

Réduction des fumées de soudage à la source

Fabrice SCANDELLA – Institut de Soudure
Laurent JUBIN – CETIM



- **Introduction**
 - Pourquoi réduire le taux d'émission à la source ?
 - Les procédés de soudage à l'arc électrique
 - Les produits d'apport
 - Avantages et limites des procédés de soudage à l'arc électrique
 - Quelques précisions importantes concernant le procédé MIG-MAG
- **Synthèse de résultats d'études CIS-FIM**
 - Influence des revêtements et propreté de surface
 - Soudage à l'électrode enrobée
 - Soudage MAG
 - Technologies de postes et modes de transfert
 - Fil plein ou fil fourré
 - Teneur en chrome du produit d'apport
 - taux d'émission de poussières
 - teneur en Cr^{VI} dans les fumées
 - Influence du gaz de protection
 - soudage TIG
 - Effet de l'aspiration
 - Cas particulier – alliage d'aluminium
- **Positionnement des procédés de soudage vis-à-vis des fumées**
- **En résumé**

Introduction : Pourquoi réduire le taux d'émission à la source ?

Quantité de poussière dans le masque par heure de soudage (mg/h) :

1



Sans aspiration

0,43



Avec aspiration sur bras articulé

0,005



Avec torche aspirante

Quantité de poussières divisée par :

2,5

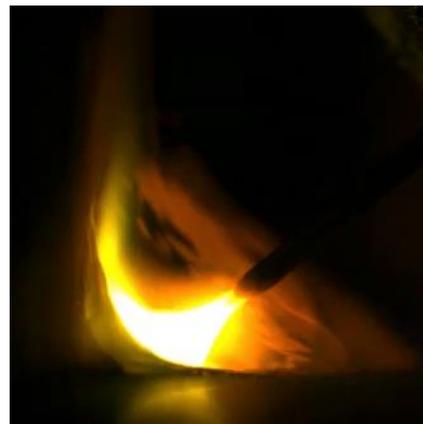
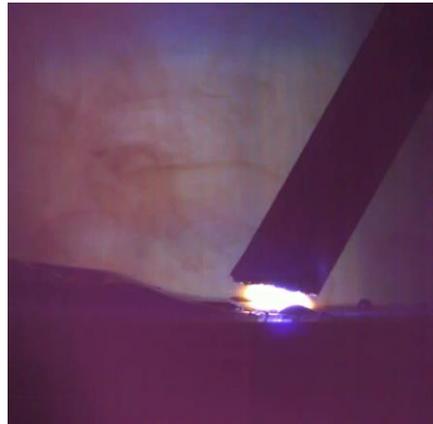
200

Réduire le taux d'émission à la source est un moyen bien plus efficace pour protéger à la fois les soudeurs et les autres personnes présentes dans un atelier.

[G. Mertuk et al., (2003), Comparaison de l'efficacité de différents systèmes visant à réduire la quantité de fumée présente dans le masque du soudeur, CETIM 1G2870 / Institut de Soudure RT 37701]

Introduction : Les procédés de soudage à l'arc électrique

En soudage manuel, les principaux procédés de soudage à l'arc électrique sont :



Nom du procédé

Electrode enrobée

MIG-MAG

TIG

Numéro

111

131,135,136,137,(114)

141

Electrode

Fusible

Fusible

Non fusible

Produit d'apport

Electrode enrobée

Fil-électrode continu

Sans ou baguette

Protection du bain

Laitier

Gaz ou laitier

Gaz

Nom commun

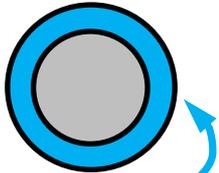
« *Baguette* », « *Arc* »

« *Semi* », « *Semi-auto* »

TIG

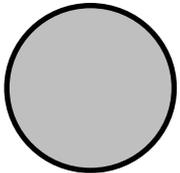
Les produits d'apport utilisables sont :

Electrode enrobée

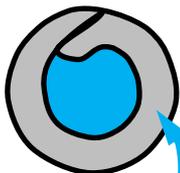


Enrobage

Fil massif



Fil fourré



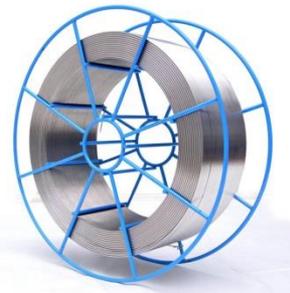
Fourrage

En soudage à l'arc à l'électrode enrobée



1. **Electrode enrobée** (massive) avec enrobage
 - 1.1 Rutile
 - 1.2 Basique
 - 1.3 Rutilo-basique
 - 1.4 Cellulosique

En soudage MIG-MAG



1. **Fil massif**
2. **Fil fourré** avec fourrage
 - 2.1 Rutile
 - 2.2 Basique
 - 2.3 Rutilo-basique
 - 2.4 Métallique

En soudage TIG



1. **Baguette** (massive)



2. **Fil massif**

Introduction : Avantages et limites des procédés de soudage à l'arc électrique

Soudage à l'électrode enrobée : 111

Avantages	Limites
<ul style="list-style-type: none">• Procédé fiable et robuste• Soudage en toutes positions• Large gamme de produits d'apport (électrode synthétique)• Procédé incontournable pour des travaux sur site• Procédé ancien mais qualifié même pour des applications critiques (ex. nucléaire, pétro-chimie)	<ul style="list-style-type: none">• Productivité limitée (0,5 à 4 kg/h – 30 cm/min)• Non automatisable• La qualité métallurgique est fonction du type d'enrobage choisi (fissuration, ténacité)

Introduction : Avantages et limites des procédés de soudage à l'arc électrique

Soudage MIG-MAG avec fil massif : 131, 135

Avantages	Limites
<ul style="list-style-type: none">• Productivité élevée (2 à 8 kg/h – 50 cm/min)• Automatisation et robotisation possibles• Très polyvalent (utilisable pour une large gamme de matériaux : acier, aluminium, base Ni, Cu...)• Produit d'apport peu onéreux	<ul style="list-style-type: none">• Risque de manque de fusion – Souvent interdit ou soumis à des dérogations strictes sur des appareils de haute sécurité• Gamme de produits d'apport limitée aux compositions pouvant être tréfilées• Soudage en toutes positions très difficile

