

35^{èmes} JOURNÉES NATIONALES DE SANTÉ AU TRAVAIL DANS LE BTP

un
nouveau
souffle
dans le
BTP

LES PARTICULES FINES

du 22 au 24
MAI 2019

METZ

Centre des Congrès
Robert Schuman

Fumées de soudage :
origine, composition
chimique et cas
particulier du Cr^{VI}

Fabrice Scandella, Institut de Soudure

SIST
Service Interentreprises
de Santé au Travail
BTP
Lorraine

GNMST BTP
GROUPEMENT NATIONAL MULTIDISCIPLINAIRE
DE SANTÉ AU TRAVAIL DANS LE BTP

Sommaire

1. Introduction

Les procédés de soudage par fusion
Les produits d'apport disponibles sur le marché

2. Origine et composition des fumées de soudage

L'origine des fumées
La composition des fumées
Qui est concerné ?

3. Réduction de l'exposition

4. Le cas du chrome hexavalent

5. Ce qu'il faut retenir

1. Introduction : Les procédés de soudage par fusion

Les procédés de soudage sont très nombreux (il y en a des dizaines), avec :

- Des procédés de soudage à l'état solide qui ne génèrent **pas de fumées**
- Des procédés entièrement automatisés ou robotisés qui **peuvent éviter d'exposer** les travailleurs aux fumées

...mais surtout des procédés de soudage par fusion qui génèrent des fumées et que l'on ne peut automatiser ou robotiser car les applications industrielles ne s'y prêtent pas !

On s'intéresse ici aux procédés de soudage « classiques » à l'électrode enrobée, MIG-MAG et TIG en version manuelle.

Exemple de procédé de soudage à l'état solide et robotisé (soudage par friction-malaxage) : pas de fumées de soudage, mais à quelques exceptions près, uniquement adapté au soudage de l'aluminium, principalement dans le secteur aérospatial.

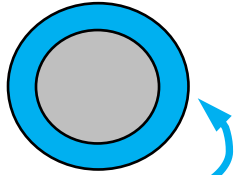
1. Introduction : Les procédés de soudage par fusion

			
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	Avec ou sans baguette
Protection du bain	Laitier	Gaz ou laitier	Gaz
Nom commun	« <i>Baguette</i> », « <i>Arc</i> »	« <i>Semi</i> », « <i>Semi-auto</i> »	TIG

- Le domaine du soudage est extrêmement codifié, ce qui n'empêche pas certaines dérives de terminologie...
- On peut noter la particularité du procédé TIG : l'arc électrique et le produit d'apport sont dissociés

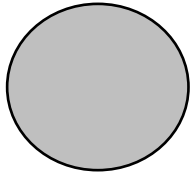
1. Introduction : Les produits d'apport disponibles sur le marché

