

# SOUDEGE MAG EN CONSTRUCTION MÉTALLIQUE FIL PLEIN OU FIL FOURRÉ ?

par P. MACQUET

1

## 1. - INTRODUCTION

Le soudage constitue la technique d'assemblage la plus utilisée pour fabriquer les pièces élémentaires de l'ossature d'une charpente métallique, à savoir les poutres, les poteaux et les systèmes de stabilité des structures. Ces éléments, composés de profilés munis de platines d'extrémités, de renforts, de raidisseurs, de goussets, sont réalisés à partir d'aciers de construction de nuance S235 à S355 suivant NF EN 10025 dans des épaisseurs généralement comprises entre 5 et 30 mm. Dans la pratique, deux techniques de soudage couvrent la quasi-totalité de la production en atelier des pièces de bâtiment : le soudage sous flux en poudre ou le procédé MAG automatique pour la reconstitution des profilés, le procédé MAG en mode manuel ou l'un de ses dérivés pour l'assemblage des éléments d'habillage.

Cette rubrique retrace les principes et compare les avantages et inconvénients des deux principales variantes du procédé MAG utilisées dans la profession : le soudage avec un fil d'apport massif et le soudage avec un fil d'apport fourré. Contrairement à certaines idées reçues, l'analyse proposée tend à démontrer que le procédé avec fil fourré sous gaz associe les avantages métallurgiques des électrodes enrobées et des performances technologiques et économiques encore améliorées par rapport à celles obtenues en MAG avec fil plein.

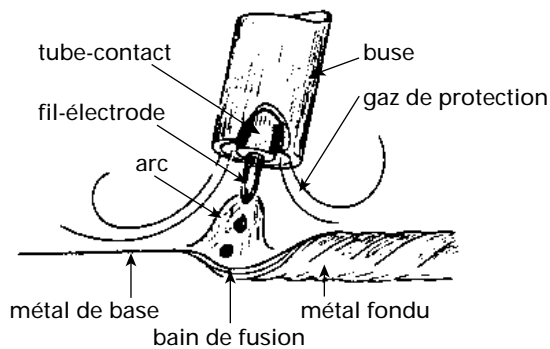
## 2. - LE PROCÉDÉ MAG AVEC FIL PLEIN

Le procédé MAG est une technique de soudage destinée à l'assemblage des aciers non alliés et faiblement alliés. De l'anglais « Metal Active Gas », ce procédé consiste à faire jaillir un arc électrique entre un fil-électrode fusible servant de métal d'apport et les éléments à assembler. Le fil-électrode dévidé en continu, le métal transféré dans l'arc et le bain de fusion sont protégés de l'air ambiant par un flux de gaz actif canalisé par une buse concentrique au fil. En mode manuel, cette technique est plus connue par les soudeurs sous l'appellation de procédé « semi-automatique ».

---

P. MACQUET – Ingénieur Européen  
en Soudage (EWE)  
CTICM – Département Construction Métallique

## ASS-FAB 1-99



Toujours alimenté en courant continu, l'arc de soudage MAG est établi en polarité inverse, l'électrode fusible étant reliée au pôle positif. Le fil est alors soumis à un flux d'électrons qui favorisent sa fusion et assurent une bonne stabilité de l'arc. Le dévidage du fil à vitesse constante (de 1 à 15 m/min) détermine l'intensité débitée par le générateur. Les densités de courant mises en œuvre sont toujours très élevées.

2

La fusion du fil et le transfert du métal dans l'arc peuvent s'effectuer principalement de trois manières, en fonction de la nature du gaz, de la tension d'arc et du niveau de l'intensité.

### 1. Le transfert par « court-circuit » :

Ce régime est obtenu pour de faibles énergies d'arc (15 à 20V – 50 à 200A). Une goutte se forme au bout du fil, grossit jusqu'à venir en contact avec le bain de fusion. Avec le court-circuit, le courant augmente rapidement et produit un pincement du fil qui facilite le détachement de la goutte. L'arc se réamorce et ce même cycle se répète à des fréquences de 50 à 200 Hz. Régime dit « froid », présentant un arc court, le transfert par court-circuit permet de souder les fines épaisseurs et de maîtriser le bain de fusion dans toutes les positions de soudage.