Introduction : Avantages et limites des procédés de soudage à l'arc électrique

Soudage MIG-MAG avec fil fourré : 136, 137, (114)

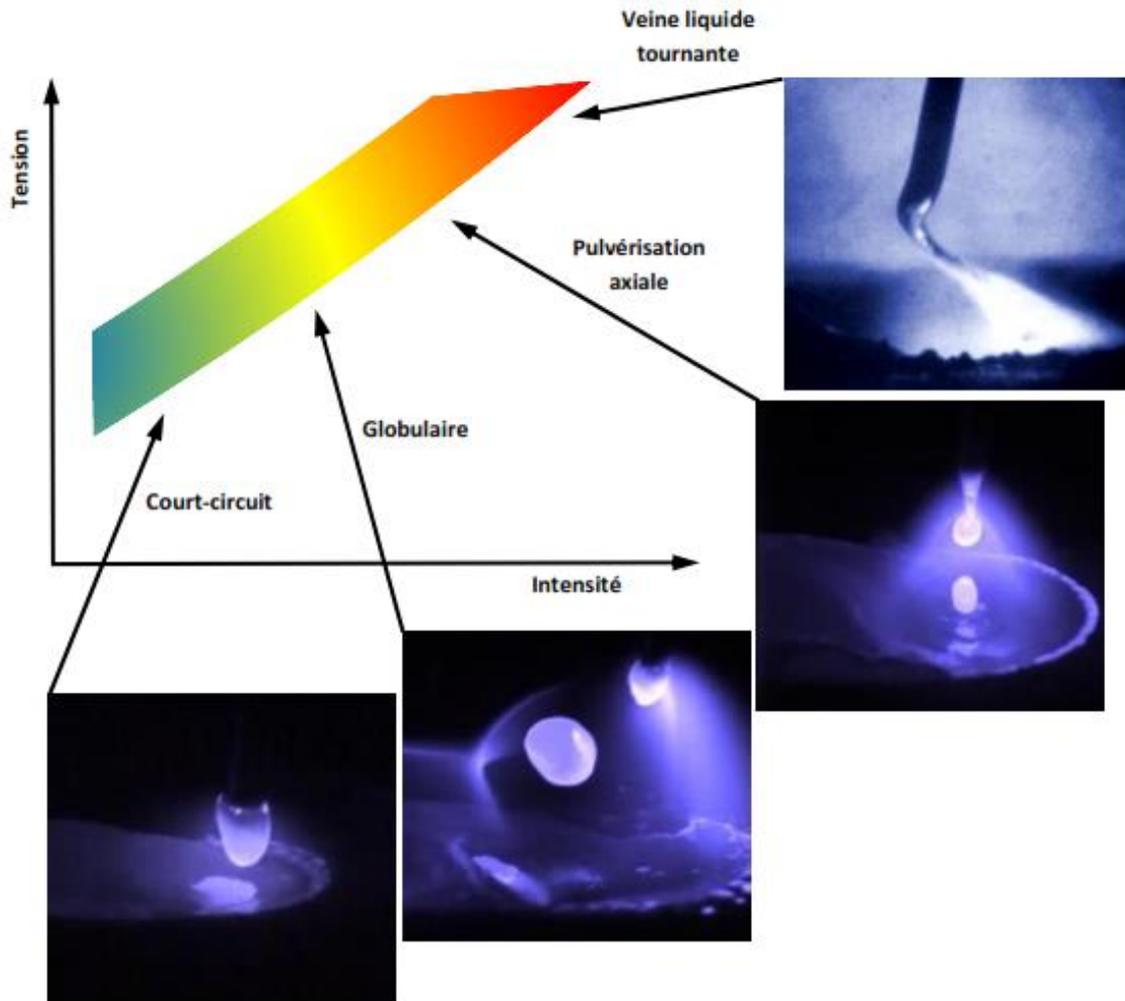
Avantages	Limites
<ul style="list-style-type: none">• Productivité élevée, parfois bien supérieure à celle des fils massifs (4 à 10 kg/h – 50 cm/min)• Automatisation et robotisation possibles• Adapté au soudage en toutes positions (avec certains types de fourrages)• Très large gamme de produits d'apport• Incontournable en rechargement dur	<ul style="list-style-type: none">• Risque de manques de fusion - Utilisation souvent soumise à dérogation par certains donneurs d'ordre• Produits contenant des flux hygroscopiques : quelques limites d'utilisation• Produits d'apport relativement onéreux

Introduction : Avantages et limites des procédés de soudage à l'arc électrique

Soudage TIG : 141

Avantages	Limites
<ul style="list-style-type: none">• Qualité des soudures• Arc électrique et produit d'apport dissociés : grande souplesse, adapté aux travaux délicats• Automatisation et robotisation possibles• Procédé qualifié pour des applications critiques (ex. nucléaire, aéronautique)	<ul style="list-style-type: none">• Productivité très faible (0,5 à 2 kg/h – 15 cm/min)• Déformations importantes des pièces soudées

Introduction : Quelques précisions importantes concernant le procédé MIG-MAG



Plusieurs **modes de transfert** sont possibles en soudage MIG-MAG avec fil massif.

Ils dépendent notamment du réglage de la **tension d'arc** et de l'**intensité**.

Le choix du mode de transfert se fait souvent en fonction de l'épaisseur des pièces à souder ou de la position de soudage.

Avec les **générateurs modernes** (onduleurs), de multiples modes de transfert spécifiques « forcés » sont maintenant disponibles.

