralement imposé par les donneurs d'ordre.

## 5.6. Production d'énergie

Pour la sécurité des usines de production d'énergie, toutes les techniques d'assemblage en soudage orbital sont utilisées. On doit assembler des tubes de petits diamètres pour les dispositifs de mesures et de contrôle, les échangeurs et autres composants nécessitent l'utilisation de soudage orbital de type tube sur plaque et les tubes à parois épaisses pour hautes pressions et températures doi-

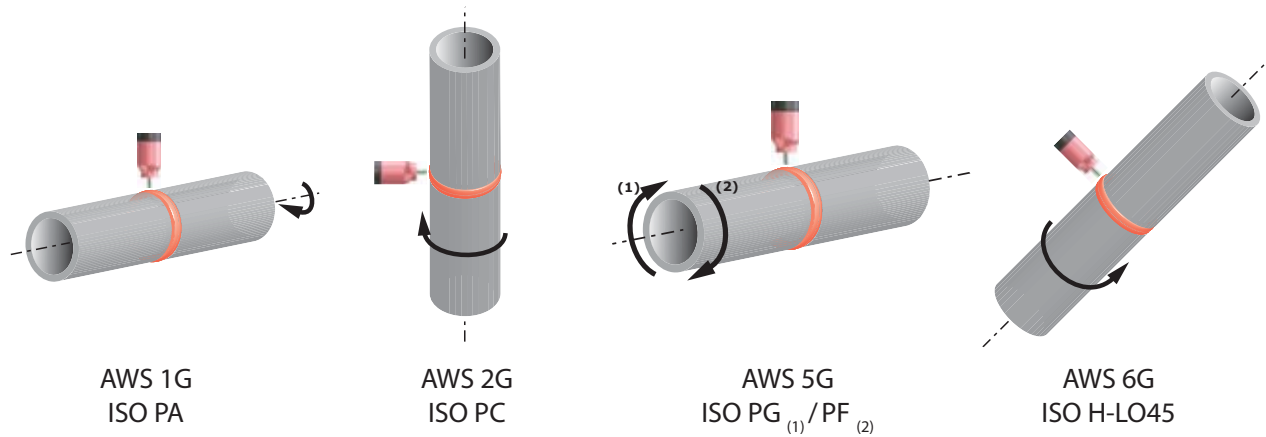
vent être assemblés sur site.

Les procédures de soudage et la qualité des soudures sont généralement sous la constante surveillance des autorités et organismes extérieurs de contrôle. La documentation complète nécessaire à la traçabilité est fournie par l'équipement orbital grâce au système d'acquisition de données en ligne.

## 6. Spécificité du procédé de soudage orbital

### 6.1. Rappel sur les positions de soudage

Toutes les positions de soudage de tubes sont codifiées. Ci-dessous un rappel des positions de soudage et de leur dénomination suivant l'ASME (section IX) et EN 287 / EN ISO 6947.



### 6.2. Courant pulsé

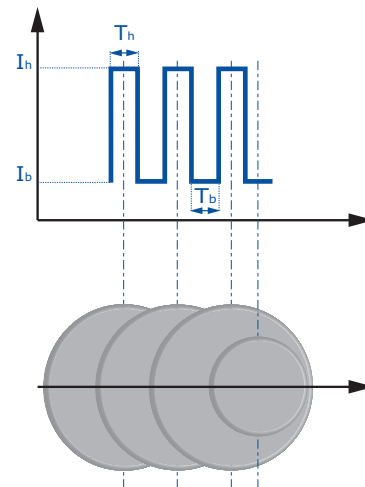
La spécificité essentielle du soudage orbital est de devoir contrôler le bain de fusion en tenant compte de conditions de soudage en continuelles évolutions tout au long du cycle de soudage. Ainsi pour un soudage orbital de type PF/PG ou 5G (tube fixe), nous sommes confrontés aux évolutions suivantes :

- 1- Evolution de la position de soudage (cf. paragraphe précédent) et donc de la gravité.
- 2- Evolution des conditions thermiques de la pièce.

Afin de pouvoir conserver le contrôle du bain de fusion dans toutes les positions de soudage, la règle est d'utiliser un courant pulsé.

Le principe de base est d'utiliser deux niveaux de courant de soudage :

- ▶ Un niveau haut  $I_h$  pendant un temps  $T_h$  pour souder. C'est là que le bain atteint son volume maximum.
- ▶ Un niveau bas  $I_b$  durant un temps  $T_b$  pour refroidir le bain en atteignant son volume minimum, évitant ainsi que celui-ci ne subisse de façon excessive l'effet de la gravité.



Ce principe prévaut pour une grande majorité des applications standard orbitales en simplifiant la mise au point des procédures de soudage. Toutefois, pour certaines applications comme le soudage de tube de diamètre et d'épaisseur conséquentes (diamètre > 114 mm et épaisseur > à 10 mm) les courants utilisés pourront tendre vers du courant lisse.

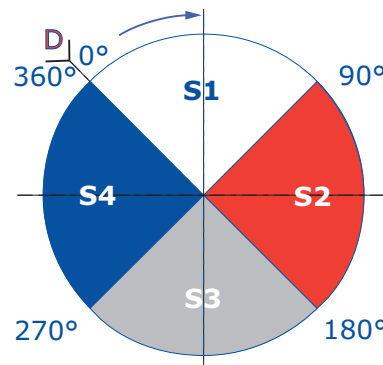
### 6.3. Programmation de secteurs

L'utilisation d'un courant pulsé n'est pas une condition suffisante pour contrôler le bain de fusion. Il va donc être nécessaire de modifier les paramètres de soudage pour les adapter aux conditions du moment. L'utilisateur de soudage orbital devra diviser la soudure en différentes zones ou secteurs dans lesquels les paramètres de soudage seront modifiés.

La solution la plus rationnelle pour la gestion de ces secteurs est de se reporter à une représentation trigonométrique d'un cercle. En effet une soudure peut être assimilée à un cercle, soit  $360^\circ$ , et il devient très évident de différencier des zones sous forme de secteurs angulaires comme schématisé ci-dessus.

Ainsi il est d'usage de schématiser un cycle de soudage orbital en représentant une soudure divisée en quatre secteurs. Le départ de la soudure étant au point D (10h30) nous découpons le cycle de soudage en quatre secteurs de  $90^\circ$ . Chaque secteur correspond à une position de soudage spécifique :

- secteur S1 de  $0$  à  $90^\circ$  position à plat ;
- secteur S2 de  $90$  à  $180^\circ$  position descendante ;
- secteur S3 de  $180$  à  $270^\circ$  position plafond ;
- secteur S4 de  $270$  à  $360^\circ$  position montante.



Dans chaque secteur, les paramètres de soudage seront modifiés de façon à tenir compte de la position de soudage et de la température de la pièce, celle-ci s'échauffant durant l'opération de soudage.

En réalité, la répartition des secteurs ne sera que rarement aussi régulièrement distribuée. Le nombre et la disposition des secteurs pourront être très variables d'une application à l'autre.

## 7. Description d'une installation de soudage orbital

Quel que soit le domaine d'application, une installation de soudage orbital sera toujours constituée des éléments suivants :

- un générateur de soudage programmable et sa commande à distance (séparée ou intégrée dans la tête de soudage) ;
- une tête de soudage ;
- un dispositif optionnel d'amenée de fil d'apport.

Toutefois, derrière ces trois appellations génériques, nous pouvons trouver des équipements très différents en terme de capacité.

## 8. Les générateurs de soudage programmables

### 8.1. Généralités

Un générateur de soudage est un ensemble intégré de composants ayant chacun une fonction déterminée. Les éléments constitutifs essentiels sont :

- ▶ La ou les sources de courant de puissance pour le soudage et éventuellement le chauffage du fil. Les sources de soudage actuelles sont, généralement, toutes de type Inverter.
  - ▶ Une unité de programmation qui est généralement construite sur la base d'un PLC intégré ou non.
  - ▶ Un circuit de refroidissement liquide permettant le refroidissement des torches et outillages de soudage.
  - ▶ Système AVR (Actual Value Recording) enregistrement de chaque séquence de soudage
- Compte tenu des différents environnements et domaines d'application, on dispose de deux catégories de générateurs programmables ayant chacun un domaine d'utilisation spécifique.

### 8.2. Générateur portable FPA 2020

Le générateur de soudage le plus léger avec un poids inférieur à 30kg dispose d'un courant de soudage jusque 200 Ampères AC ou DC. Il se raccorde sur une simple prise de courant 230 Volts monophasé. La programmation et la recherche de paramètres s'effectue à travers une interface graphique pour l'opérateur et une commande à distance regroupant toutes les fonctions nécessaires à l'exécution.

L'interface graphique homme-machine à écran tactile permet un management simple des programmes de soudage, cycles et paramètre de soudure. L'électrovanne de gaz peut être pilotée à partir de la commande à distance ainsi que tous les paramètres qui peuvent être modifiés en cours de soudage.



Générateur orbital FPA 2020

La FPA2020 permet le contrôle et la programmation de 4 axes ; par exemple le débit de gaz de protection, l'intensité et la pulsation du courant de soudage, la vitesse de rotation de la tête de soudage et les paramètres de dévidage de fil. Un groupe de refroidissement à circuit fermé, intégré à la machine, permet l'utilisation de têtes de soudage orbitales à refroidissement liquide.

De plus, la FPA 2020 dispose d'une base de données intégrée. Après que l'opérateur ait spécifié via l'interface graphique à écran tactile les caractéristiques de l'assemblage à réaliser (dimensions, épaisseurs, matériau, ...), le système consulte sa base de données intégrée pour proposer des paramètres répondant à l'application et qui pourront être modifiés par la suite par l'opérateur.

### 8.3. Système de commande orbital FPA 2030 avec générateur de soudage

Les générateurs de soudage de puissance moyenne sont montés sur des chariots pour permettre un déplacement facile. Ces générateurs se raccordent sur un réseau triphasé 400 Volts et disposent d'un courant de soudage maximum de 500 Ampères. Pour le dialogue avec l'opérateur, le générateur est raccordé à un système de commande avec interface graphique à écran tactile et une commande à distance regroupant toutes les fonctions nécessaires à l'exécution.

La FPA 2030 est conçue pour contrôler jusqu'à 6 axes. Habituellement les axes pilotés sont le débit de gaz de protection, l'intensité et la pulsation du courant de soudage, la vitesse de rotation de la tête de soudage, les paramètres de dévidage de fil et les paramètres de régulation de hauteur d'arc (AVC) et d'oscillation.

L'électrovanne de gaz peut être pilotée à partir de la commande à distance ainsi que tous les paramètres qui peuvent être modifiés en cours de soudage



Commande de système orbital FPA 2030 avec générateur de soudage

## 9. Têtes de soudage

### 9.1. Têtes de soudage tube / tube

#### 9.1.1. Têtes à enceinte fermée

Les têtes de soudage à enceinte fermée sont conçues pour le soudage par fusion sans métal d'apport, sous protection gazeuse, pour des diamètres allant de 1,6 à 168 mm (ANSI 1/16" à 6"), avec encombrement axial très faible. Cela permet de souder tous les aciers austénitiques mais également les métaux très oxydables comme le titane ou le zirconium sans précaution particulière. Le bridage de la tête de soudage est assuré par une ou deux coquilles ou TCI (Tube Clamping Insert), suivant l'application.



Tête MW

#### 9.1.2. Têtes ouvertes en U

Les têtes ouvertes ont été conçues pour réaliser des cordons TIG avec ou sans métal d'apport. La gamme de diamètres soudables s'étend de 8 à 275 mm (ANSI 5/16" à 11 non identiques à ceux de 5/16").

Les têtes ouvertes en U sont dotées d'une torche avec diffuseur, la protection gazeuse de l'arc électrique n'existe qu'au droit du joint. Avec les têtes ouvertes, l'opérateur visualise et contrôle directement la soudure. Leur construction asymétrique permet de souder très près d'une paroi ou d'un coude.

