

# Evolution récentes en soudage MAG – Les sources de courant à dynamique contrôlée

Olivier CHEMINAT, Laurent JUBIN, CETIM

Le soudage MIG-MAG continue de souffrir d'une mauvaise image chez certains donneurs d'ordres de la chaudronnerie, alors qu'il s'agit d'un procédé très utilisé dans un grand nombre de secteurs dont certains avec des exigences importantes. Cette mauvaise image est issue des difficultés rencontrées par le passé avec du personnel peu ou mal formé à ce procédé. Afin de réduire les défauts de ce procédé, les fabricants de source de soudage développent depuis de nombreuses années des sources de courant où il devient possible de mieux contrôler le bain de fusion.

## Rappel sur le procédé

Le procédé de soudage MAG ou plus exactement le soudage à l'arc sous protection de gaz actif avec fil-électrode fusible (désignation numérique 135) est aussi connu sous la dénomination populaire de soudage « semi-auto ». Cette dénomination est sans doute une des raisons de son image dévalorisée, la promotion du procédé s'étant effectuée initialement sur l'argumentaire d'une facilité d'utilisation ou de prise en main qui a mené à une moindre formation des soudeurs.

Cette illusion de facilité ainsi que la possibilité d'utiliser le procédé sur une très grande plage de paramétrique a conduit et conduit encore à générer des manques de fusion ou de pénétration par la recherche abusive du taux de dépôt au détriment d'une bonne gestion du bain de fusion.

A l'opposée de cette faiblesse, les points forts sont avant tout le taux de dépôt important, un facteur de marche supérieur aux autres procédés et une facilité d'automatisation le rendant quasiment incontournable. De plus, le procédé faisant appel à des fils pleins permet de le mettre en œuvre avec un gaz inerte sur des matériaux fortement réactifs comme l'aluminium et dans une certaine mesure le titane. La faible teneur en hydrogène diffusible des fils pleins, par rapport par rapport à l'électrode enrobée ou l'arc sous flux, permet aussi de l'utiliser pour souder des matériaux sensibles à la fissuration à froid.

Deux paramètres sont essentiels :

- l'intensité de soudage (directement proportionnelle à la vitesse de dévidage du fil)
- la tension d'arc.

En fonction de ces deux paramètres, plusieurs modes de transfert de métal sont possibles :

- Le mode par court-circuit pour les faibles intensités et tensions (Figure 1) dans lequel le fil vient toucher le matériau de base et ainsi réaliser le dépôt par la succession de court-circuits.
- A l'opposé, pour les fortes intensités et tensions, le mode de transfert « pulvérisation axiale » s'effectue par la création d'une projection de fines gouttelettes du matériau d'apport dans le bain de fusion.

- Entre ces deux modes de transfert existe un régime dit globulaire ou à grosses gouttes, où le matériau en fusion est détaché sous forme de grosses gouttes de façon plus ou moins erratique. Ce mode de transfert instable, génère de nombreuses projections et un fort volume de fumées.

Malgré ses inconvénients, ce type de transfert est très utilisé car les paramètres, intensité et tension, qui lui sont associés permettent le soudage dans de très nombreuses configurations, que ce soit en épaisseurs ou en position de soudage.

Une première évolution du soudage MAG a été l'utilisation d'un régime pulsé, avec un temps chaud permettant le détachement d'une goutte, puis d'un temps froid où l'arc est maintenu mais sans fusion du métal d'apport. Une sorte de pulvérisation axiale par intermittence, tout en réduisant les bains de fusion, pour permettre le soudage des tôles fines

L'utilisation d'un mode de transfert conduisant à modifier fortement le volume du bain de soudage ainsi que l'apport de chaleur est de ce fait fortement influencé par l'épaisseur des pièces à souder, la position de soudage, le diamètre de fil et sa nature. De ce fait, le mode de transfert est plus subi que choisi.