Propreté des pièces à souder

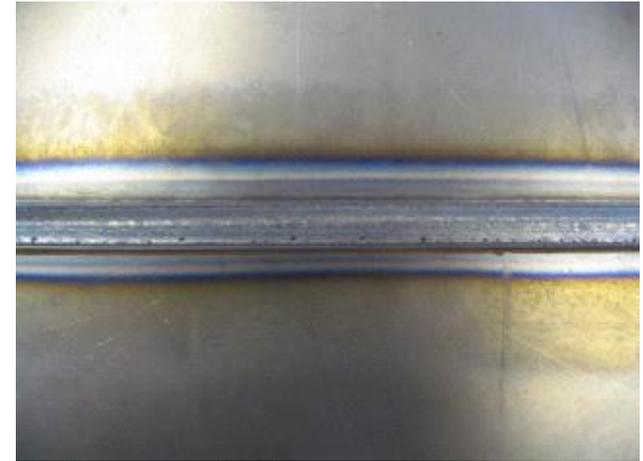
- **La présence d'huile sur les pièces à souder conduit à augmenter la quantité de poussières émises**
 - Paramètres de soudage :
 - ➔ Fil G3Si1 diamètre 1,0 mm
 - ➔ I : 160 A (vitesse de dévidage de 4,8 m/min)
 - ➔ U : 24 V
 - ➔ Protection 100% CO₂
 - Tôle nue : 15 à 17 mg/g MD^(*)
 - Tôle huilée : 20 à 23 mg/g MD^(*)
- **Pour limiter la quantité de poussières, il est toujours préférable de souder des pièces dégraissées et exemptes de revêtement aux abords du plan de joint. Mais cela peut être contraignant.**

(*) Note : MD = métal déposé

[Mertuk, G. et al, (2003) Evaluation de l'influence des huiles évanescents sur la soudabilité MAG – Influence sur le volume et la toxicité des poussières émises, CETIM 1J4120 / Institut de Soudure RT 39973]

Influence des revêtements

- **3 types de revêtements :**
 - Revêtements métalliques par dépôt électrolytique (exemple électrozinguage)
 - Revêtements métalliques par trempage à chaud (exemple galvanisation)
 - Revêtements non métalliques (exemple peinture).
- **Le soudage sur des tôles pré-peintes ou galvanisées conduit généralement à**
 - Augmenter le volume des fumées où le paramètre principal est l'épaisseur du dépôt
 - ➡ Augmentation du débit d'émission de 10 à 60%
 - En fonction de la teneur en zinc du dépôt, augmenter la teneur en Zinc dans les poussières – et devenir l'élément prépondérant devant le manganèse

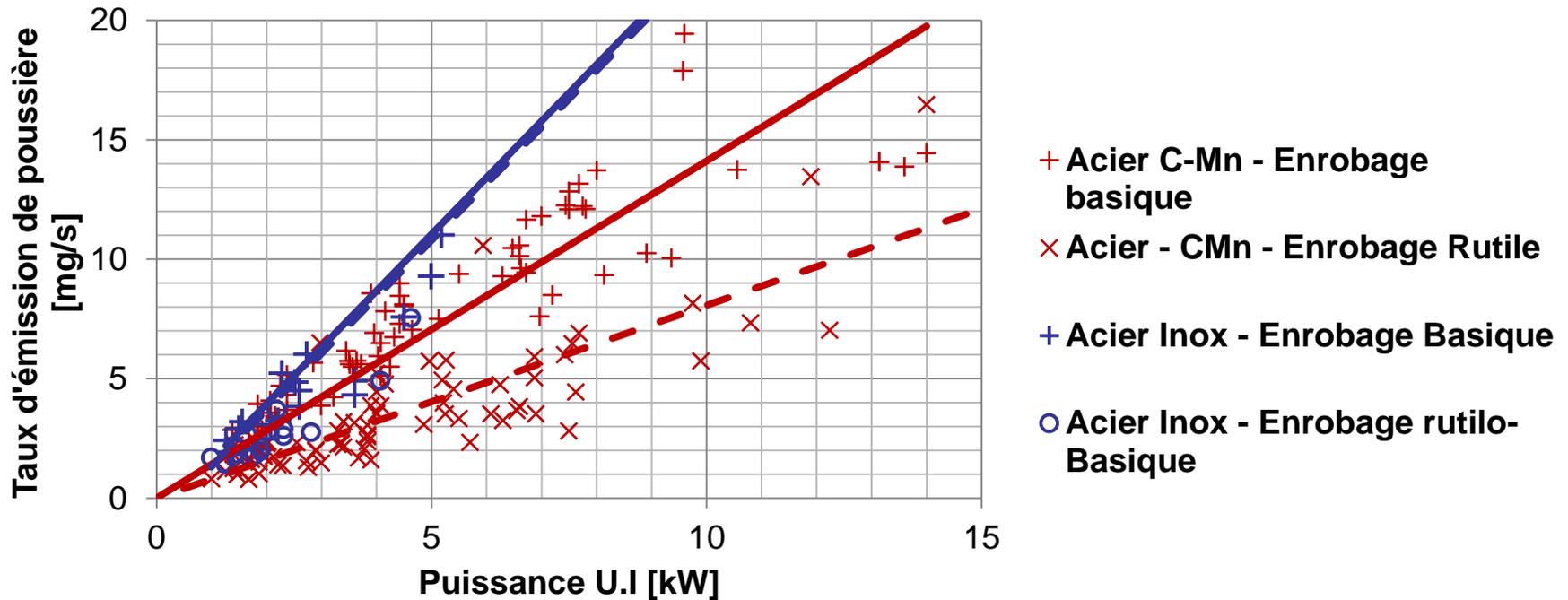


*Acier galvanisé par immersion
- La protection est brûlée par
l'opération de soudage.*

[Debiez S., (1994) Point sur l'utilisation des peintures primaires en construction soudée, CETIM 187460 / Institut de Soudure RT 29001]

Soudage à l'électrode enrobée

- Le taux d'émission de fumées est fonction des paramètres de soudage (intensité et tension) et donc du diamètre de l'électrode, mais aussi du type d'enrobage.