Le positionnement de la torche peut être manuel ou automatique via des glissières motorisées (Arc Voltage Control et oscillation).



Tête MU

### 9.1.3. Têtes de soudage ouvertes de type chariot

Les têtes de soudage de type chariot sont, principalement, conçues pour le soudage de tubes de forte épaisseur et de 114 mm



(3 1/2") de diamètre extérieur minimum, nécessitant des passes multiples avec apport de fil chaud ou froid. Elles tournent autour des tubes sur des rails appropriés à l'application. La conception, très modulaire, de ces têtes de soudage permet d'embarquer les équipements tels que le moteur d'entraînement fortes charges, la torche asservie, un dévidoir équipé d'une bobine de fil de 5 kg et, en option, des caméras vidéo permettant de visualiser et contrôler les soudures.

Suivant les applications, ces têtes sont dotées soit de torches avec diffuseur, donc une protection gazeuse au droit du joint.

## 9.2. Têtes de soudage tube / plaque

### 9.2.1. Têtes de soudage fermées tube / plaque sans fil d'apport

Les têtes de soudage tube / plaque fermées sont destinées au procédé de soudage TIG d'applications tube / plaque ne nécessitant pas de fil d'apport. Elles permettent de souder les tubes affleurants ou légèrement dépassants ayant un diamètre intérieur minimum de 9,5 mm (3/8") et un diamètre extérieur maximum de 33,7 mm (1 1/3").

La soudure est réalisée sous atmosphère inerte, dans une enceinte gazeuse, assurant une très bonne protection contre l'oxydation.

Le bridage s'effectue grâce à un mandrin expansible introduit dans le tube à souder

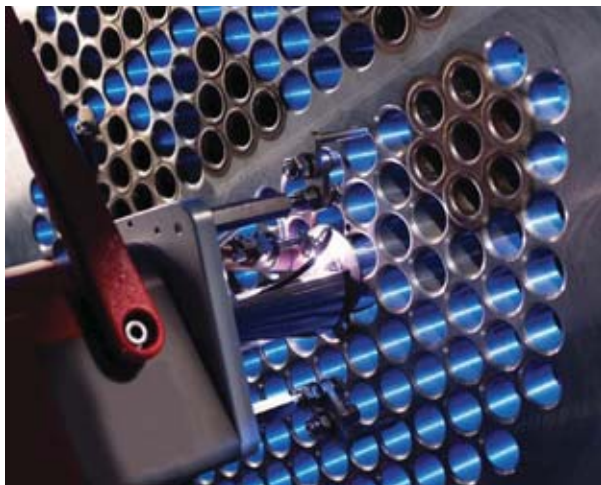
Ces têtes peuvent être équipées d'une lance arrière-plaque pour des diamètres intérieurs variant de 10 à 33,7 mm (13/32" à 1 1/3").



Tête TS 34

### 9.2.2. Têtes de soudage ouvertes tube / plaque avec ou sans fil d'apport

Les têtes de soudage ouvertes tube / plaque avec ou sans fil d'apport sont conçues pour des applications mettant en œuvre des tubes de 10 mm (13/32") minimum de diamètre



Tête TS 2000

intérieur et de 60 mm maximum de diamètre extérieur. La torche TIG tourne autour du tube dépassant, affleurant ou en retrait.

Les torches sont dotées d'un diffuseur assurant une protection gazeuse au droit du joint. Pour le soudage de matériaux fortement oxydables, la tête peut être équipée d'une cloche pour créer une enceinte gazeuse.

La tête peut être équipée d'un dévidoir intégré pour la version avec fil d'apport, d'un dispositif de bridage pneumatique pour la manipulation de plusieurs têtes de soudage par un même opérateur, d'une lance double plaque ou arrière plaque.

## 10. Dévidoirs

Il existe deux grandes catégories de dévidoirs en fonction des conditions d'utilisation, les dévidoirs intégrés et les dévidoirs externes. Le choix du dévidoir doit tenir compte du conditionnement du fil souhaité

existant sur le marché mais aussi des conditions d'utilisation, des contraintes de mise en œuvre et de mobilité des équipements.



Dévidoir intégré sur TS 2000



Dévidoir intégré sur MU IV



Dévidoir externe KD 4000

## 11. Fonctionnalité des équipements de soudage orbital

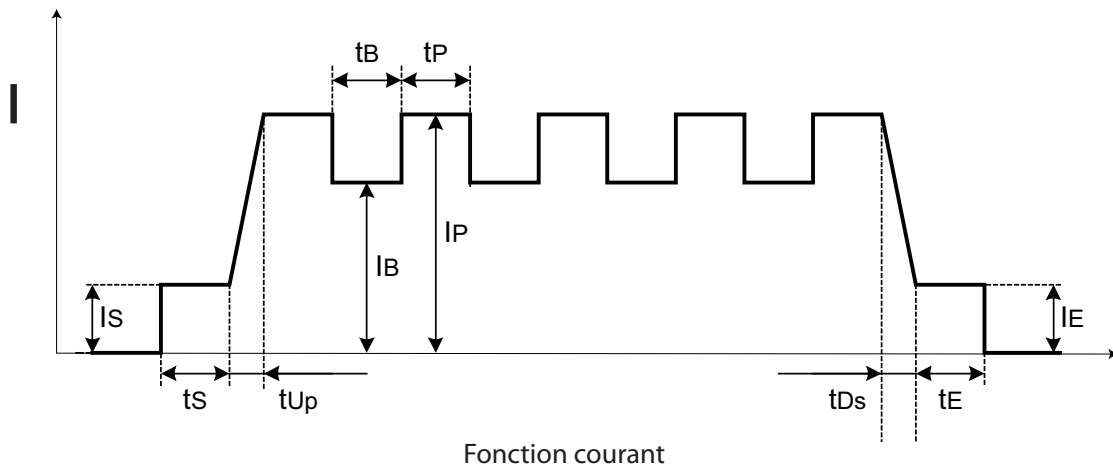
### 11.1. Gaz

La gestion des temporisations et débits de gaz peut se faire de deux façons. De la plus simple à la plus sophistiquée, il existe :

- 1- Le détendeur débiteur à réglage manuel sur bouteille ou réseau de gaz et commande (marche-arrêt) par électrovanne intégrée au générateur.
- 2- Un détendeur réglable est installé sur l'alimentation en gaz (bouteille ou réseau) , un dispositif électronique intégré au générateur contrôle le débit de gaz. Les installations de soudage orbital sont conçues pour contrôler 3 débits gazeux : 2 gaz de soudage et un gaz additionnel ( ex : gaz envers). La fonction Bi-Gaz permet de changer le type de gaz de soudage quand l'arc est amorcé, ce qui est particulièrement avantageux sous Hélium. Pour faciliter l'amorçage de l'arc en cas d'utilisation de l'Hélium comme gaz de protection, on amorce l'arc sous

Argon et dès la stabilisation de l'arc, on commute l'alimentation de gaz en Hélium. Suivant l'équipement de la machine, le débit de gaz peut être contrôlé continuellement. En cas d'interruption de l'alimentation en gaz, l'amorçage de l'arc est stoppé. En cas d'alimentation irrégulière du gaz pendant le soudage, le cycle de soudage s'interrompt automatiquement, ce qui évite des dommages importants sur la pièce et sur l'équipement.

## 11.2. Courant



### 11.2.1. Amorçage de l'arc

La méthode classique pour amorcer un arc TIG est d'appliquer une haute tension à haute fréquence. La colonne de gaz s'ionise et devient conductrice. En conséquence, il se forme un arc électrique et le courant de soudage commence à s'établir. Cette méthode d'amorçage est commune à tous les équipements de soudage orbital.

Cette technique d'amorçage est limitée par la longueur de câble entre le générateur et la tête de soudage, qui suivant les applications ne doit pas dépasser 25 à 30 mètres. Si la tête

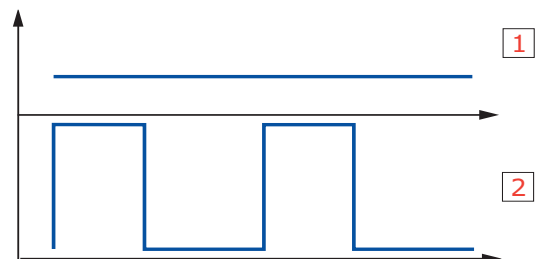
de soudage est équipée d'une régulation de hauteur d'arc (AVC), on peut utiliser la fonction « touch and retract ». La torche est abaissée sur la pièce jusqu'à ce que l'électrode touche la surface. Elle est alors relevée doucement pendant que le potentiel nécessaire à établir le courant de soudage est appliqué en même temps. Une fois que l'arc est établi, la torche est alors déplacée à la hauteur programmée. L'absence d'inclusion de tungstène dans le joint de soudage est garanti par cette méthode.

### 11.2.2. Courant de soudage

Le courant est l'un des paramètres essentiels en soudage TIG. De ce fait, il faut que les générateurs puissent réguler de façon précise, les intensités demandées ; on considère donc une précision de  $\pm 1$  A pour des intensités inférieures à 100 A et de 1% pour celles supérieures à 100 A. Afin de répondre à tous les cas rencontrés, les générateurs sont capables de délivrer des courants de formes différentes qui sont :

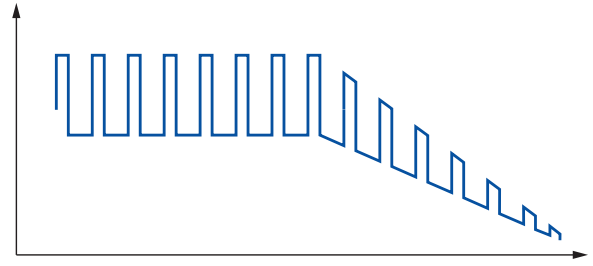
► Le courant lisse (1) : on a donc un seul niveau de courant comme en soudage manuel.

► Pulsation (2) : ce courant est communément utilisé pour le soudage TIG orbital classique. La fréquence de pulsation est environ de 5 Hz (avec apport de fil)



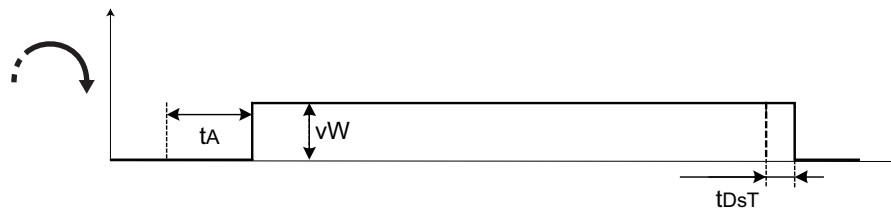
### 11.2.3. Evanouissement

En fin de cycle de soudage, le courant ne peut être interrompu instantanément sous peine d'avoir un défaut de type retassure. Il est donc nécessaire d'avoir une fonction d'évanouissement qui abaissera linéairement le courant, des valeurs de soudage à la valeur de coupure. Celle-ci sera comprise entre 4 et 30 A en fonction de l'épaisseur à souder. Plus l'épaisseur diminue plus le courant de coupure devra être faible.



La fonction évanouissement

### 11.3. Rotation de la torche



Fonction rotation

Pour souder, il faut faire tourner la torche autour du tube avec la vitesse linéaire qui convient. En soudage orbital, la vitesse

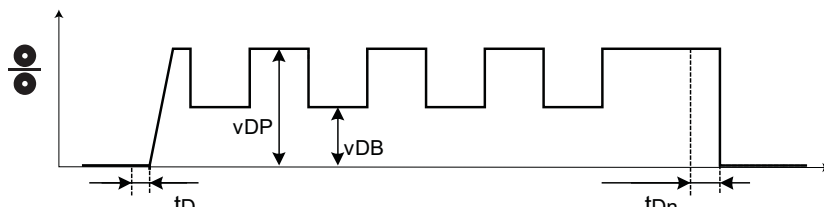
linéaire utilisée varie entre 50 et 200 mm/min pour les applications standard.