### 2. Le transfert par « pulvérisation axiale » :

Vers les hautes énergies de soudage et au-delà d'une certaine densité de courant (supérieure à 250 A/mm<sup>2</sup> selon la nature du fil et du gaz de protection), l'extrémité du fil présente un cône allongé. Le transfert qui donne l'apparence d'une veine continue se produit sous forme de fines gouttelettes projetées à grande vitesse dans l'axe du fil. L'arc est long, de 4 à 6 mm. Ce mode de transfert procure un arc stable et peu de projections. Il autorise de fortes pénétrations et des volumes de métal déposés importants. Son domaine d'emploi concerne les épaisseurs supérieures à 5 mm. Le volume et la fluidité du bain limite son domaine d'application au soudage à plat.

### 3. Le transfert « globulaire » ou par « grosses gouttes » :

Pour des énergies de soudage intermédiaires aux deux précédents modes de transfert, les gouttes ont une croissance lente et l'intensité du courant n'est pas suffisante pour provoquer son détachement par effet de pincement électro-magnétique. La goutte grossit, de taille supérieure au diamètre du fil, et le transfert s'établit soit par court-circuit quand la goutte touche le bain, soit par détachement de la goutte sous l'effet de la pesanteur. Ce mode de transfert est instable, il produit de faibles pénétrations et de nombreuses projections. Il n'est pas recommandé de travailler dans ces conditions.

Le générateur de soudage dont la fonction est d'adapter l'énergie électrique fournie par le réseau aux faibles tensions et fortes intensités requises par l'opération de soudage constitue l'élément central du poste de travail. Son choix est déterminant. Sa technologie doit correspondre à l'utilisation et au domaine d'application prévus. Les générateurs de soudage peuvent être classés selon trois grandes familles :

- les générateurs à diodes : constitués d'un transformateur incrémental et d'un redresseur à pont de diodes, le réglage de la tension se réalise de façon discontinue ;
- les générateurs à thyristors : constitués d'un transformateur et d'un pont redresseur à thyristors piloté par une électronique de commande, ils offrent un plus grand confort d'utilisation et plus de souplesse (commande à distance, réglage continu de la ten-

**ASS-FAB 1-99**

sion), mais sont limités par leur temps de réponse (vitesse de variation des grandeurs électriques délivrées par le générateur insuffisante par rapport à celle imposée par l'arc);

- les générateurs à transistors : constitués d'un transformateur, d'un convertisseur type hâcheur ou onduleur et d'une électronique de commande élaborée, assurant un meilleur transfert du métal dans l'arc et encore plus de souplesse et de facilité d'emploi.

En outre, on trouve chez les fabricants des postes à thyristors ou à transistors dits « synergiques » qui auto-déterminent par une logique interne, les paramètres électriques optimums pour obtenir la qualité de soudure attendue à partir de paramètres de base délivrés par le soudeur (diamètre et nature du fil, gaz, position de soudage).

En complément du générateur de soudage, l'installation classique de soudage MAG comprend :

- un dévidoir qui comprend un moteur avec réducteur, un jeu de galets d'entraînement, des guide-fils, un support de bobine avec sa bobine de fil, pour permettre le réglage en continu de la vitesse du fil jusqu'à 20 m/mn ;
- une source d'alimentation en gaz, bouteille ou centrale, avec son débitmètre ;
- les câbles et gaines pour la commande du dévidoir et pour l'alimentation de la torche en fil, courant, gaz et le cas échéant eau de refroidissement ;
- une torche ou pistolet refroidi ou non, qui assure l'arrivée et le guidage du fil, le contact électrique sur le fil par un « tube contact » en cuivre, la protection gazeuse par la buse.