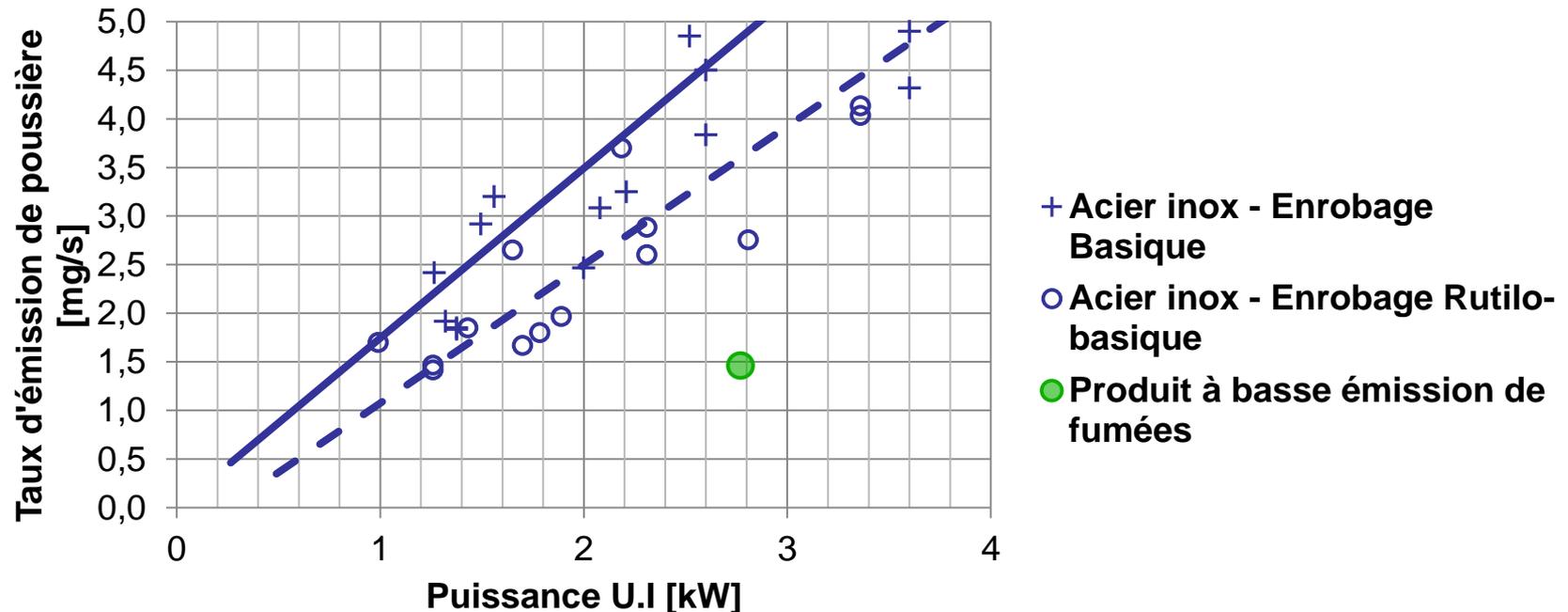


[Riedinger U. et al, (1978) Etudes des problèmes posés par l'émission de fumées au cours du soudage, à l'arc avec des électrodes enrobées, CETIM 12Y210/ Institut de Soudure RT 7989]

[Beaufils, D. et al, (1982) Etudes des problèmes posés par l'émission de fumées au cours du soudage, CETIM 12Y373 / Institut de Soudure RT 12485]

Soudage à l'électrode enrobée – Produits à basse émission de fumées

- Les produits à basse émission de fumées limitent fortement l'émission de poussières



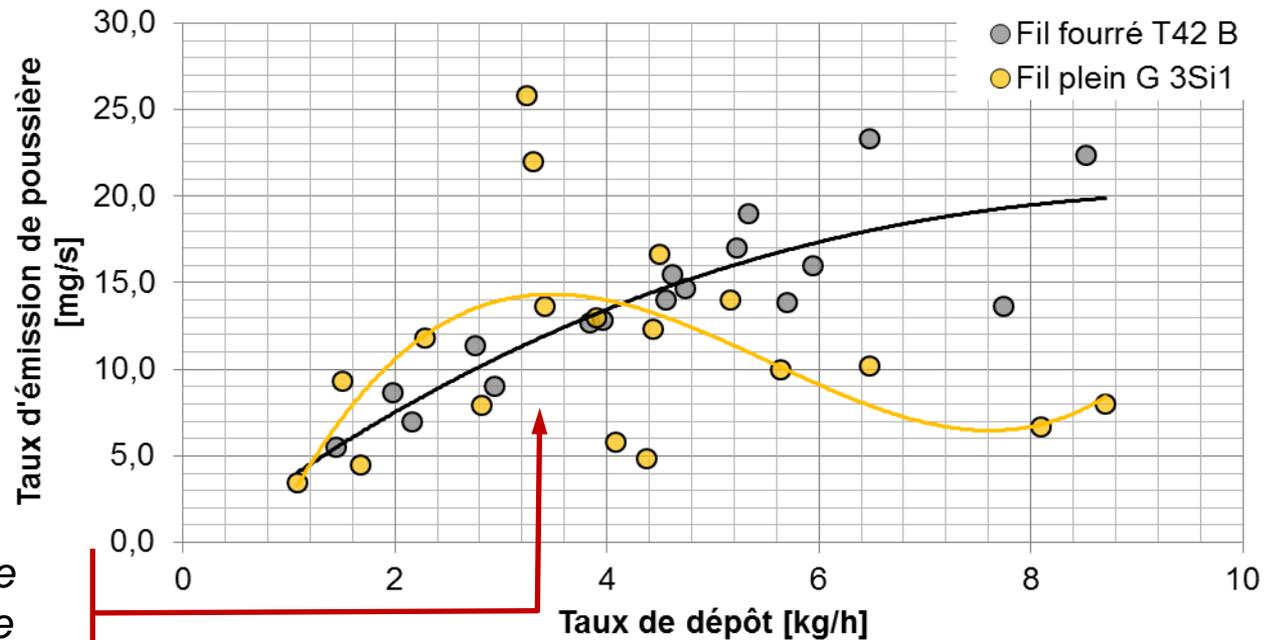
[Gutschmidt A. (2015) Mesure du taux d'émission de poussières et détermination de la VLE – produits usuels et à bas taux d'émission de fumées, CETIM 71103 / Institut de Soudure RT 3003-1RGII1-V1]