En général, la vitesse est constante, mais elle peut aussi être synchronisée avec les pulsations du courant. Il est donc possible d'avoir des vitesses différentes en courant haut et en courant bas. Le plus souvent, lors des pulsations en courant haut, la rotation s'arrête ( $V = 0$  mm/min), et lors des pulsations en courant bas la torche avance.

La vitesse de soudage doit être garantie avec une précision de  $\pm 1\%$  par rapport à la valeur programmée. Les équipements de soudage standard sont gérés par un codeur d'impulsions ou, en option un codeur tachymétrique. Les pulsations sont également utilisées

par le système de contrôle du générateur afin d'identifier la position effective de la torche par rapport au point de départ. Cela signifie donc qu'un cycle de soudage est programmé en position (degrés) et non en temps (secondes). Ainsi, la programmation est alors très intuitive puisque, lors d'un cycle de soudage, une passe correspond à  $360^\circ$  quels que soient la vitesse de soudage et/ou le diamètre du tube.

#### 11.4. Fil



Fonction fil

Les générateurs sont susceptibles d'être utilisés avec divers dévidoirs, en fonction de l'encombrement de ceux-ci et/ou des gammes de vitesses utilisées (0 à 8000 mm/min) avec des précisions de l'ordre de 1%.

Chaque générateur est capable de gérer le départ et l'arrêt du fil, de faire pulser celui-ci de façon synchrone avec les pulsations du courant. Ainsi, généralement, si la fonction est utilisée, la vitesse de fil est élevée sur le courant haut et plus faible sur le courant bas. N'oublions toutefois pas que, la grande souplesse du TIG réside dans l'indépendance des paramètres de fil par rapport au courant. Cette propriété est exploitée, par exemple, dans la réalisation de certaines passes de pénétration. Les vitesses de fil seront inversées et nous utiliserons alors l'énergie cinétique du fil durant le courant bas (volume de

bain minimum) pour garantir la convexité du cordon côté pénétration.

À la fin du cycle de soudage, une fonction recul du fil permet d'inverser le sens de dévidage. On évite ainsi la formation d'une boule à l'extrémité du fil, ou pire, que celui-ci se solidifie dans le bain.

Rappels:

1- Concernant les diamètres utilisables, ceux-ci vont théoriquement de 0,6 à 1,2 mm mais, sauf exception, c'est le diamètre 0,8 mm qui est le plus adapté aux applications standard orbitales.

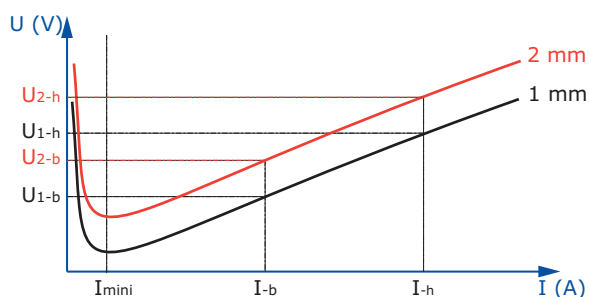
2- Le taux de dépôt n'est pas simplement fonction de la précision de régulation du dévidage mais également du diamètre réel du fil. Une variation de 0,02 mm sur un fil de diamètre 0,8 mm représentera déjà un écart de 5% du métal déposé.

## 11.5. Asservissement d'arc (Arc Voltage Control)

### 11.5.1. Rappels théoriques

Lors du soudage il est important de maintenir une distance électrode/bain constante. Or, il n'existe pas de moyen simple de mesurer cette distance durant le soudage. Par contre, dans un arc électrique, à conditions constantes, une hauteur correspond à une tension d'arc. C'est cette propriété qui est utilisée pour réguler la distance électrode/pièce durant le soudage. Il faut donc avoir une vision claire des phénomènes et de l'effet des variables qui sont impliquées afin de les contrôler.

Sur les schémas ci-dessous nous avons la représentation de deux courbes caractéristiques de tension/courant :



La courbe noire pour une hauteur d'arc de 1 mm

La courbe rouge pour une hauteur d'arc de 2 mm

Remarque : la zone inférieure à  $I_{\text{mini}}$  n'est pas utilisée. On considère par convention  $I_{\text{mini}} = 30 \text{ A}$ .

► Règle n°1 : pour un même courant ( $I_b$ ), une augmentation de la hauteur d'arc génère une augmentation de la tension d'arc mesurée (de  $U_{1-b}$  à  $U_{2-b}$ ).

► Règle n°2 : pour une même hauteur d'arc (pour des courants supérieurs à  $I_{\text{mini}}$ ), si on augmente le courant de soudage (de  $I_b$  à  $I_h$ ), on augmente la tension d'arc mesurée (de  $U_{1-b}$  à  $U_{1-h}$ ).

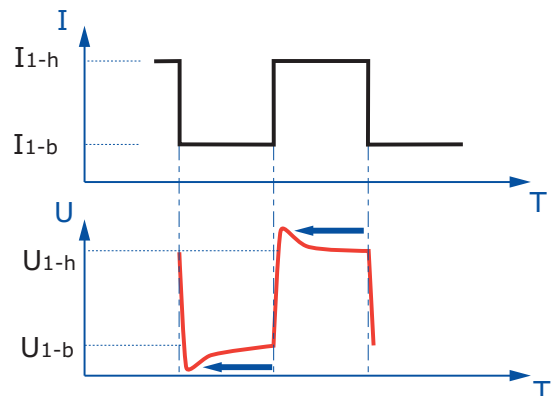
Il y a d'autres facteurs qui interfèrent avec ces

propriétés de l'arc électrique. Il faut donc rappeler d'autres règles :

► Règle n°3 : si l'on change de nature de gaz, pour un courant et une tension donnée on change la hauteur d'arc. Ainsi, à conditions égales (courant, tension, électrode), l'argon par exemple donnera un arc plus long que l'argon hydrogéné.

► Règle n°4 : si l'on change la géométrie de l'électrode (angle et méplat), à courant, tension et gaz identiques, on change la hauteur d'arc ou bien à hauteur d'arc égale on change la tension d'arc mesurée.

► Règle n°5 : lorsque le courant pulse, la tension d'arc ne pulse pas proportionnellement au courant.



On constate que lors de chaque changement de niveau de courant il y a un pic de tension encore appelé overshoot.

## 11.5.2. Fonctionnalité AVC

Le soudage orbital utilisant généralement du courant pulsé, un générateur de soudage, devant contrôler un équipement avec AVC, devra pouvoir tenir compte des règles 1 et 2 afin de garantir une hauteur d'arc stable. Il faudra donc pour cela choisir entre :

► Réguler uniquement sur un seul niveau de courant, soit le haut soit le bas. Cette solution est la plus simple car il n'y a qu'une valeur de tension à régler pour avoir une hauteur constante. Durant le temps du courant non utilisé, la régulation est stoppée, l'électrode reste fixe.

► Réguler sur les courants hauts et bas avec deux niveaux de tension différents pour maintenir une hauteur constante. Ce type de régulation est généralement utilisé dans les cas de pulsation rapide (10 Hz).

De plus, afin de réduire les mouvements de l'électrode, nous avons une série de paramètres et de réglages de la fonction AVC. Il s'agit dans l'ordre d'importance :

- la sensibilité du système de régulation ;
- la vitesse de déplacement de l'électrode ;
- une temporisation de blocage de la régulation à chaque pulsation pour atténuer les phénomènes d'overshoot (règle n° 5).

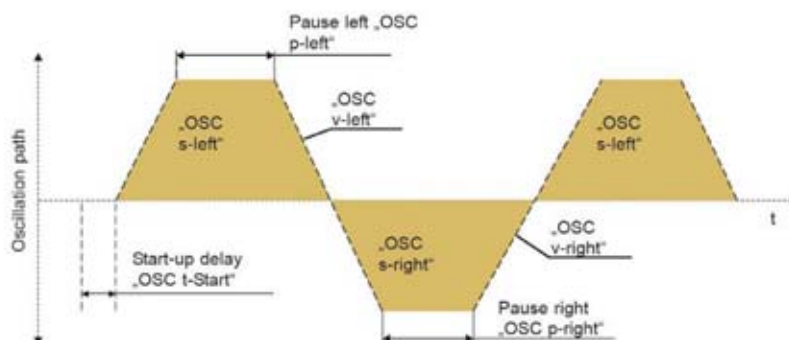
## 11.5.3. Fonction hauteur programmée

Le mode AVC n'est pas le seul utilisable pour contrôler la position de la torche en altitude. Il existe un mode dit de hauteur programmée. Dans ce mode, on programme un déplacement de la torche via la glissière motorisée en mm par rapport à un zéro d'ori-

gine soudure.

Ce type de fonctionnement est fréquemment utilisé pour des applications tube/plaque afin de régler la hauteur d'électrode ou plus exceptionnellement pour suivre un profil en selle de cheval avec un outillage adapté.

## 11.6. Oscillation



Fonction oscillation

En cas de préparation des bords des tubes, le chanfrein à remplir est relativement large, surtout si les tubes sont épais. Contrairement à la technique des passes tirées où plusieurs passes sont nécessaires pour obtenir une couche, le chanfrein peut être recouvert

en une seule passe si la torche se déplace d'un bord à l'autre perpendiculairement. Ce mouvement est commandé par une glissière motorisée et contrôlé par le système d'oscillation.

Pour paramétrer l'oscillation d'une application, il faut définir la largeur et la vitesse de la course ainsi que le temps de maintien durant lequel la torche reste aux extrémités de la course, près des parois du chanfrein.

### 11.7. Télécommande

La télécommande est l'interface permettant à l'opérateur/au soudeur de communiquer avec l'équipement de soudage. Toutes les commandes nécessaires au fonctionnement de cet équipement sont accessibles directement.

#### ► Hors cycle

La télécommande est utilisée pour contrôler tous les mouvements de l'équipement (rotation de la torche, glissières AVC et oscillation, etc.), sélectionner les programmes, lancer le cycle de soudage.

#### ► En cycle

La télécommande est utilisée pour ajuster les paramètres de soudage si nécessaire (et si autorisé par le programme), la position de la torche en utilisant les glissières AVC et oscillation. De plus, la plupart des télécom-

mandes affichent certaines informations sur la soudure, comme l'intensité du courant de soudage et la tension d'arc, la vitesse de soudage et de dévidage du fil, la position angulaire de la torche et le temps écoulé depuis le lancement du cycle.



### 11.8. Système de refroidissement

Hormis quelques exceptions pour des applications spéciales, les têtes de soudage orbital sont généralement refroidies par eau.