De bonnes propriétés mécaniques du métal déposé et une forte productivité, très supérieure à celle du soudage à l'arc avec électrode enrobée, sont les principales caractéristiques du procédé MAG. Il est facile à mettre en œuvre en atelier et est utilisé aussi bien en mode manuel, qu'en mode automatique ou robotique. Grâce aux différents modes de transfert du métal dans l'arc, son domaine d'application couvre toutes les positions de soudage sur des épaisseurs à partir de 0,6 mm. On le rencontre communément dans de nombreuses industries : chaudronnerie, mécanique, construction métallique, navale, ferroviaire et automobile.

Avec un métal d'apport constitué d'un fil massif plein, ce procédé présente néanmoins un inconvénient largement connu des prescripteurs et utilisateurs : il introduit au niveau du joint soudé une énergie linéaire faible, et est donc susceptible de provoquer aux limites des plages de paramètres acceptables des défauts de manque de fusion ou collage préjudiciables à la tenue en service des assemblages. Pour minimiser ce risque parfaitement maîtrisable, deux solutions s'offrent à l'utilisateur :

- une surveillance accrue des paramètres d'exécution, notablement facilitée par l'emploi de générateurs évolués de type « synergique »,
- l'utilisation d'un fil fourré en substitution du fil plein, technologie qui présente en outre des avantages supplémentaires de productivité, de qualité, de confort d'utilisation pour le soudeur.

### **3. - LE PROCÉDÉ MAG AVEC FIL FOURRÉ**

Le principe du procédé est sensiblement identique à celui du MAG avec fil plein. Le courant est toujours continu, mais la polarité peut dépendre du type de fil utilisé. Le fil fourré est constitué d'une gaine tubulaire en acier remplie par un fourrage en poudre.

## ASS-FAB 1-99

Celui-ci contient les éléments nécessaires pour assurer un rôle voisin de celui des enrobages pour les électrodes :

- un rôle métallurgique; il assure la protection du bain par formation d'un gaz, la désoxydation et la dénitruration du bain, l'apport éventuel d'éléments d'alliage (Ni, Cr, Mo);
- un rôle physique; par formation d'un laitier, il protège et moule le cordon de soudure et facilite l'emploi en position.

Les fils fourrés avec gaz de protection peuvent être divisés en deux familles :

- les fils fourrés avec laitier, répartis en deux sous familles, les fils fourrés rutilés et les fils fourrés basiques,
- les fils fourrés sans laitier (le fourrage est essentiellement métallique).

Pour les fils avec laitier, ce dernier recouvre au refroidissement le métal fondu comme en soudage avec électrodes enrobées. Il est généralement aisément détachable et doit être éliminé par piquage.

Le procédé MAG avec fil fourré de type rutilé est particulièrement adapté au soudage des aciers de construction courants. Les caractéristiques mécaniques des joints soudés sous gaz binaire de type argon-CO<sub>2</sub> sont satisfaisantes. Des nuances de fil fourré rutilé sont même disponibles pour des applications où des caractéristiques de ténacité à basses températures sont recherchées. Ce procédé procure une pénétration plus forte qu'avec un fil plein et son utilisation est unanimement jugée plus sécurisante à l'égard des risques potentiels de collage.

Pour mémoire, il existe également sur le marché des fils fourrés sans laitier plus particulièrement destinés au soudage des aciers à haute résistance. Ces produits présentent des taux d'hydrogène diffusible très bas, limitant ainsi au maximum le risque de fissuration à froid de ces aciers. L'absence de laitier qui soutient le bain de fusion limite la maniabilité en position de ces fils plus adaptés au soudage à plat et au soudage automatique. Le gain de productivité en comparaison avec un fil massif est essentiellement obtenu par une augmentation de la vitesse de dévidage du fil fourré.