[Riedinger U. et al, (1978) Etudes des problèmes posés par l'émission de fumées au cours du soudage, à l'arc avec des électrodes enrobées, CETIM 12Y210/ Institut de Soudure RT 7989]

[Beaufils, D. et al, (1982) Etudes des problèmes posés par l'émission de fumées au cours du soudage, CETIM 12Y373 / Institut de Soudure RT 12485]

Soudage MAG – Fil plein ou fil fourré

- Les fils pleins présentent généralement une zone critique en régime globulaire – mais au-delà le taux d'émission de fumées diminue
- Avec les fils fourrés de flux, le taux d'émission évolue proportionnellement avec le taux de dépôt. Ce n'est pas le cas avec les fils fourrés de poudre métallique



Forte dispersion due au régime globulaire

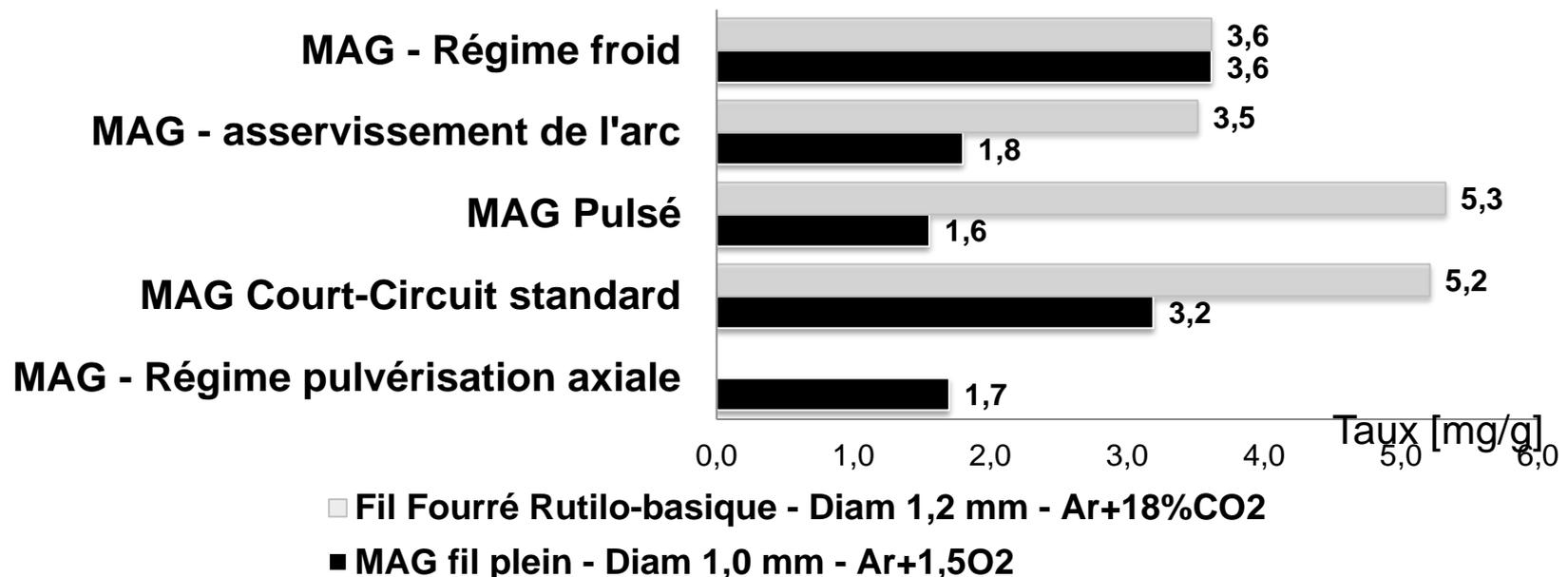
[Beaufils D., (1984) Etudes des problèmes posés par l'émission des fumées de soudage en procédés semi-automatiques MIG/MAG, CETIM 100010/ Institut de Soudure RT 15945]

Soudage MAG - Technologies de postes et modes de transfert

- L'asservissement de l'arc permet généralement de minimiser le taux d'émission de poussières par rapport au poids de métal déposé

- Paramètres de soudage :