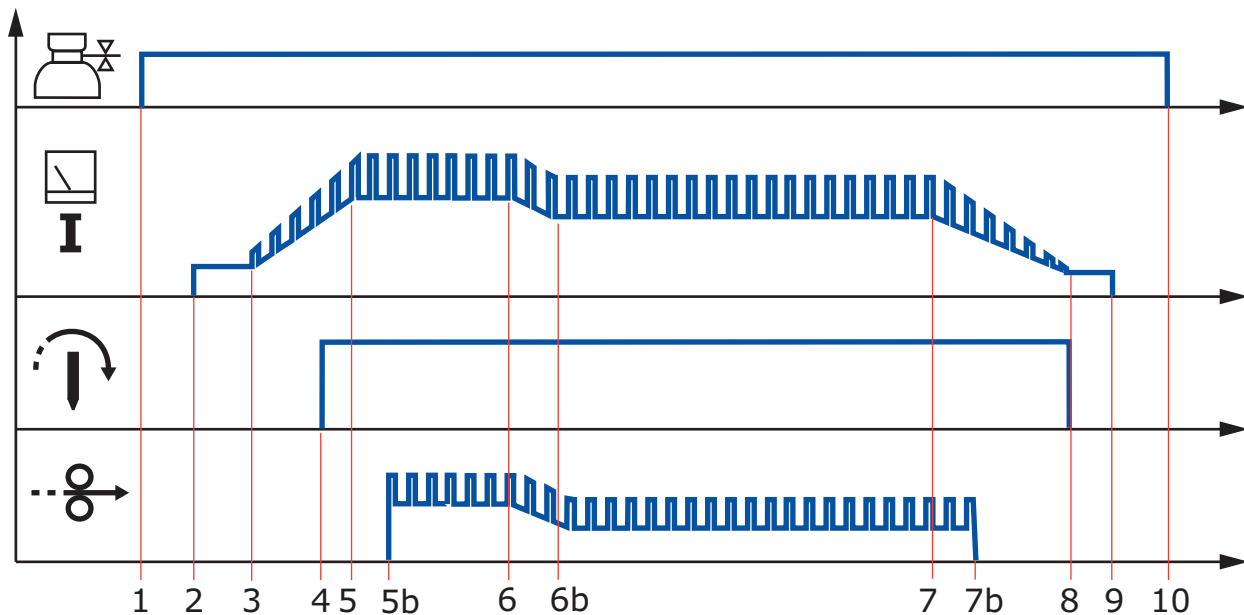
Dans tous les cas, le débit du liquide de refroidissement est contrôlé en continu. En cas de problème, le générateur s'arrête afin d'éviter que les éléments refroidis par eau soit endommagés (ex. : la torche).

## 12. Programmation d'un cycle de soudage

### 12.1. Structure d'un programme pour quatre axes

En fonction de l'application et des équipements mis en œuvre, un programme de soudage sera plus ou moins complexe. Toutefois il sera toujours construit suivant une même

structure logique et chronologique. Prenons le cas simple d'un programme de soudage avec fil mais sans asservissement ni oscillation.



1	Début du cycle de soudage (appui sur le bouton Start de la télécommande)
1 to 2	Temps de pré-gaz programmé avant amorçage de l'arc
2	Amorçage de l'arc, établissement du courant de soudage
2 to 4	Temporisation départ mouvement
2 to 5b	Temporisation départ fil
3	Début de la rampe de montée courant pulsé
4	Début de la rotation torche
5	Début de la phase courant principal
5b	Début de l'apport de fil
6	Rampe de changement de secteur
6b	Début d'un nouveau segment avec modification paramètres courant de soudage et fil
7	Début de la rampe de fin de courant de soudage. Généralement, la rampe se situe dans une zone de recouvrement située à $360^\circ + 5\text{à}10^\circ$ pour refondre le début de soudage et assurer une parfaite jonction à la fin de la soudure.
7 - 7b	Temporisation arrêt de fil ( remplissage du cratère)

7b	Fin de dévidage fil et rétract fil (si programmé). Généralement, la fin du dévidage fil est positionné à environ 360°
8	Fon de rotation torche, début du courant de fin
9	Fin de soudage
9 to 10	Temporisation post-gaz pour protéger la zone soudée jusqu'à une température de refroidissement, évitant l'oxydation du bain de soudure et de l'électrode
10	Fin de post-gaz et fin du cycle de soudage

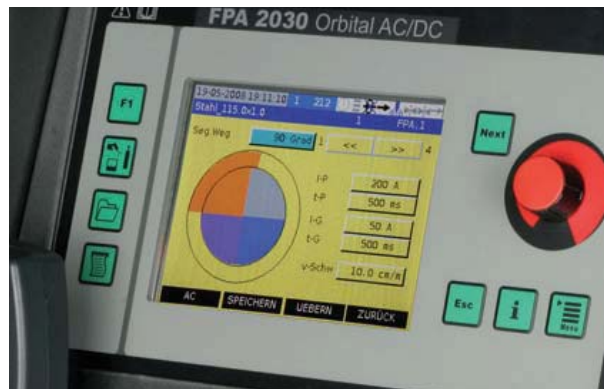
\* L'ordre de déclenchement de ces fonctions peut être inversé en fonction du résultat souhaité.

## 12.2. Programmation guidée

Une interface graphique avec écran tactile, simple d'utilisation a été développée pour les installation de soudage orbital pilotée par automate programmable. Un synoptique virtuel est présenté sur un écran tactile de 5.7 pouces qui permet d'organiser les données de soudage mais aussi d'assister l'opérateur dans sa phase de recherche et d'optimisation des séquences et paramètres de soudage orbital. Parmi les fonctions disponibles :

- ▶ documentation complète de tous les paramètres soudage et pièce
- ▶ création de chaînes de programmes de soudage pour réaliser une séquence complète de soudage multi-passes.
- ▶ Description détaillée de paramètres annexes , par exemple ajustements mécaniques, type de gaz utilisé, électrodes, fil de soudage, etc...

- ▶ Aide à l'optimisation des paramètres de soudure pour les applications tube/tube et tube/plaque
- ▶ Création automatique de programmes pour tête orbitale de soudage par fusion



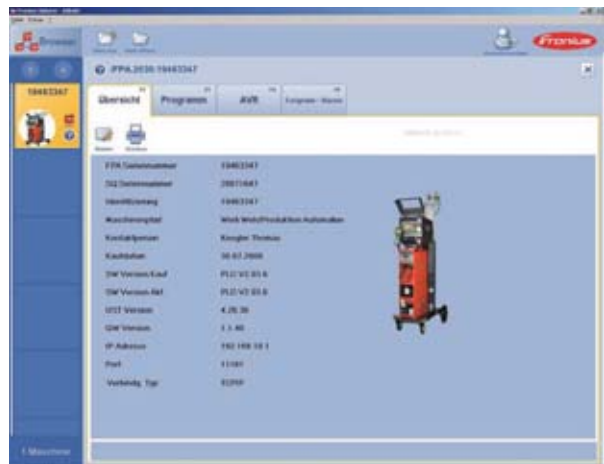
écran tactile FPA 2020 / FPA 3030

## 12.3. Programmation ouverte

la programmation de cycles de soudage pour des applications très complexes ou des phases de recherches et développement peut être réalisée hors ligne sur un ordinateur PC sans connexion à l'installation.

Le logiciel FPA-Xplorer est conçu pour organiser les programmes et fichiers des FPA2020 et FPA2030. la structure intuitive du programme permet à l'utilisateur d'accéder, d'éditer et de mettre à jour des données rapidement et facilement à partir d'un ordinateur PC. Ceci s'effectue sous la forme de 4 onglets qui permettent d'éditer les programmes, paramètres courants, alarmes, messages d'erreurs . Avec la FPA 2030, ces données sont accessibles en ligne, en temps réel.

Le logiciel est compatible avec un environnement WINWOWS TM



## 13. Acquisition de données

### 13.1. Rappel

En cas de système de gestion de la qualité à respecter (ex. ISO 9000), la fabrication de certains composants requière obligatoirement l'utilisation d'équipements étalonnés.

Le terme étalonnage est précisé par des normes. Il signifie que des instruments de mesure installés dans le générateur ou les éléments connectés de l'équipement de soudage doivent respecter certaines exigences. Ils doivent être soumis à des normes natio-

nales ou internationales, ou certifiés comme étalonnés.

L'étalonnage exige des appareils de test et des procédures spécifiques et ne peut être réalisé que par une organisation agréée, comme par exemple le constructeur de l'équipement de soudage, le service Assurance Qualité de l'utilisateur ou une société externe indépendante.

### 13.2. Acquisition intégrée

Les paramètres essentiels dans le déroulement d'un cycle de soudage sont l'intensité du courant de soudage, la tension d'arc, la vitesse de soudage et la vitesse de dévidage du fil. Ces valeurs sont mesurées et mémorisées cycliquement durant l'opération de soudage. Ces informations, ainsi que l'heure et la date de réalisation de la soudure, sont imprimables en fin de cycle de soudage, quel que soit le résultat obtenu.

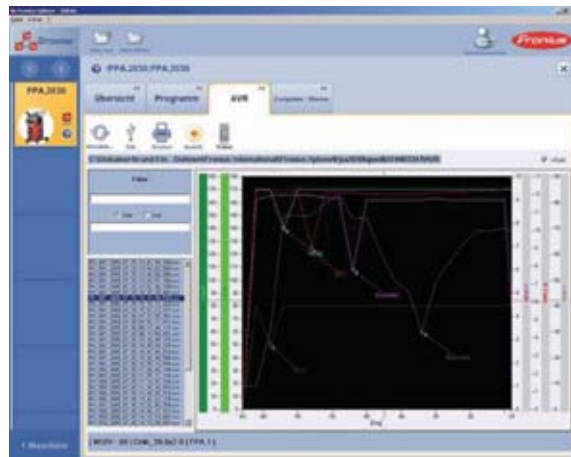
Les programmes de soudage peuvent être imprimés. Les tickets de soudage peuvent permettre de vérifier les paramètres programmés et servir d'enregistrement pour l'Assurance Qualité. Les tickets de soudage indiquent le nom du programme, les valeurs des paramètres et les modifications réalisées via la télécommande par l'opérateur lors du cycle de soudage.

```
*****
R E A L V A L U E S
-----
Printout      : 06/12/20 16:42:11.77
Identif.     : Fronius-Automation
Operator     : FPA.1
Program      : fronius
Seam Nr.     : 3
Head         : MU-III 8-34
-----
Shielding gas pre fl:      2.0 sec
Shielding gas post  :      2.0 sec
-----
  Pos  Seg  v-Rot  IP  IG  Volt  vWire
a  0    1    .0    0  0   .0    0
   45   1   17.7   0  0   .0    0
   90   1   24.8   0  0   .0    0
  135   1   29.9   0  0   .0    0
  180   1   34.2   0  0   .0    0
  225   1   34.0   0  0   .0    0
  270   1   34.0   0  0   .0    0
  315   1   34.0   0  0   .0    0
  360   1   34.0   0  0   .0    0
b 368   1   34.0   0  0   .0    0
c 373   1    .0    0  0   .0    0
-----
Total time: 00:31 min
*****
```

### 13.3. Acquisition externe

Les paramètres comme les valeurs de courant pulsé, courant de base, tension d'arc, vitesse de rotation, vitesse de fil, segment actuel, position de torche sont enregistrées. L'évolution du cycle de soudage peut être visualisée sous forme de graphique .

le système d'acquisition de données permet à l'opérateur de fixer des limites pour chaque paramètre de soudage. Dans ce cas, la valeur relevée est continuellement comparée à la valeur nominale.



## 14. Applications tube / tube par fusion

### 14.1. Applications

Le soudage par fusion de tubes minces est largement utilisé dans divers secteurs tels que l'industrie des semi-conducteurs, la biochimie, les appareils de mesure, l'agroalimentaire, l'industrie pharmaceutique, chimique et sanitaire ainsi que dans l'aéronautique / aérospatiale.

Dans la plupart des cas, ces tubes sont en acier inoxydable austénitique ou en alliages de nickel ou de titane. Leur diamètre varie de 1,6 à 170 mm et leur épaisseur est comprise entre 0,2 et 3,2 mm.

### 14.2. Equipement

De préférence, les soudures par fusion sont effectuées en utilisant des machines telle que la FPA2020 ou la FPA2030 en combinaison avec des têtes de soudage fermées. En fonction des applications, les têtes de soudage fermées peuvent être divisées en 2 groupes.

#### 14.2.1. Têtes de soudage fermées UHP



Tête UHP 500-2

Les têtes de soudage UHP-2 sont spécialement conçues pour les applications exigeant un niveau de pureté élevé. A l'intérieur de cette tête de soudage, le gaz de protection passe au travers d'un circuit séparé sans entrer en contact avec aucun engrenage ni aucun élément rotatif, ce qui réduit considérablement les risques de contamination par particules.