La faible utilisation des fils fourrés avec gaz de protection dans les ateliers traditionnels de construction métallique est essentiellement due à un coût apparent du produit élevé, presque trois fois celui d'un fil plein, et également à la nécessité d'éliminer le laitier résiduel après soudage.

Néanmoins, une analyse plus fine permet d'identifier les atouts indéniables que procurent l'utilisation de tels fils fourrés en comparaison de fils pleins. Ces avantages sont de différentes natures et concernent :

- l'augmentation de la productivité par l'accroissement du taux de dépôt et par une minimisation des manutentions nécessaires à l'exécution des opérations de soudage,
- le confort d'utilisation grâce à de larges plages de paramètres utilisables, une qualité d'aspect accrue et une réduction sensible des projections,
- l'amélioration des conditions d'hygiène et d'environnement du soudeur par une réduction du volume et de la nocivité des fumées et une diminution du niveau sonore.

### *L'augmentation de la productivité*

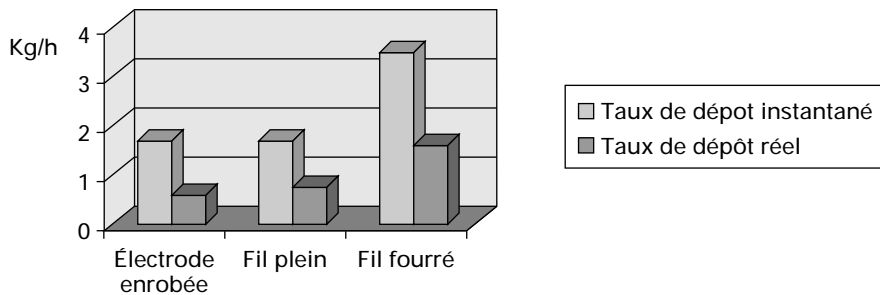
En procédé MAG fil fourré avec laitier, la solidification rapide de ce dernier contribue à soutenir le bain de métal en fusion et permet ainsi de souder à forte intensité avec des vitesses de dévidage de fil plus élevées. Cette caractéristique procure à position de soudage égale un important gain de productivité en regard du fil plein par accroissement du taux de dépôt.

**ASS-FAB 1-99**

A titre d'exemple, le tableau et le graphique présentés ci-dessous comparent la productivité obtenue en position verticale montante avec trois produits d'apport courants destinés au soudage des aciers non alliés (données SAF) :

Type	Électrode enrobée	Fil plein	Fil fourré
Diamètre	4 mm	1,2 mm	1,2 mm
Intensité	165 A	140 A	250 A
Taux de dépôt instantané	1,7 Kg/h	1,7 Kg/h	3,5 Kg/h
Taux de dépôt réel *	0,6 Kg/h	0,75 Kg/h	1,6 Kg/h

\* Facteur de marche 35 % pour l'électrode enrobée et 45 % pour le MAG



*Productivité en position verticale montante*

Dans les conditions opératoires de notre exemple, le taux de dépôt du fil fourré avec laitier s'avère plus de deux fois supérieurs à celui obtenu en fil plein et encore davantage à celui produit avec des électrodes enrobées.

En complément de sa performance en matière de taux de dépôt, le procédé de soudage MAG fil fourré avec laitier, par la capacité de ce dernier à soutenir le bain de fusion, est particulièrement adapté au soudage en toutes positions. Dans le cas du soudage des éléments d'habillage des poutres et poteaux de structures de type bâtiment, la possibilité de pouvoir aisément réaliser des joints en position verticale montante voire plafond permet de minimiser les retournements des pièces. Les gains sur les temps de manutention des éléments favorisent la productivité par une amélioration du facteur de marche du procédé (rapport entre le temps de soudage ou temps d'arc, et le temps total nécessaire à la réalisation de la soudure).