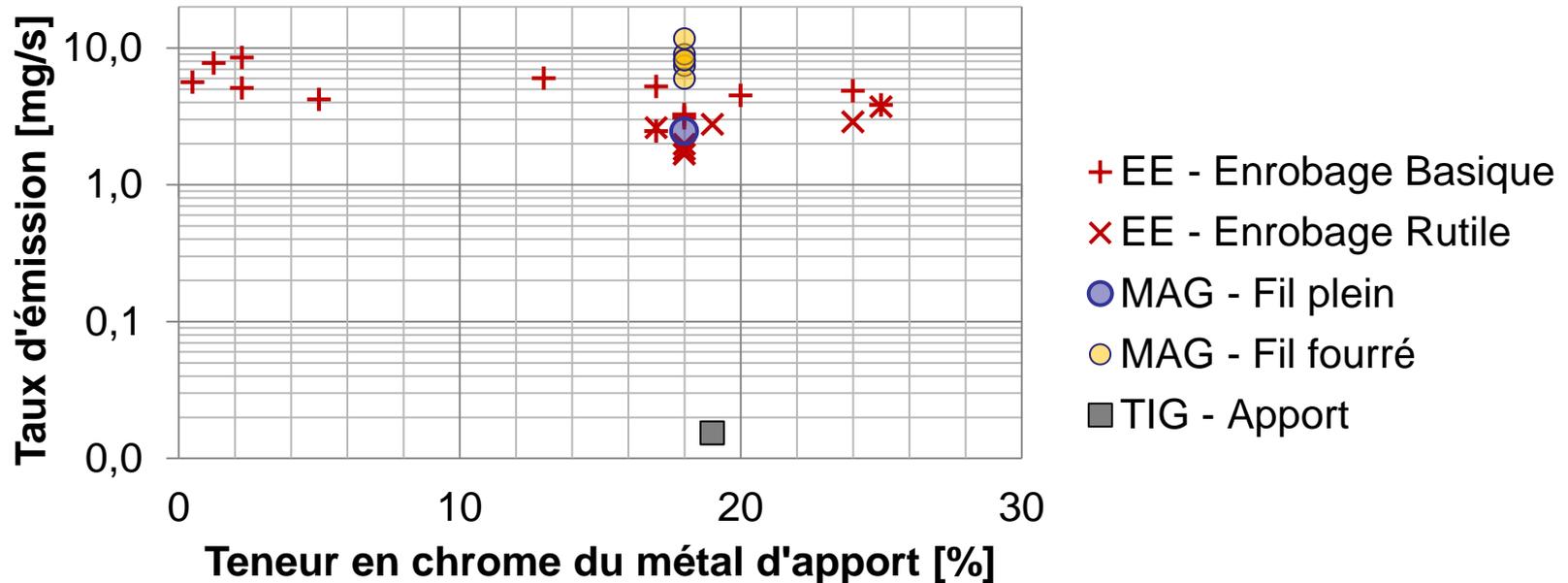
- ➔ Taux de dépôt visé : 2kg/h



[Rouly, G., (2013) Poussières émises lors du soudage à l'arc - influence du régime d'arc et de la nature de la protection gazeuse en soudage MIG/MAG, CETIM 027230 / Institut de Soudure RT 48801]

Teneur en chrome du produit d'apport et taux d'émission de poussières

- Il n'y a pas de relation entre le taux d'émission de poussières et la teneur en chrome du produit d'apport
- Le procédé et le mode de transfert sont les facteurs essentiels



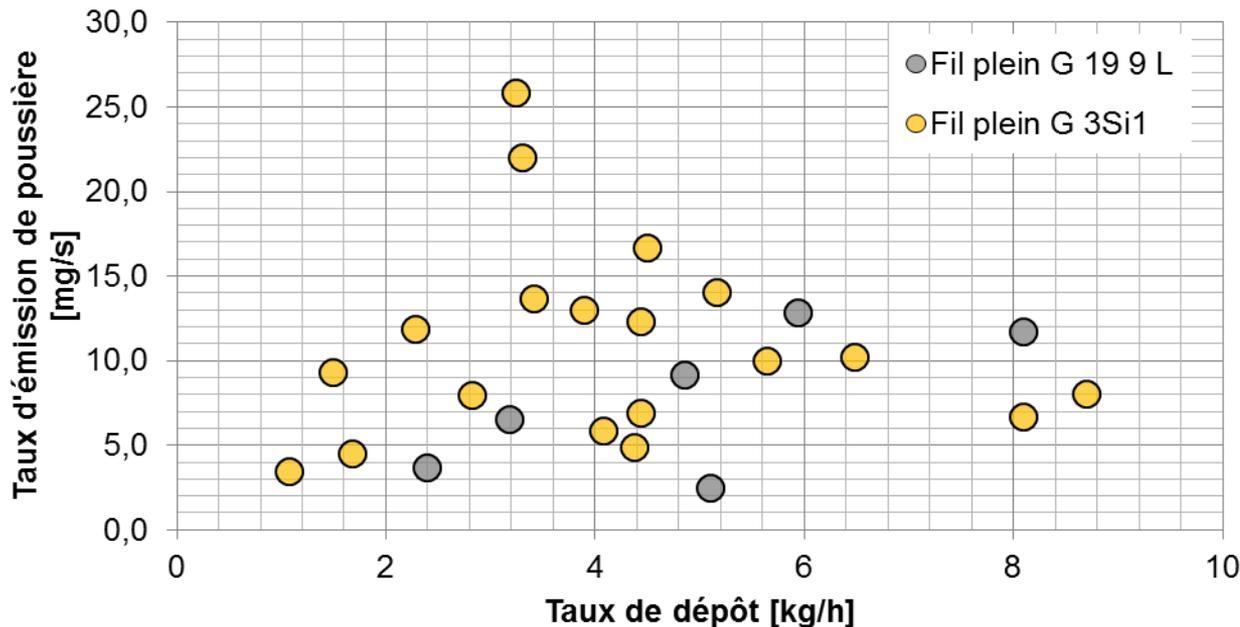
[Beaufils, D. et al, (1982) Etudes des problèmes posées par l'émission de fumées ..., CETIM 12Y373 / Institut de Soudure RT 12485]

[Maltrud F. et al., (2001) Comparaison technique entre fil fourré et fil plein en acier inox, CETIM 1D1870 / Institut de Soudure RT 33529]

[Gutschmidt A. (2015) Mesure du taux d'émission de poussières et ..., CETIM 71103 / Institut de Soudure RT 3003-1RGII1-V1]