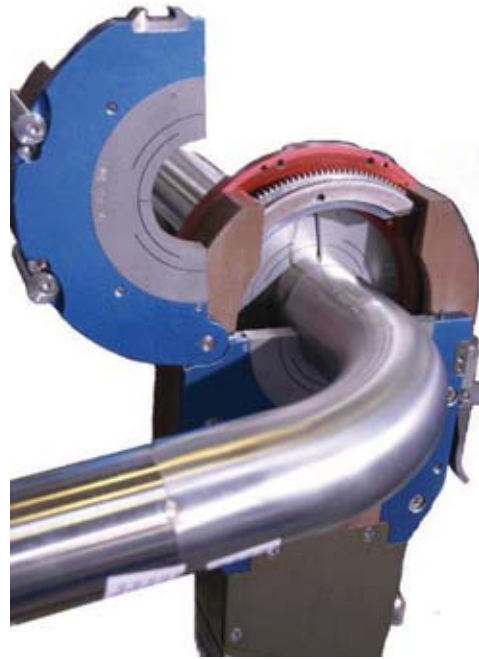
Les têtes UHP-2 sont adaptées pour les tubes de petit diamètre et aux dimensions radiales et axiales réduites. Le moteur d'entraînement est intégré à l'unique poignée et peut se combiner avec trois modules de couronne pour des tubes de 6,35 mm (1/4") de diamètre extérieur avec une UHP 250-2, de 12,7 mm (1/2") avec une UHP 500-2 et de 33,7 mm (1 1/3") avec une UHP 1500-2. Des cassettes de bridage amovibles permettent par exemple de préparer les pièces à souder préalablement, puis de fixer la poignée pour réaliser la soudure.

Les cassettes de bridage en titane TCI conviennent parfaitement aux diamètres extérieurs standard utilisés pour les applications semi-conducteurs ainsi qu'aux exigences de haute pureté. La conception asymétrique de la tête de soudage est tout à fait adaptée au soudage de raccords avec une section droite réduite (micro-fittings) et les bridages spécifiques appelés fixtures-blocks permettent un parfait maintien, alignement et centrage des extrémités à souder.

#### 14.2.2. Têtes de soudage fermées MW

Ces têtes de soudage sont utilisées pour le soudage par fusion. Elles conviennent aux tubes de diamètre extérieur compris entre 6 et 170 mm. Outre l'excellente qualité de soude obtenue avec les têtes fermées, le circuit de refroidissement fermé et l'utilisation de matériaux ultra-résistants à la chaleur permettent d'accroître la productivité significativement. Les boutons de la télécommande intégrés à la poignée favorisent la rapidité d'exécution des opérations.

Le soudage de raccords et accessoires avec une faible section droite peut être réalisé grâce à un kit coude (Elbow kit) avec déport d'électrode.



Tête MW

#### 14.2.3. Têtes de soudage ouvertes



Tête MU IV

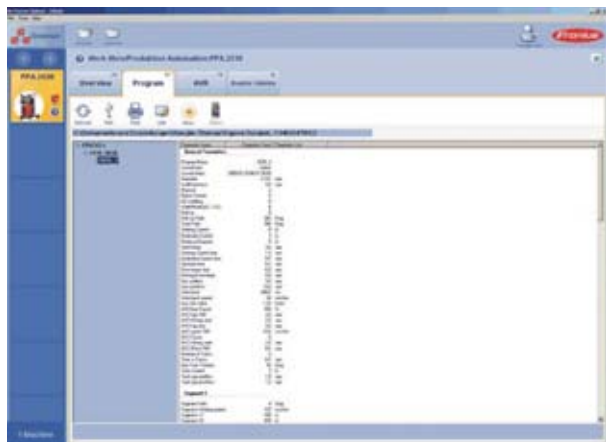
Les têtes ouvertes permettent le soudage avec et sans fil. Toutefois, elles présentent deux différences notables par rapport aux têtes fermées.

La protection est effective au droit du joint et il est nécessaire d'en vérifier la compatibilité avec le phénomène d'oxydation de certaines applications.

Il faut une longueur droite plus importante qu'une tête fermée pour brider sur un côté du joint à souder.

### 14.3. Calcul des paramètres

Pour les applications par fusion, il est possible de déterminer par calcul des para-



Menu pour accéder aux procédures de soudage existantes ou paramètres de calcul

### 14.4. Préparation des joints

Le soudage orbital autogène requiert une préparation des extrémités des tubes qui nécessiterait l'utilisation d'une machine de chanfreinage pour obtenir des bords droits. Les bavures doivent disparaître complètement et il ne doit y avoir aucun espace entre les extrémités des tubes mises bout à bout. Le tube ne doit présenter aucune trace de graisse, d'humidité ou autre type de contamination.

Avant de souder, il faut effectuer une opération de pointage par fusion sans fil d'apport. Lors du pointage, il faut impérativement assurer une protection envers gazeuse afin d'éliminer tout risque d'oxydation ou de coloration du tube. En effet, la température de fusion extrêmement haute de l'oxyde de chrome peut occasionner un défaut de soudure.

Les points de soudure doivent être plus petits que la soudure finale et réalisés sans métal d'apport afin de garantir une refusion com-

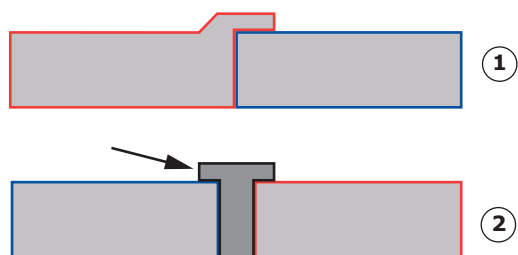
mètres de soudage en fonction du diamètre et de l'épaisseur des pièces à souder. Les formules établies ne s'appliquent généralement que pour les aciers inoxydables de la série 300 (ex. : 316L), mais sont transposables à d'autres matériaux.

Dans tous les cas les paramètres calculés devront faire l'objet d'essais pour validation afin de permettre les ajustements nécessaires liés à la soudabilité propre des tubes. La seule appellation normalisée peut en effet cacher des soudabilités très différentes (cf. 14.7).

plète lors du processus de soudage.

Il existe des systèmes de fixation mécaniques internes, généralement combinés à des systèmes de contrôle de débit du gaz de protection envers. Cela convient très bien pour les raccords de type SMS utilisés dans l'industrie alimentaire par exemple.

Remarque : pour augmenter la résistance d'une soudure par fusion, il est possible d'utiliser une préparation avec lèvres ① sur une des pièces ou encore des inserts fusibles ② ou weld insert. Les inserts permettent également d'assembler des matériaux non soudables d'un point de vue métallurgique.

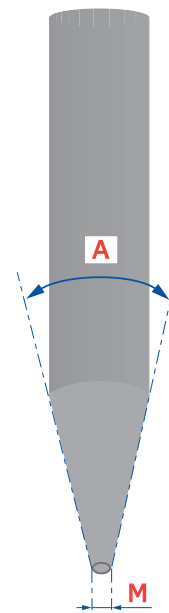


## 14.5. Préparation de l'électrode

Pour maintenir un arc de soudage stable et concentré, les électrodes en tungstène utilisées en soudage automatique ou mécanisé doivent avoir une extrémité conique. Le diamètre de l'électrode, l'angle d'affûtage ainsi que le diamètre du méplat dépendent de l'intensité du courant de soudage. L'angle «A» fait entre 18 et 30° et le méplat «M» entre 0,1 et 0,5 mm. Plus les valeurs du courant sont élevées, plus l'angle et le méplat seront importants.

La longueur d'électrode doit être calculée et coupée en fonction du type de tête utilisée, du diamètre extérieur des tubes à souder et de la longueur d'arc spécifiée. Sur site, il est souvent difficile de préparer les électrodes avec la précision nécessaire, même avec une affûteuse à électrode. L'achat d'électrodes prêtes à l'emploi sur le marché s'avère être une solution efficace et économique.

Remarque : le remplacement des électrodes devra toujours être fait de façon préventive de réduire les défauts de soudage (instabilité,



Electrode preparation

manque de fusion). Pour certaines applications extrêmes, il pourra être nécessaire de remplacer l'électrode à chaque soudure.

Diamètre d'électrode		Courant continu (en A)		Courant alternatif (en A)
		Polarité directe CCEN	Polarité inverse CCEP	Ondes symétriques
0,020"	0,05 mm	5-20		10-20
0,04"	1,0 mm	15-80		20-30
1/16"	1,6 mm	70-150	10-20	30-80
3/32"	2,4 mm	150-250	15-30	60-130
1/8"	3,2 mm	250-400	25-40	100-180
5/32"	4,0 mm	400-500	40-55	160-240
3/16"	4,8 mm	500-750	55-80	190-300
1/4"	6,4 mm	750-1100	80-125	325-450

## 14.6. Gaz de protection envers

En soudage orbital, la surface interne des tubes doit être protégée contre l'oxydation. C'est pour cela que l'intérieur des tubes est purgé avec un gaz de protection envers. La pureté du gaz de protection envers dépend de la qualité de soudure exigée. Avant de commencer à souder, il faut veiller à un temps de purge préalable assez long afin que le gaz de protection envers enlève toute trace d'oxygène dans les tubes. La teneur en oxygène restant dans le gaz de protection envers peut être analysée en sortie ; lorsqu'elle est considérée suffisamment faible, la soudure peut commencer. En général, le niveau d'oxygène doit être inférieur à 10 ppm (0,001 %) ou moins pour une application UHP.

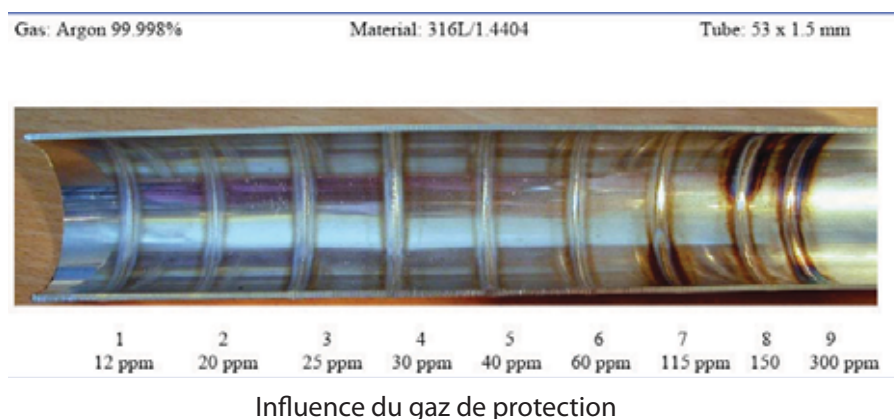
Remarque : le gaz ultra-pur nécessite l'utilisation de tubes ou tuyaux évitant toute contamination par l'humidité, l'oxygène, des

particules ou autre matière contaminante.

Lors du soudage, le débit et la pression interne du gaz de protection envers doivent rester constants. La pression interne doit être contrôlée, une pression excessive pourrait engendrer des cordons de soudure concaves ou provoquer l'explosion du bain en projetant le métal liquide vers l'extérieur.

Une contre pression peut être utilisée pour empêcher tout risque de convexité excessive ou de diminution de diamètre intérieur lors du soudage de tubes de petit diamètre (moins de 3/8", soit 9,52 mm).

Remarque : une légère coloration due à la présence d'oxygène dans le gaz de protection envers peut être corrigée par passivation.