*Le confort d'utilisation et la qualité des soudures*

La plage d'utilisation des fils fourrés rutiles est très large et permet d'adapter aisément les paramètres d'exécution, tension – vitesse de dévidage du fil – vitesse d'avance, en fonction de la technique de soudage employée et de la dextérité de l'opérateur. Cette souplesse d'utilisation est généralement très appréciée des soudeurs et est accessible même avec des générateurs de courant standards non « synergiques », donc de coût à l'achat plus modéré.

L'usage de fils fourrés de qualité suivie au niveau de la composition chimique, des états de surface, du cuivrage procure une grande fiabilité du procédé et une qualité d'aspect accrue des joints soudés. La stabilité du transfert du métal dans l'arc conduit également à une réduction sensible du nombre et de la taille des projections, limitant ainsi les coûteuses mais souvent indispensables opérations de parachèvement avant application de traitements de protection contre la corrosion.

**ASS-FAB 1-99***L'amélioration des conditions d'hygiène et de sécurité*

Les nouvelles exigences en matière d'hygiène et de sécurité ont conduit les fabricants de produits de soudage à développer et proposer des fils fourrés à basse émission de fumée. Ce résultat est obtenu par l'association de fil fourré spécialement étudié et d'un gaz de protection de type argon/oxygène. La diminution du volume des fumées est très significative et peut atteindre 40 à 50 % par rapport à un produit de performances identiques mis en œuvre avec un mélange gazeux traditionnel de type argon/CO<sub>2</sub>. De plus, lors de l'utilisation des mélanges comprenant une part significative de CO<sub>2</sub>, celui-ci se décompose partiellement en monoxyde de carbone, gaz nocif pour la santé des opérateurs en cas de ventilation insuffisante. Le remplacement du CO<sub>2</sub> par l'oxygène supprime cette réaction et cette nuisance potentielle.

Par ailleurs, ces combinaisons fil/gaz procurent une réduction sensible, de l'ordre de - 10 dBA à 1 m, du bruit généré par rapport à une opération de soudage exécutée avec un fil massif. A noter que tous ces progrès sont obtenus au prix d'une majoration sensible du prix apparent des produits consommables mais pas au détriment des caractéristiques mécaniques ou de la qualité des joints soudés.

**4. - RAPPEL DES PERFORMANCES ÉCONOMIQUES**

En référence à l'article « Méthode d'évaluation du prix de revient brut des assemblages soudés » publié dans le n° 1-1998 de la présente revue, la preuve a été fournie que malgré un coût apparent supérieur du fil, le prix de revient brut d'un assemblage réalisé avec un fil fourré n'est pas plus élevé qu'avec un fil massif.

Pour mémoire, l'évaluation de ce prix s'obtient en réalisant la somme des coûts des postes suivants :

- main d'œuvre sur la base du temps de réalisation (dépend du taux de dépôt et du facteur de marche du procédé),
- métal d'apport (sur la base de la masse de produit consommé),
- électricité et gaz de protection (sur la base du temps d'arc).

Le tableau présenté ci-après reprend les résultats de calcul obtenus pour l'évaluation de ces coûts pour un cas concret (soudure bout à bout à pleine pénétration de deux tôles d'épaisseur 20 mm, de longueur 1 m avec préparation des bords à souder en X symétrique) :

Procédé de soudage	Main d'œuvre	Métal d'apport	Électricité	Gaz de protection	Total
MAG fil plein	193 F	9 F	1 F	10 F	213 F
MAG fil fourré	130 F	26 F	1 F	7 F	164 F

Le traitement de cet exemple a confirmé que le coût apparent des produits consommables ne présume pas du prix de revient brut réel d'une opération de soudage.

ASS-FAB 1-99

### 5. - CONCLUSION

Compte tenu de ses avantages sur les plans de la sécurité, de la productivité et du confort d'utilisation, il est souhaitable que les atouts du fil fourré soient connus et reconnus des ateliers de construction métallique. Son emploi doit s'y développer, car il peut constituer un facteur de renforcement de la compétitivité des entreprises de la profession.

*L'auteur remercie la SAF pour sa coopération dans la préparation de cette rubrique.*

7