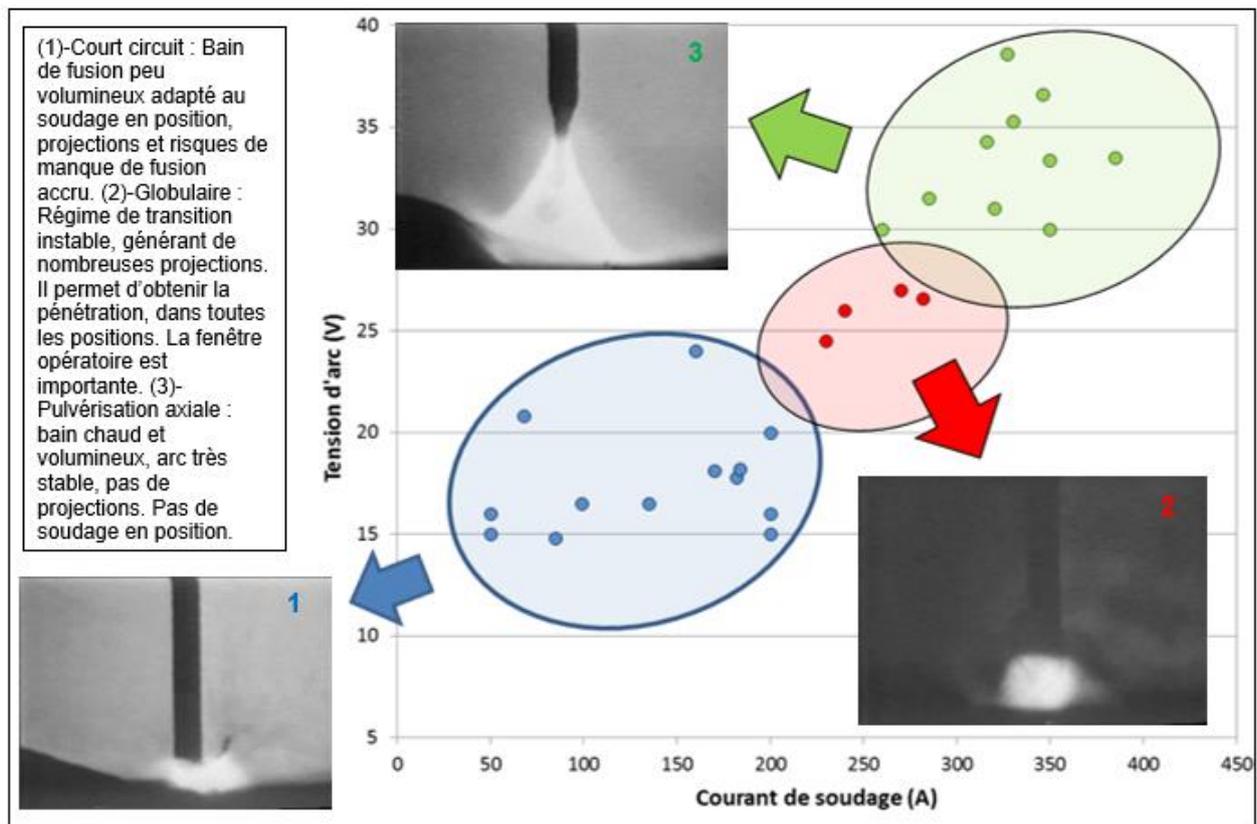


Figure 2 : Les différents modes de transfert du métal avec le procédé MAG conventionnel

## Mode de transfert avec les postes à dynamique contrôlée

A la fin des années 90, Lincoln Electric a commercialisé le STT<sup>®</sup>. Cet équipement améliore le régime de transfert du métal dans l'arc par court-circuit grâce à un asservissement du courant de soudage lors des phases de détachement de la goutte de métal. Ce procédé s'est bien diffusé dans le secteur de la chaudronnerie-tuyauterie pour la réalisation des passes de racines. Depuis, tous les fournisseurs de sources de courant proposent des générateurs permettant des

modes de transfert avec asservissement de l'arc que ce soit en court-circuit ou en pulvérisation axiale. Dans ces sources dites à « dynamique contrôlée », les paramètres électriques sont analysés en continu et leurs variations sont forcées électroniquement. De ce fait, les régimes s'écartent des modes de transfert libres. Ces sources peuvent être utilisées avec des lois d'asservissement spécialisées très diverses : passes de pénétration, soudage de tôles minces, réduction des déformations, grandes vitesses de soudage, très forte pénétration, soudage en chanfrein étroit, soudo-brasage, soudage de l'aluminium, correction automatique de longueur de fil sorti...