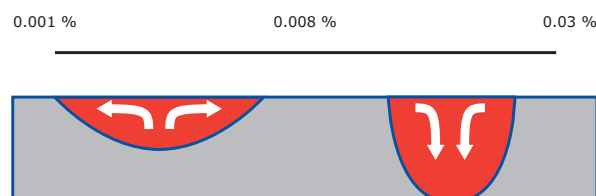


## 14.7. Composition chimique et répétition des soudures

Lors du soudage d'acier inoxydable, la faible teneur en soufre du métal de base peut poser certains problèmes. La présence du soufre a une incidence sur la tension superficielle du métal fondu. Les fortes teneurs en soufre donnent une soudure plutôt étroite et profonde. En revanche, avec de faibles teneurs en soufre, on observe un cordon de soudure très large mais très superficiel et une pénétration très limitée, ce qui peut s'expliquer par ce que l'on appelle l'effet Marangoni.

En cas de soudage de pièces à très faible

teneur en soufre avec des pièces à teneur en soufre très élevée, l'arc pourrait dévier complètement vers la pièce à plus faible teneur en soufre, ce qui rend l'opération de soudage classique difficile. Pour palier à cette situation, on pourra utiliser une procédure de soudage en deux tours au lieu d'un.



## 15. Soudage orbital tube / tube avec fil d'apport

### 15.1. Applications

Diverses raisons expliquent la nécessité d'ajouter du fil d'apport pour le soudage TIG orbital :

- l'épaisseur des tubes à souder nécessite un chanfrein ;
- les tubes à souder sont faits de métaux de base différents ;
- la soudure doit être renforcée ;
- la force et/ou la résistance à la corrosion peuvent être altérées par le soudage par fusion.

Les applications tubes / tubes avec fil concernent essentiellement les domaines de l'énergie (centrale électrique), de la chimie et pétrochimie.

On rencontre une très grande variété de matériaux à souder tels que :

- les aciers au carbone non alliés ;
- les aciers au carbone faiblement alliés au chrome et chrome-manganèse ;
- les fortement alliés au chrome nickel (austénitique et austéno-ferritique) ;
- les bases nickel et alliage de nickel (Inconel® ou Hastelloy®) ;
- le titane et alliages.

Les dimensions des tubes à souder sont très variées mais la grande majorité des applications observent les dimensions suivantes :

- diamètres de 26,9 à 219 mm (3/4 à 8") ;
- épaisseurs de 2,77 à 12,7 mm.

### 15.2. Equipements

Pour la réalisation de soudage avec métal d'apport, nous pourrions utiliser des équipements standard quatre axes (gaz, courant, rotation et fil) ou des équipements six axes (quatre axes + asservissement et oscillation).

Techniquement, le choix du type d'équipement peut être fait en fonction du tableau ci-dessous :

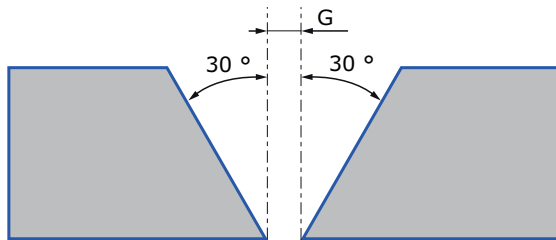
Critères		Type d'équipement	
		4 axes	6 axes
Les épaisseurs à souder	Faible (< 4 mm)	+	+
	Moyenne et forte (≥ 4 mm)	-	+
L'encombrement disponible	Réduit	+	-
	Libre	+	+
Les cadences de soudage	Faibles	+	+
	Elevées	-	+
Niveau d'automatisation	Faible	+	+
	Elevé	-	+

Ainsi, si l'encombrement disponible est faible, le choix s'orientera sur un équipement quatre axes. Mais si la facilité de mise œuvre

est un critère essentiel, alors il faudra s'orienter vers un équipement six axes, type d'équipement à privilégier.

### 15.3. Préparation de la soudure

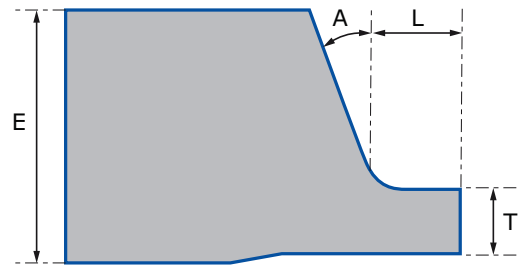
Pour le soudage manuel de tubes, la préparation standard est un V avec jour entre les tubes, coude, té, bride à souder. Or, il n'est pas possible de mettre en œuvre ce type de préparation en soudage pour diverses raisons (régularité de la largeur, meulage des points impossible en soudure, protection envers, etc.).



Type de préparation utilisé en soudage manuel

Les préparations en soudage orbital seront toujours à talons bloqués. Cela a pour conséquence d'écartier les préparations en V soit à 30° soit à 37° dans la majorité des cas d'applications. En effet, ce type de chanfrein ne permet pas d'obtenir une pénétration acceptable. Celle-ci sera irrégulière, avec parfois des concavités importantes en fonction de la position.

Le chanfrein doit donc être en tulipe, le talon de largeur L et d'épaisseur T recréant les conditions nécessaires à l'obtention d'une pénétration acceptable. Ci-dessous, des indications de géométrie des chanfreins à réaliser en fonction des diamètres et épaisseurs de tube.



Type de préparation en tulipe

Gamme Tube (mm)	Angle (°)	Talon (mm)	
Epaisseur (mm)	A	T	L
$3 < E \leq 6$	30°	1	2
$E \leq 6$		1,5	2
$10 \leq E \leq 15$	20°		

Seules des machines d'usinage permettent l'obtention de chanfreins répétitifs. On trouve sur le marché deux types d'équipements :

- les machines d'atelier ;
- les équipements portables électriques ou pneumatiques pour les petites séries ou pour utilisation sur site.



Équipement portable



Machine d'atelier

Les tubes en acier carbone devront être meulés intérieurement et extérieurement afin d'éliminer toute trace de rouille ou de calamine.

Remarque : pour les matériaux magnétisables, il faudra s'assurer que ceux-ci pré-

sentent un magnétisme rémanent nul ou très faible (inférieur à 3 Gauss) afin de ne pas créer de déviation d'arc génératrice de difficultés opératoires, voire de défauts (manque de pénétration, collage latéral, caniveaux).

#### 15.4. Positionnement des tubes

Avant de souder, il faut effectuer une opération de pointage sur les tubes. Le désalignement ne doit pas dépasser la moitié de l'épaisseur du talon. Le pointage ne doit nécessiter qu'un très faible apport de métal afin d'éviter les défauts de pénétration durant la passe de racine. Il ne doit y avoir aucun espace entre les deux tubes à souder.

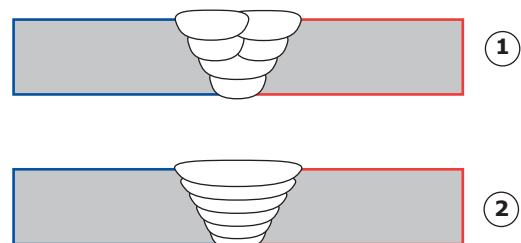
L'utilisation d'une protection envers est obligatoire pour les aciers inoxydables, les bases nickel et titane. Cette protection n'est pas obligatoire sur les aciers au carbone, toutefois l'absence de gaz envers induira une moins grande répétitivité des résultats avec des conséquences possibles sur le taux de réparation.

#### 15.5. Opération de soudage

En fonction des équipements utilisés ou des positions de soudage, nous aurons le choix entre deux méthodes de remplissage :

1- Les passes tirées superposées et/ou décalées ①, réservées aux équipements quatre axes mais utilisables également pour le soudage en corniche (2G ou PC) ou encore à 45° (6G ou H-L045) avec des équipements AVC/OSC.

2- Les passes balayées superposées et/ou décalées ②, réservées aux équipements six axes.



Méthode de remplissage

Le soudage, avec un équipement quatre axes, nécessitera d'effectuer entre chaque passe des réglages manuels de hauteur de torche

et de position latérale de celle-ci dans le joint à souder. Cela implique des conditions d'accessibilité aux dispositifs mécaniques de réglage.

Le soudage avec un équipement six axes réduira de façon significative les interventions manuelles, la fonction AVC assurant une distance électrode/pièce régulée, l'oscillation permettant de couvrir toute la largeur du joint et un positionnement latéral de la torche. Ainsi, après avoir positionné la torche

### 15.6. Electrode en tungstène

Les électrodes utilisées pour une même application doivent avoir une géométrie constante afin de garantir une répétitivité des résultats. Cela est primordial avec l'utilisation d'équipements mettant en œuvre la fonction AVC. En effet nous avons vu que la géométrie de l'électrode influence directement la hauteur d'arc (cf. 11.5.1) et par là même, la géo-

### 15.7. Gaz envers

Pour les aciers au carbone, la protection envers est optionnelle en soudage manuel, le gaz torche permettant une protection suffisante du fait de l'écartement des bords.

Lors d'une opération de soudage orbital à talon bloqué, il est vivement conseillé d'utili-

### 15.8. Paramètres non programmables

On constate fréquemment que les paramètres non programmables ne sont pas considérés comme essentiels dans un processus de soudage. Cela conduit à un manque de répétitivité et donc, une baisse de performance du procédé. Il convient de rappeler l'importance de tous ces paramètres non programmables comme :

- gaz de protection : type, pureté, débit ;
- gaz envers : type, pureté, débit ;
- diffuseur : type, taille ;

au dessus du joint, le centrage de celle-ci dans le chanfrein pourra être fait via une fonction d'autocentrage. Un équipement de ce type peut permettre un enchaînement automatique des passes de soudage avec gestion des enroulements et déroulements de la gaine de la torche et enchaînement de programme. L'opérateur n'aura qu'un rôle de surveillance et n'aura pas à intervenir durant le cycle de soudage réduisant ainsi les risques liés au facteur humain.

métrie du bain de soudage.

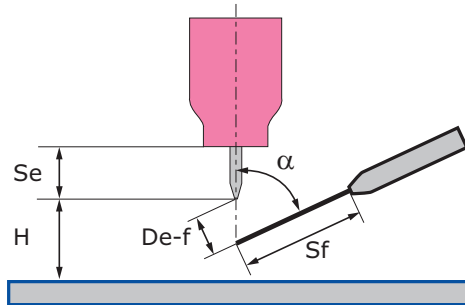
Rappel : une hauteur de soudage trop importante pourra induire des manques de fusion ou une pénétration concave du fait entre autre de la réduction de la pression d'arc. Une hauteur trop faible détériorera rapidement l'électrode.

ser du gaz envers. Cela améliore la répétitivité du processus en évitant la formation d'une couche de calamine réfractaire, particulièrement pour les aciers de base au manganèse silicium. Pour les autres matériaux, se reporter au paragraphe 3.5.2 pour le choix du gaz à utiliser.

- buse céramique : taille, diamètre, longueur ;
- électrode : type, diamètre, préparation de l'extrémité et dépassement de l'électrode ;
- fil : taille, diamètre, numéro de coulée, angle d'arrivée du fil, point d'impact ;
- position de départ de la soudure ;
- température entre passes ;
- position et branchement des câbles de terre.

## 15.9. Réglages mécaniques

Les réglages mécaniques de la torche et du fil doivent être documentés et contrôlés pour toutes les procédures de soudage.



- 1- L'angle entre le corps de l'électrode en tungstène et l'arrivée du fil doit être compris entre 50 et 80°.
- 2- La distance entre le fil et l'électrode De-f doit se situer entre 1,5 et 3 mm. Pour la passe de racine, il est conseillé d'utiliser une distance plus élevée afin d'utiliser l'énergie cinétique du fil pour obtenir la convexité de

la racine. Pour les passes de remplissage, il est recommandé de réduire la distance à 2 mm. Par ailleurs, plus le fil est proche de l'arc et plus il fond rapidement. On peut déposer plus de fil et éviter des défauts.