Electrode enrobée

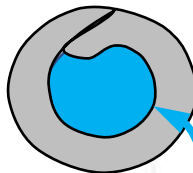


Enrobage





Fil massif



Fil fourré



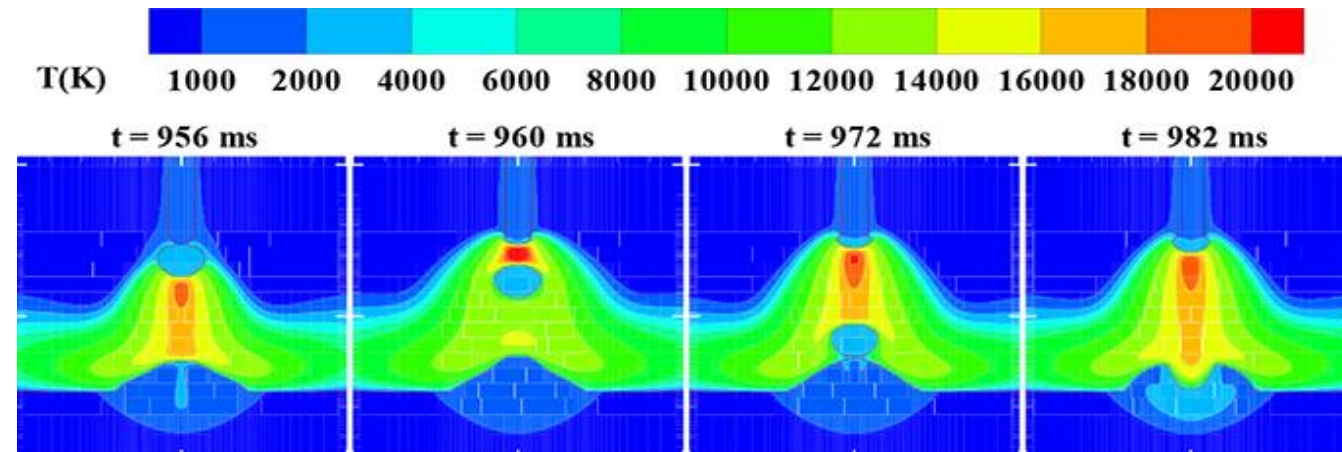
Fourrage

	En soudage à l'arc à l'électrode enrobée	En soudage MIG-MAG	En soudage TIG
	 <p>1. Electrode enrobée (massive) avec enrobage</p> <ul style="list-style-type: none"> 1.1 Rutile 1.2 Basique 1.3 Rutilo-basique 1.4 Cellulosique 	 <p>1. Fil massif 2. Fil fourré avec fourrage</p> <ul style="list-style-type: none"> 2.1 Rutile 2.2 Basique 2.3 Rutilo-basique 2.4 Métallique 	 <p>1. Baguette (massive)</p>  <p>2. Fil massif</p>

- Il existe différents types de produits d'apport pour chaque procédé de soudage et de bonnes raisons pour en choisir un plutôt qu'un autre
- Le taux d'émission de fumées peut varier fortement en fonction du produit d'apport mis en œuvre !

2. Origine et composition des fumées de soudage : l'origine des fumées

- En soudage par fusion, on atteint des températures extrêmement élevées, bien au-delà du point de fusion des matériaux que l'on soude.
- On opère donc des réactions chimiques ou physiques qui vont générer **des poussières et des gaz**.



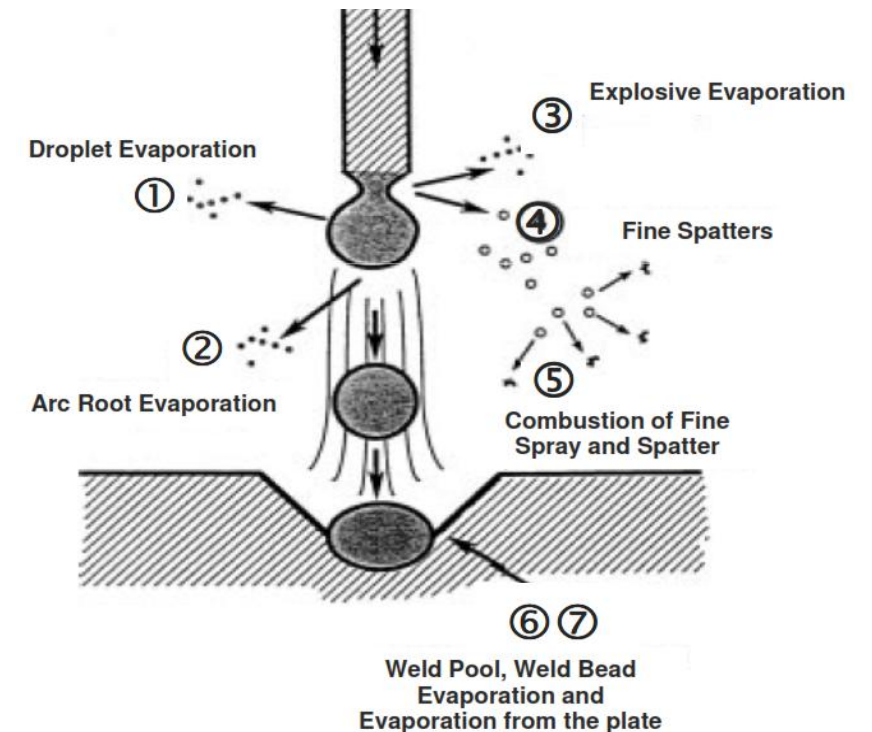
J. Hu, Z. Rao and H.-L. Tsai, « A Comprehensive Model of the Transport Phenomena in Gas Metal Arc Welding », <http://www.intechopen.com/books/joining-technologies/a-comprehensive-model-of-the-transport-phenomena-in-gas-metal-arc-welding>

Les fumées proviennent essentiellement :

- Du produit d'apport (environ 95% de la quantité totale de fumée !)
- Des revêtements éventuellement présents à la surface des pièces à souder
- Des pollutions à la surface des pièces (rouille, huile...) s'il y en a beaucoup
- ... et très minoritairement des matériaux de base.