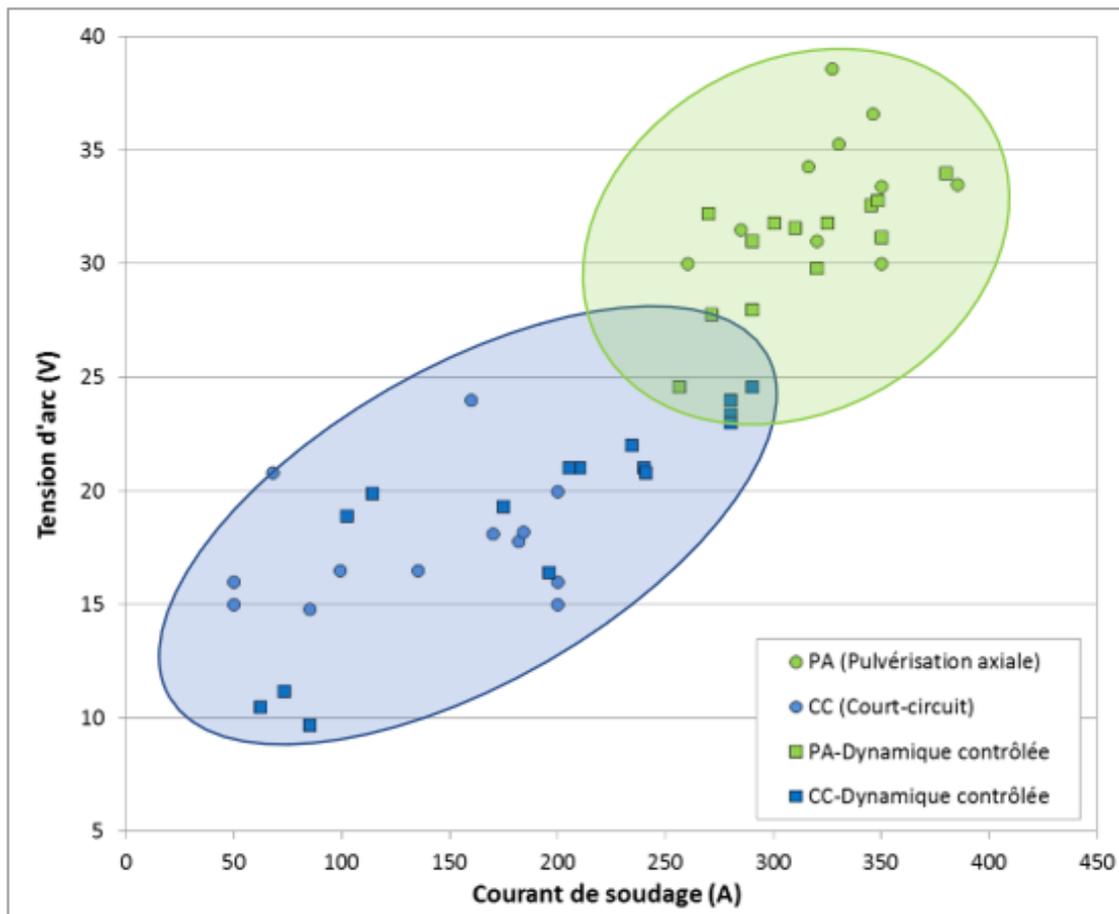
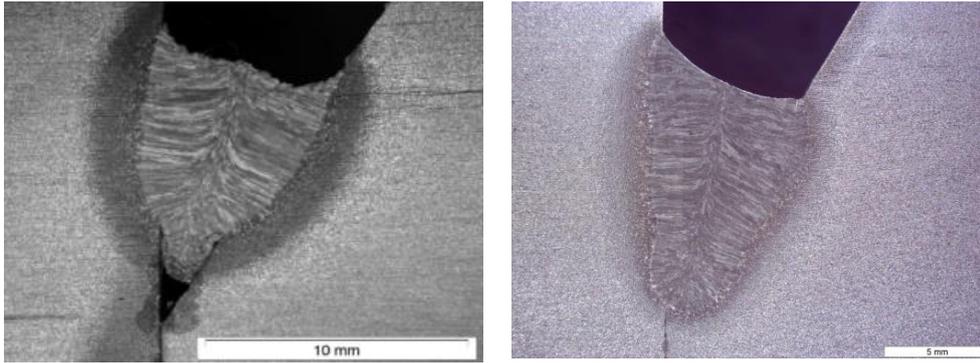


Figure 3 : Modes de transfert en fonction des paramètres essentiels en dynamique contrôlée

## Quelques applications spécifiques

### Soudage à forte pénétration

Certaines lois utilisées pour piloter le transfert autorise l'utilisation d'une faible tension d'arc malgré une vitesse de fil importante. Par rapport à un arc standard, la baisse de tension est d'environ 5 Volts pour des intensités similaires. Cela permet d'obtenir un arc électrique étroit et une pression d'arc localisée sous la surface du bain de fusion permettant d'obtenir un bain étroit et profond. Il est ainsi possible de réaliser des soudures en chanfrein semi-ouvert avec de très bonne pénétration à la racine malgré un angle d'ouverture relativement fermé : jusqu'à 35° au lieu d'un angle de 40 à 45° en soudage MAG standard, cf. Figure 4.