3- En général, la sortie de fil est comprise entre 8 et 12 mm. Si la distance n'est pas assez importante, la buse-fil peut fondre ou coller. Si la distance est trop importante, le fil peut partir dans tous les sens et, par exemple, contaminer le tungstène de l'électrode.

4- Le réglage de la hauteur d'arc H avant soudage dépend des situations. Pour les équipements quatre axes, on peut la régler entre 2 et 3 mm. Pour les équipements six axes, la distance d'arc s'ajuste via l'AVC. En général, la distance d'arc est comprise entre 1 et 2 mm, le minimum pour une passe de racine.

## 15.10. Accroître la productivité du soudage TIG orbital

Le procédé de soudage orbital TIG fil froid convient parfaitement aux applications standard exigeant un niveau de qualité élevé. En revanche, comparé aux autres procédés de

soudage, le taux de dépôt est plutôt faible (0,15 à 0,5 kg/h). Pour augmenter l'efficacité du procédé, il est possible d'utiliser la technique d'apport de fil chaud.

### 15.10.1. Fil chaud

Le procédé fil chaud permet d'accroître la productivité mais pas aux dépens de la qualité. Pour ce procédé, le fil d'apport est chauffé par un courant supplémentaire généré par un autre générateur, ce qui permet ainsi d'atteindre des taux de dépôt plus importants (par exemple 1 kg/h) en soudage orbital et beaucoup plus pour les opérations de rechargement.

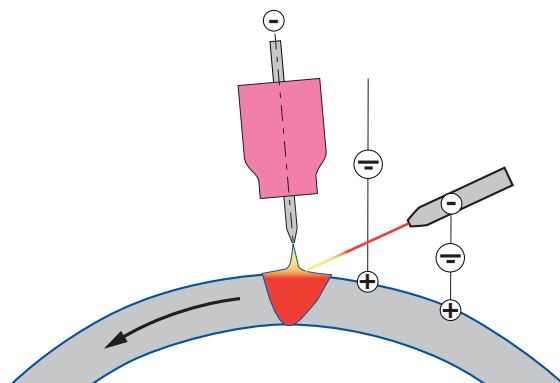


Schéma de principe du procédé fil chaud

## 16. Soudage orbital tube / plaque tubulaire

### 16.1. Applications

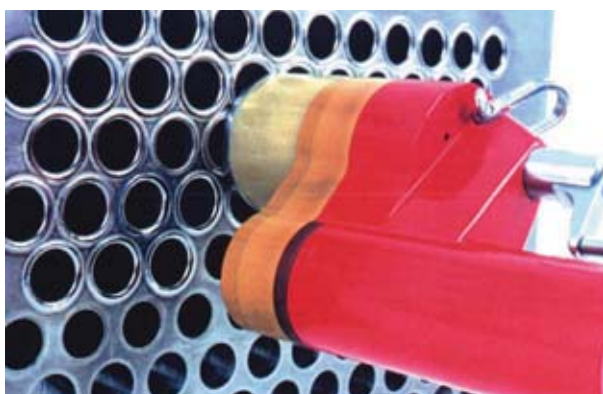
Tous les métaux soudables sont utilisés dans les applications tube/plaque. Toutefois la gamme de dimensions utilisée est relativement restreinte. Les diamètres sont entre 12,7 et 101,6 mm pour des épaisseurs de 0,5 à 5 mm. La majorité des applications met en œuvre des diamètres entre 19,05 mm (3/4") et 38,1 mm (1,5") et des épaisseurs entre 1,65 et 3,4 mm.

Presque tous les domaines industriels sont utilisateurs d'échangeurs et de chaudières surtout la chimie, la pétrochimie et l'énergie.

### 16.2. Equipements

Les équipements utilisés sont bien différenciés en fonction des applications et du niveau d'automatisation souhaité :

- 1- L'équipement de type trois axes (gaz, courant, rotation) est constitué d'un générateur d'atelier avec une tête de soudage de type tube/plaque fermée. On utilisera cet équipement pour les applications de soudage par fusion.
- 2- L'équipement de type quatre axes (gaz, courant, rotation, fil) est constitué d'un générateur d'atelier\* avec une tête de soudage de



Exemple d'application 3 axes  
avec tête TS 25

type tube/plaque ouverte. On utilisera cet équipement pour les applications en simple passe. Le soudage en double passe étant alors effectué en deux étapes séparées.

\* Les générateurs portables sont peu utilisés pour ces applications car il n'y généralement pas d'impératif de portabilité.

- 3- L'équipement de type cinq axes (gaz, courant, rotation, fil, hauteur d'arc) est constitué d'un générateur d'atelier ou programmable modulable six axes et d'une tête intégrant la fonction AVC type TS 2000 ou TP 60. Ce type d'équipement permet d'enchaîner automatiquement deux passes de soudage avec fil, la remontée de la torche entre la première et la seconde passe pouvant être gérée par programmation.

- 4- L'équipement de type six axes (gaz, courant, rotation, fil, hauteur d'arc, oscillation) est constitué d'un générateur multifonctions modulable et d'une tête de type 20/160. Cet équipement permet de souder les applications en multipasses (deux et plus) avec décalage radial éventuel de l'électrode.

### 16.3. Généralités

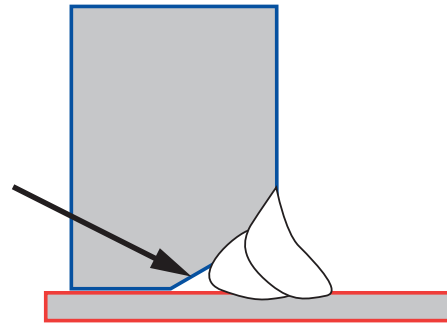
Le soudage orbital de tubes sur plaque tubulaire présente quelques spécificités par rapport au soudage manuel dont il faut tenir compte à l'origine du projet.

1- Les tubes doivent être sans soudure (ou avec cordon laminé) et présenter des défauts de concentricité entre le diamètre intérieur et le diamètre extérieur très faible, afin de garantir la répétitivité de la position d'électrode. En effet, pour les applications standard (affleurant, dépassant, en retrait) le centrage de la torche est fait sur le diamètre interne et le soudage sur le diamètre externe. Un défaut important de coaxialité induirait des variations de distance électrode/tube inacceptables.

3- Les tubes devront, dans certains cas, être accostés par expansion légère dans les perçages afin d'éliminer le jeu entre tube et perçage, pour avoir une bonne continuité thermique. Ce jeu, nécessaire pour garantir le montage de l'appareil avant soudage, pose des problèmes de répétitivité lorsqu'il est trop important. Il est difficile de donner une valeur maximum de jeu, celle-ci étant variable en fonction des exigences de qualité et de l'épaisseur du tube.

Remarque : pour une optimisation des centreurs, utilisés sur les têtes de soudage tube/plaque, il faut fournir, à la commande

2- Les chanfreins en V sont à proscrire au profit de chanfrein tulipes. En effet il est très difficile d'assurer de façon simple et répétitive la fusion de l'angle de la plaque. On constate souvent des défauts de fusion sur les coupes macrographiques surtout en position descendante (voir figure ci-après).



Défaut de fusion sur chanfrein en V

des centreurs, la profondeur d'accostage ainsi que les diamètres du tube avant et après accostage.

4- La zone de contact entre le tube et la plaque devra être propre. La présence de graisse, huile ou autre savon pouvant générer la formation de soufflures, débouchantes ou pas, inacceptables dans la soudure.

5- Il ne sera jamais procédé à un dudgeonage (expansion) fort des tubes dans la plaque avant soudage. En effet, un accostage fort (avec ou sans gorge dans les perçages) occasionnera, quasi systématiquement, une explosion de dégazage lors du recouvrement de soudage. Le soudage automatique sera alors impossible.

## 16.4. Soudage de tubes affleurants

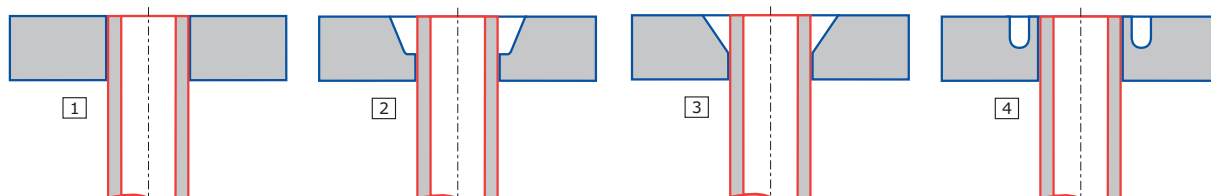
Le soudage de tubes affleurants peut être exécuté avec ou sans fil en fonction des applications. Il existe plusieurs configurations possibles :

A : standard

B : avec chanfrein tulipe

C : avec chanfrein en V

D : avec gorge de décharge



### 16.4.1. Soudage de tubes affleurants sans fil

Les préparations seront de type 1 en général, ou plus rarement de type 4. Si le diamètre est compris entre 10 et 25 ou 10 et 32 mm, l'utilisation de têtes spécifiquement développées pour ces applications, c'est-à-dire les têtes de soudage tube/plaque fermées sans fil, est recommandée.

Après bridage de la tête dans le tube à souder et déclenchement du cycle de soudage, la présence de l'opérateur n'est plus nécessaire. De ce fait, et en fonction des durées de cycle, plusieurs têtes pourront être utilisées par un même opérateur.

Cas d'application type : Condenseurs des centrales thermiques. Dans ces applications, les tubes sont en titane d'épaisseur inférieure ou égale à un millimètre sur une plaque en acier avec un plaquage de titane.

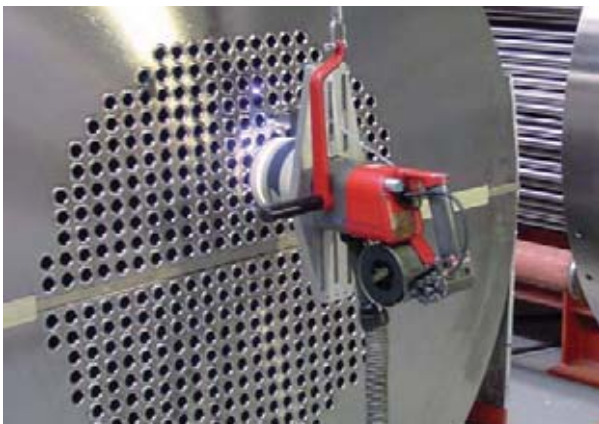


Exemple d'application avec tubes affleurants et tête TS 25

## 16.4.2. Soudage de tubes affleurants avec fil

Le matériel utilisable sera de type quatre ou cinq axes. La tête de soudage étant de type têtes de soudage tube/plaque ouverte, sa configuration sera adaptée à l'application :

- avec dévidoir intégré ;
- avec ou sans AVC ;
- avec ou sans cloche pour le soudage sous atmosphère inerte (cas du titane ou zirconium) ;
- torche à 0 ou 15°.



Exemple d'application avec tubes affleurants et tête TS 2000

Remarque : La fonction AVC est particulièrement recommandée pour les applications tubes affleurants.

Les préparations seront généralement de type 1, 2 ou 3. En cas de soudage avec préparation dans la plaque, on évitera le chanfrein en V. En effet il y a toujours, avec ce type de préparation, le risque d'avoir un manque de fusion en racine. On préférera une préparation en tulipe, avec ou sans rayon, et le tube positionné à mi-épaisseur de chanfrein si la profondeur est supérieure à 1,5 mm. La valeur de dépassement maximum sera d'une demie épaisseur de tube.

En fonction des cotes, mais aussi des sections de soudures à obtenir, le soudage sera généralement fait en une ou deux passes. Les soudures d'étanchéité seront exécutées en un tour alors que les soudures dites de résistance nécessiteront souvent une seconde passe.