Soudage MAG avec fil massif – Influence du produit

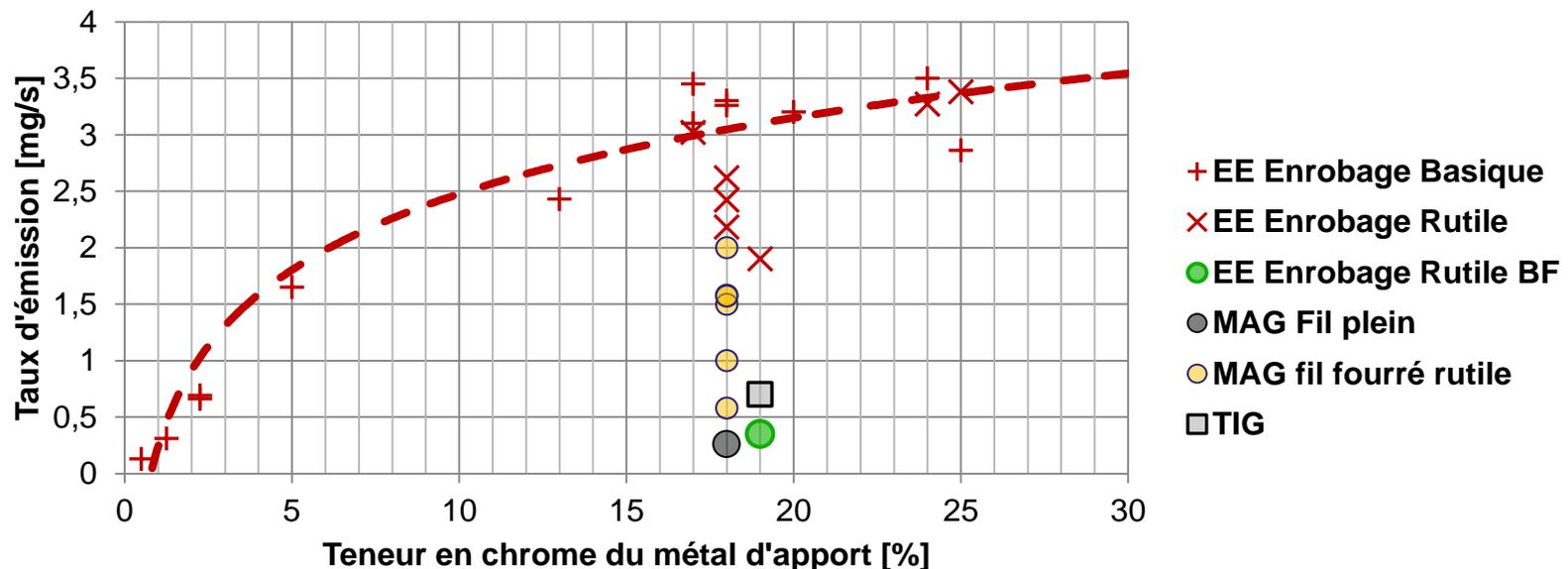
- **La nuance de produit d'apport en fil plein (qu'il s'agisse d'un acier C-Mn ou d'un Acier inoxydable) n'a pas une réelle influence sur le taux d'émission**



[Beaufile D., (1984) Etudes des problèmes posés par l'émission des fumées de soudage en procédés semi-automatiques MIG/MAG, CETIM 100010/ Institut de Soudure RT 15945]

Teneur en chrome du produit d'apport et teneur en Cr^{VI} dans les fumées

- La teneur en chrome dans le produit d'apport a une influence importante sur la teneur en Cr^{VI} dans les fumées de soudage
- Cependant, le type de produit et le procédé sont encore plus importants



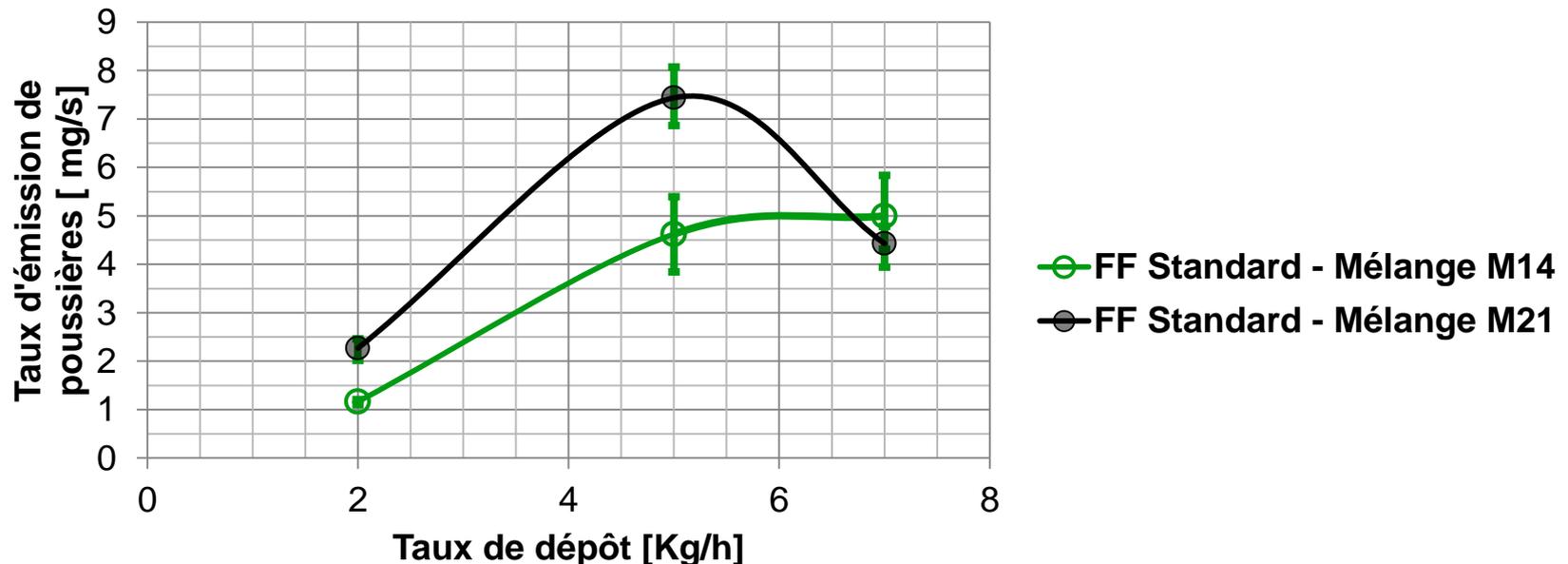
[Beaufils, D. et al, (1982) Etudes des problèmes posées par l'émission de fumées ..., CETIM 12Y373 / Institut de Soudure RT 12485]