MAG Standard

MAG avec loi à forte pénétration

**Figure 4 : Soudage en chanfrein en demi-vé avec un angle de 35° - Comparaison entre le soudage MAG standard et le soudage MAG avec loi à forte pénétration. (1) (2)**

### Une option supplémentaire : la variation automatique de la vitesse de fil

En soudage MAG conventionnel, quand la distance entre la torche et la pièce augmente, le courant de soudage diminue et la tension d'arc augmente. C'est une réaction normale de n'importe quel arc électrique entre deux conducteurs. En soudage, la sanction est sévère : la diminution du courant de soudage entraîne une diminution de la pénétration au point qu'un défaut rédhibitoire peut apparaître.

Plusieurs fabricants de matériel proposent une option permettant de compenser cette anomalie sitôt détectée. Le générateur augmente la vitesse de fil, pour maintenir la valeur de courant constante. Le poste peut modifier spontanément la vitesse de dévidage de  $\pm 2$  m/min.

Cette correction donne de très bons résultats en soudage automatique et permet de compenser un défaut géométrique de l'installation de plusieurs millimètres. Malheureusement, cette option ne compense que très partiellement un problème de dextérité d'un soudeur inexpérimenté. Le geste de celui-ci ne doit pas être corrigé uniquement sur la longueur d'arc. Le soudeur inexpérimenté peut diriger son arc en dehors du plan de joint et dans ce cas, la compensation automatique est insuffisante.

### Transposition d'un mode opératoire d'une source de courant à une autre

Le fait d'avoir une source de courant où le mode de transfert n'est plus naturel mais complètement piloté conduit effectivement à ne plus pouvoir transposer directement un mode opératoire sur un générateur d'une autre marque ne disposant pas exactement du même programme de commande et des mêmes algorithmes de correction.

Le problème n'est généralement pas la qualification du mode opératoire telle qu'elle est réalisée par le biais d'une épreuve standard conformément à la NF EN ISO 15614-1 : l'adaptation des paramètres s'effectue généralement tout en restant dans les variations d'énergie permises par le domaine de validité. Mais l'utilisation d'une autre source nécessite d'avoir recours à une mise au point de nouveaux paramètres, en particulier en soudage automatique. Plus le mode opératoire est en limite de fenêtre opératoire (très faibles ou très fortes intensités), plus la transposition vers une autre source de courant sera délicate. (3)

## Mesure de l'énergie de soudage

Les temps de refroidissement mesuré sur les cycles thermiques de soudage en soudage MAG pulsé sont supérieurs de près de 20 à 25% au temps mesurés sur des courants lisses et 15% au-delà de 1,2 kJ/mm (4). De ce fait, seule une mesure avec un Wattmètre permettrait de déterminer la valeur réelle de l'énergie de soudage. Cependant, si la qualification est réalisée avec une source de courant donnée, il est possible de se satisfaire d'un relevé classique des paramètres à la condition que le même moyen de mesure soit conservé entre la qualification et la mise en œuvre ultérieure sur une source identique à celle utilisée lors de la qualification (5).

Vis-à-vis de cette mesure d'énergie, les parties 1 et 2 des NF EN 1011 définissent un rendement thermique pour le calcul de l'apport de chaleur à partir de l'énergie linéaire de soudage – on notera d'ailleurs que les valeurs de ce rendement diffèrent entre les deux parties de la norme. Des travaux plus récents définissent des rendements thermiques qui évoluent suivant les modes/régimes de transfert. Cette imprécision sur le rendement peut conduire à des variations importantes dans le calcul du temps de refroidissement ; par exemple, en soudage MAG entre un rendement thermique de 0,7 ou de 0,85, la variation du temps de refroidissement peut aller jusqu'à 30%. La prédiction de la microstructure en zone fondue et en zone affectée thermiquement en sera forcément entachée.