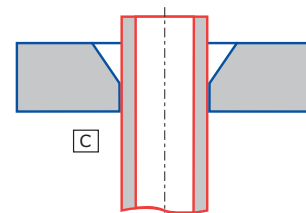
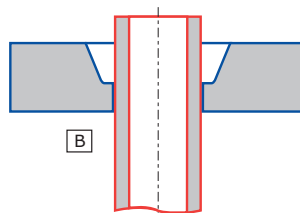
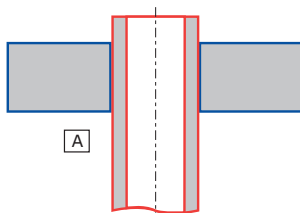
## 16.5. Soudage de tubes dépassants avec fil

Le soudage de tube affleurant sera toujours exécuté avec fil, bien que dans certains cas, une première passe de fusion sans fil soit réalisée. Il existe plusieurs configurations possibles :

A : standard sans chanfrein

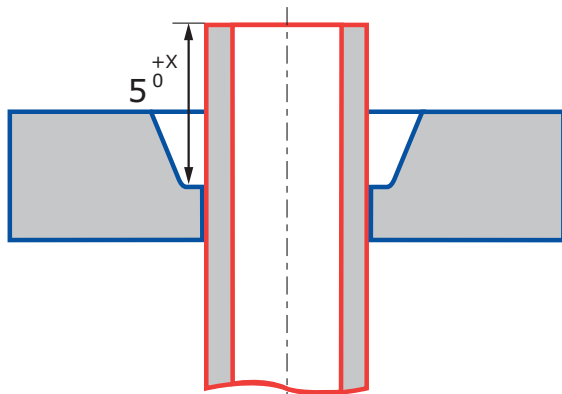
B : avec chanfrein tulipe

C : avec chanfrein en V



Le matériel utilisé sera identique aux applications tubes affleurants avec fil. Toutefois, les angles de torches utilisés seront différents et pourront varier en fonction du pas de perçage ainsi que du dépassement des tubes. Les angles standard seront de  $15^\circ$  ou  $30^\circ$ . Ainsi :

- ▶ Le  $15^\circ$  sera utilisé de préférence pour les tubes de faible épaisseur (1,6 à 2,11 mm) afin d'éviter de fusionner l'intérieur du tube.
- ▶ Le  $30^\circ$  sera réservé aux tubes de plus forte épaisseur (2,5 mm et plus) sauf, bien sûr, si la distance disponible entre tubes est trop faible (pas réduit).



Dans tous les cas de préparation, les tubes devront dépasser d'au moins 5 mm de la plaque ou du fond de chanfrein afin de ne pas risquer la fusion du bord du tube.

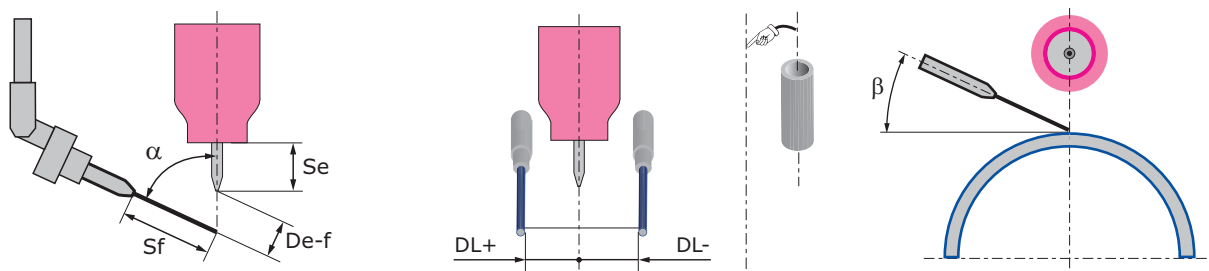
Remarque : en cas d'utilisation d'équipements cinq axes, la fonction AVC sera généralement utilisée sur le mode Hauteur relative afin de permettre des déplacements de l'électrode en hauteur pour ajuster par exemple la distance électrode/plaque de façon optimale quelle que soit la position de la torche.

Le soudage en tubes dépassants nécessite une attention particulière à la formation des opérateurs, particulièrement pour les



Exemple d'application avec tubes affleurants et tête TS 2000

réglages mécaniques. Contrairement au soudage tube/tube orbital, la torche et le fil doivent être ajustés en trois dimensions et non dans un plan.



## 16.6. Soudage de tubes en retrait

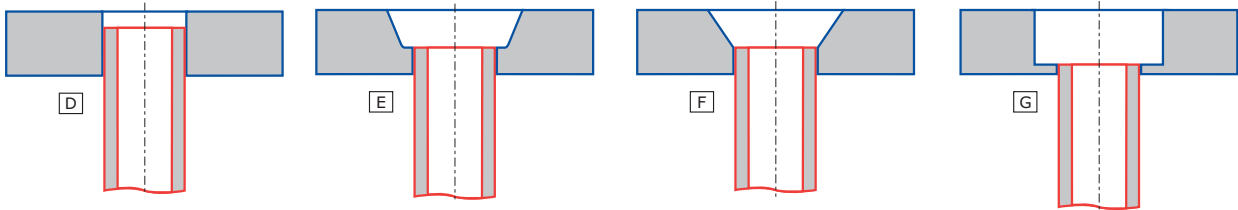
Il existe plusieurs configurations possibles :

D : standard sans chanfrein

E : avec chanfrein tulipe

F : avec chanfrein en V

G : pleine pénétration



Le matériel utilisable sera de type quatre ou cinq axes pour les cas D, E et F avec une tête de soudage de type tube / plaque ouverte.

Pour le cas G que l'on rencontre souvent en pétrochimie, le matériel est de type six axes, une tête à bridage séparé. Cette application demande, en général, une étude spécifique de l'outillage de bridage et de soudage afin de l'adapter au diamètre des tubes à souder et au pas de perçage de la plaque.

Remarque : la fonction AVC est particulièrement recommandée pour les applications tube en retrait.

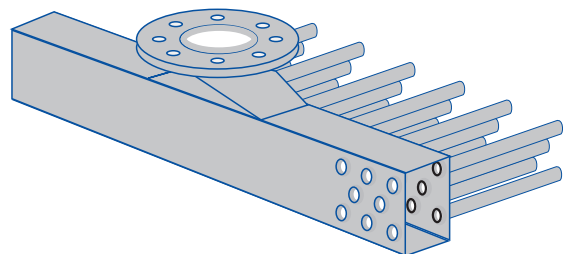


Exemple d'application de soudage de tubes en retrait

Contrairement aux applications en tubes dépassants, la préparation en V est utilisable. Dans le cas des préparations de type E ou F, le tube pourra dépasser légèrement du fond de chanfrein.

En fonction des cotes, mais aussi des sections de soudures à obtenir, le soudage sera fait en une ou deux passes. Les soudures d'étanchéité seront exécutées en un tour alors que les soudures dites de résistance nécessiteront souvent une seconde passe.

Cas d'application : soudage de tubes sur collecteur à bouchons double plaque d'échangeur aéroréfrigérant ou aérocondenseur. La fonction AVC est indispensable sur ces applications.



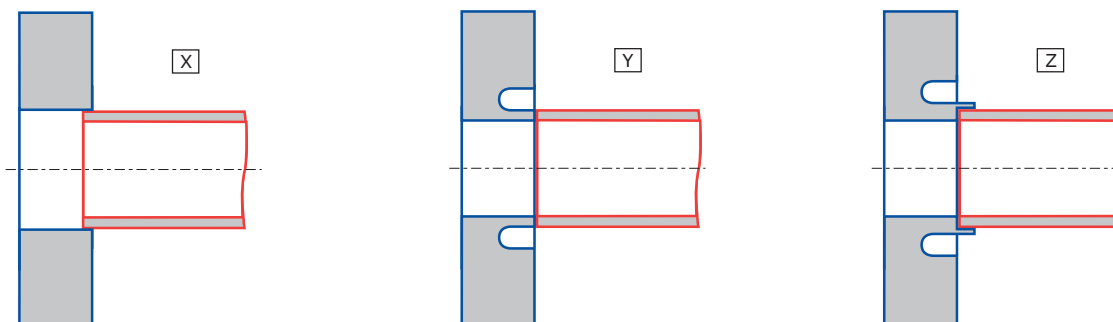
## 16.7. Soudage de tubes arrière-plaque

Le soudage de tubes arrière-plaque permet d'éliminer le problème de corrosion entre le tube et la plaque mais implique des contraintes élevées en termes de préparation. Les préparations les plus fréquentes sont :

X : préparation de base sans gorge de décharge

Z : préparation avec gorge de décharge et emboîtement

Y : préparation avec gorge de décharge sans emboîtement



La préparation X est à déconseiller pour la réalisation d'une pleine pénétration du fait de la trop grande disparité dans les masses à fusionner. Les risques de manque de fusion sont très élevés.

La préparation Y palie ce problème du fait de l'usinage qui recrée une symétrie de masse. On est proche d'une application de soudage orbital tube / tube standard.

La préparation Z avec emboîtement est la plus adéquate pour trois raisons :

- elle permet d'aligner le tube sur l'alésage du fait de l'emboîtement ;
- elle augmente la résistance mécanique de la soudure, la lèvre faisant office de métal d'apport ;
- elle réduit la concavité de la pénétration.

Remarques : Contrairement aux applications tube/plaque classiques, les applications arrière-plaque nécessitent une protection envers du cordon. Seul le cas X où le tube est suffisamment introduit dans la plaque, à mi-épaisseur par exemple, échappe à cette contrainte du fait de l'absence de pénétration arrière. La protection pourra être globale, par

inertage du corps et de l'appareil ou locale et déplacée de tube en tube si l'arrière-plaque est accessible.

Pour des diamètres intérieurs supérieurs à 35 mm environ, il sera possible de souder avec fil d'apport.

Il est toujours conseillé de souder en position corniche (plaque horizontale, généralement positionnée en bas) lorsque les épaisseurs tendent vers la limite supérieure (3 à 3,6 mm suivant les matériaux).

La distance de la face avant de la plaque au



Exemple de soudage tube arrière-plaque

plan de joint à souder devra être tolérancée de façon stricte car l'opérateur ne pourra avoir d'indication visuelle sur la position de l'électrode par rapport au plan de joint à souder. En règle générale, la préparation doit être particulièrement soignée car aucun ajustement de paramètre n'est possible en cycle, l'opérateur ne pouvant suivre le soudage en visuel.

La problématique de soudabilité est analogue à celles rencontrées en soudage par fusion bout à bout (cf. 14.7).

Le matériel utilisable pour ce type d'application sera de type trois ou quatre axes, voire cinq pour le cas X. Toutefois les têtes de soudage de type tube/plaque ouvertes ou fermées seront équipées de lance de soudages interne.

Cas d'application associé : le soudage de nipples sur collecteur est assimilable aux applications arrière-plaque avec lance interne. Les matériels utilisés sont identiques ainsi que la mise en œuvre et les précautions d'emploi.

## 17. Conclusion

Cette présentation terminée, il est simple de voir que le soudage TIG orbital peut offrir de nombreuses possibilités à des applications exigeantes et particulières, nécessitant des soudures de haute qualité. La conception modulaire de ses machines, aussi bien têtes de soudage que générateurs, permet de répondre au plus près aux besoins des professionnels tout en respectant les contraintes liées aux applications à mettre en œuvre.





**FRONIUS INTERNATIONAL GMBH**  
**Division techniques de soudage / Automation**  
Buxbaumstraße 2, A-4600 Wels, Austria  
Tel: +43 (0)7242 241-3520, Fax: +43 (0)7242 241-3900  
E-Mail: [sales@fronius.com](mailto:sales@fronius.com)  
[www.fronius.com](http://www.fronius.com)

**[www.fronius.com/addresses](http://www.fronius.com/addresses)**  
Under <http://www.fronius.com/addresses> you will find all addresses  
of our Sales & service partners and Locations.