[Maltrud F. et al., (2001) Comparaison technique entre fil fourré et fil plein en acier inox, CETIM 1D1870 / Institut de Soudure RT 33529]

[Gutschmidt A. (2015) Mesure du taux d'émission de poussières et ... CETIM 71103 / Institut de Soudure RT 3003-1RGI11-V1]

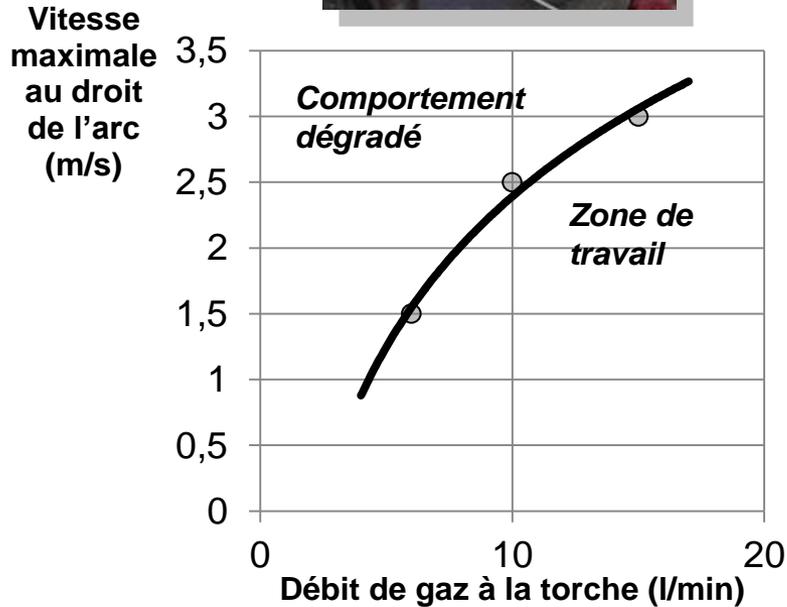
Soudage MAG – Influence du gaz de protection

- Le gaz de protection peut aider à stabiliser l'arc et réduire l'émission de poussière
 - Fil fourré C-Mn de poudre métallique diamètre 1,2 mm
 - Mélange gazeux :
 - M21 : 82% Ar+18% CO₂
 - M14 : 96% Ar+ 1% O₂ + 3% CO₂
- En fonction de la nature du fil les résultats peuvent différer



[Gutschmidt A. (2015) Mesure du taux d'émission de poussières et détermination de la VLE – produits usuels et à bas taux d'émission de fumées, CETIM 71103 / Institut de Soudure RT 3003-1RGII1-V1]

Fumées en soudage TIG sur acier inoxydable - Aspiration



- **Au-delà d'une vitesse critique d'aspiration :**
 - l'électrode se dégrade
 - apparition de soufflures
 - changement de coloration du cordon.
 - il n'y a pas une transition progressive mais un passage rapide d'un cordon acceptable à un cordon non acceptable.
- **La vitesse maximale au niveau de la torche de soudage**
 - dépend du débit de gaz à la torche
 - Ne dépend pas de l'intensité

[F. Maltrud (2008), Etudes des conséquences techniques de l'utilisation d'un dispositif ..., Cetim 140308, Institut de Soudure RT]

Cas particulier – Soudage TIG sur alliage d'aluminium



- **Le procédé TIG est peu émissif en particules solides**
 - Le taux d'émission de poussières est de 0,15 mg/s
- **Composition chimique des poussières**
 - 34% d'aluminium : VMEi15 mg/m³
 - 25% de tungstène (soudage en courant alternatif)
- **Gaz émis :**
 - La concentration en ozone varie beaucoup.
 - l'arc produit du monoxyde d'azote qui réagit avec l'ozone pour produire du dioxyde d'azote.
 - Sans aspiration, le facteur de marche devrait être inférieur à 75% sur 8 heures.

[Rouly G. (2009), Etude sur l'émission des fumées en soudage TIG sur alliages d'aluminium, CETIM 023921 / Institut de Soudure RT n° 46776]

Positionnement des procédés de soudage vis-à-vis des fumées

	Force	Faiblesse
Electrode Enrobée (111)	<ul style="list-style-type: none">• Quelques produits à basse émission de fumées sont maintenant disponibles à 0,5 mg/kJ (Rutile inox)	<ul style="list-style-type: none">• Taux d'émission de fumées important de 0,7 mg/kJ (Rutile C-Mn) à 1,8 mg/kJ (Basique Inox)• Impossible d'aspirer à la source• Les produits à basse émission sont peu répandus
MIG-MAG avec fil massif (131 - 135)	<ul style="list-style-type: none">• Electronique de commande permettant la stabilisation de l'arc• Mélanges gazeux moins émissifs• Possibilité d'aspirer à la source	<ul style="list-style-type: none">• Régime globulaire génère un débit d'émission important (jusqu'à 15 mg/g)
MIG-MAG avec fil fourré (136)	<ul style="list-style-type: none">• Développement de fils moins émissifs• Possibilité d'aspirer à la source	<ul style="list-style-type: none">• En fonction du flux, le taux d'émission peut être élevé à haute intensité de soudage
TIG(141)	<ul style="list-style-type: none">• Volume totale de poussières extrêmement réduit : 100 à 500 fois moins que les autres procédés	<ul style="list-style-type: none">• Emission potentielle d'ozone• Vitesse d'aspiration au droit de la torche pouvant générer des défauts

En résumé

- **Il existe des possibilités pour réduire les émissions à la source, mais il existe aussi des impossibilités techniques à substituer un procédé, un produit d'apport, un gaz de soudage par un autre.**
- **Chaque cas doit donc être étudié en prenant en compte tous les aspects**
 - la prévention du travailleur
 - la typologie des produits à souder
 - les impositions des cahiers des charges (généralement liés à la qualité finale de l'assemblage)