## Un écueil à éviter : la recherche du taux de dépôt

Le risque principal à éviter avec ce procédé concerne une recherche inconsidérée du taux de dépôt. Dans de nombreux cas d'avarie, il a été noté que le soudeur ou l'agent des méthodes a tenté le soudage en une seule passe importante au lieu de 2 passes avec des vitesses de fil moindres. La recherche des hautes vitesses de fil – sans y associer une augmentation de vitesse de soudage – se traduit par une réduction de la pénétration qui conduit de façon quasiment systématique à des défauts en racine.

L'exemple donné dans la Figure 5 montre la réalisation d'une soudure en 1 passe réalisée à 35 cm/min conduisant à un manque de pénétration, alors que le soudage en 2 passes à 60 cm/min aurait permis de résoudre le problème.



**Figure 5 : Soudure MAG en 1 passe réalisée à une vitesse de soudage de 35 cm/min avec une vitesse de fil trop importante.**

Le soudage MAG, comme tous les procédés de soudage, requiert des soudeurs expérimentés et formés connaissant parfaitement les implications de leurs choix de paramètres. Et une hiérarchie ayant compris que la productivité ne se juge pas sur l'unique taux de dépôt mais aussi en prenant en compte le taux de reprises.

## A retenir

Le soudage regroupe de nombreuses technologies en constante évolution et le procédé MIG/MAG a connu une vraie révolution par l'intégration de boucles d'asservissement à très haute fréquence. Cette mise en œuvre de l'électronique de commande avec des micro-processeurs très rapides a permis la mise sur marché de sources de courant permettant de s'affranchir des modes de transferts naturels.

Il est ainsi devenu possible de réaliser des cordons jugés impossibles auparavant et d'améliorer les procédés actuels que ce soit au niveau de la qualité mais aussi de la productivité. Cette stabilisation de l'arc permet de produire des cordons sans projection avec un fil plein.

Une partie du savoir-faire se trouve dorénavant chez le fabricant de sources qui développe pour les industriels la loi synergique optimale. Cependant, la qualification de mode opératoires de soudage, la transposition d'un MOS sur d'autres postes, ainsi que la mesure des énergies de soudage en sont modifiées.

Un des mauvais réflexes fréquents est de recourir à l'augmentation de l'intensité pour palier à un manque de pénétration alors qu'au-delà d'une intensité critique, le volume de métal en fusion généré empêche la pénétration. Il est indispensable d'associer cette action à une augmentation de la vitesse d'avance.

Le soudage MIG-MAG nécessite comme pour les autres procédés du personnel compétent et bien formé. Il ne faut jamais oublier que la qualité d'un joint soudé vient non pas de la « qualification papier » d'un mode opératoire de soudage, mais de la gestuelle du soudeur ainsi que de sa parfaite connaissance du procédé.

## Références

1. **Laugier, Michel.** *Réduction des chanfreins en soudage d'angle.* 2005. CETIM 1M2770 / RT IS n°42824.
2. **Haouas, Jessy.** *Soudage MAG à forte pénétration.* 2015. CETIM Projet 071100 / IS RT 4237-1MXZWO-V1.
3. **Mastrangelo, olivier.** *Qualification des nouveaux procédés MAG.* 2017. CETIM Projet 096144 / IS RT 5541-3BBFPI-V1.
4. **Cartaud, Daniel et Debiez, Simon.** *Etude des cycles thermiques du soudage MAG pulsé - Relation entre l'énergie de soudage apparente et le  $tr8/5$ .* 1997. CETIM Projet 1B1670 - IS RT 31698.
5. **Haouas, Jessy.** *Guide pratique pour la mesure des énergies de soudage.* 2012. Collection CETIM-Performances 9Q185.
6. **NF EN 14610.** *Soudage et techniques connexes — Définitions des procédés de soudage des métaux.* s.l. : AFNOR, 2004.
7. **EN 1011-1.** Soudage - Recommandations pour le soudage des matériaux métalliques - Partie 1 : Lignes directrices générales pour le soudage à l'arc. s.l. : AFNOR, 2009. NF EN 1011-1.
8. **EN 1011-2.** Soudage - Recommandations pour le soudage des matériaux métalliques - Partie 2 : Soudage à l'arc des aciers ferritiques. s.l. : AFNOR, Juillet 2002. NF EN 1011-2.