2. Origine et composition des fumées de soudage : l'origine des fumées

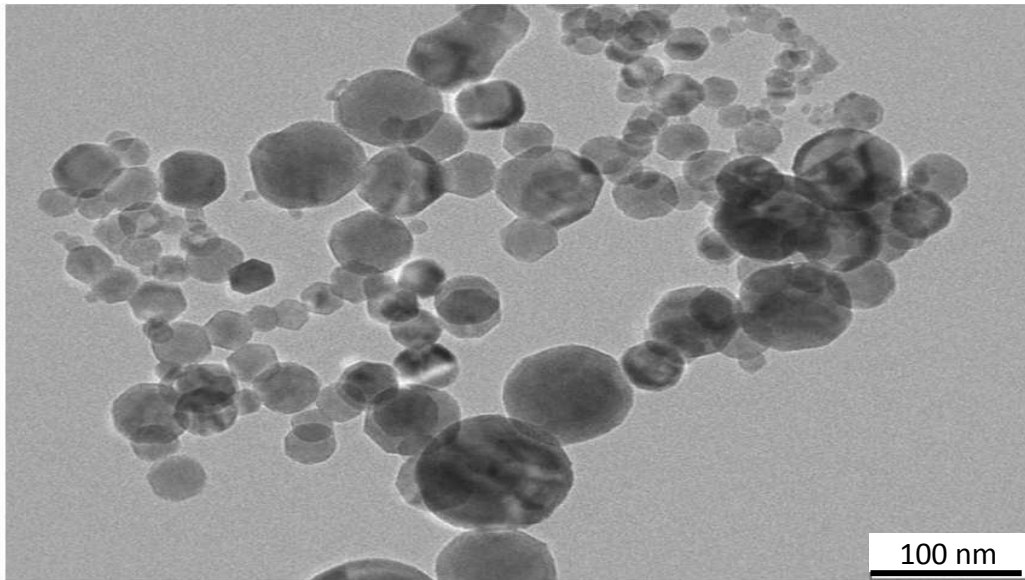
Les mécanismes de formation des fumées de soudage impliquent de la vaporisation, de l'oxydation et de la condensation. Plus il y a de projections et plus il y a de fumée.



Issu d'une présentation de **Nicolas Floros**, Air Liquide, « Fumées de soudage : nature, taux d'émission, toxicité » Journée Technique IS « Hygiène et sécurité en soudage », 19 Juin 2014, <http://www.isgroupe.com/fr/espace-membres/>

2. Origine et composition des fumées de soudage : la composition des fumées

- Les fumées de soudage sont des agglomérats de particules fines (100 nm et moins).
- Du point de vue de l'hygiène/sécurité, les particules ultrafines de 100 nm et moins, ainsi que les agglomérats de taille supérieure à 100 nm constitués de nanomatériaux sont considérés comme des nanomatériaux.



- Les fumées de soudage sont donc classées dans la famille des **nanomatériaux**.
- Le CIRC a revu sa classification des fumées de soudage en mars 2017 en faisant passer de la catégorie 2B (cancérogène possible chez l'homme) à la **catégorie 1 (cancérogène)** les fumées de soudage quelle que soit leur composition. Avant cette date, seuls les produits d'apport générant du Cr^{VI} étaient concernés par la catégorie 1.

Issu d'une présentation de **Nicolas Floros**, Air Liquide, « Hygiène et sécurité en soudage – Champs électromagnétiques - Fumées de soudage », Journée Technique IS « Technologies de soudage à l'arc », 4 Décembre 2013, <http://www.isgroupe.com/fr/espace-membres/>

2. Origine et composition des fumées de soudage : la composition des fumées

On forme :

- Des oxydes complexes (de type spinelles) : $\text{Fe}_{3-x}\text{M}_x\text{O}_4$ avec $\text{M} = \text{Ca}, \text{Ti}, \text{Ni}, \text{Mn}, \text{Cr}, \text{Cu}, \text{etc.}$
- De la silice amorphe ou des silicates amorphes
- Des fluorures s'il y a des composés fluorés (ex. CaF_2) dans les produits d'apport

On ne forme pas « d'oxydes simples » (tels que MnO , FeO , Fe_2O_3 , etc.) sauf dans quelques cas particuliers.

A noter : les **VLE (Valeurs Limites d'Exposition)** sont généralement fixées pour des éléments chimiques et non des composés...

2. Origine et composition des fumées de soudage : qui est concerné ?

Les soudeur, bien sûr, mais pas qu'eux : toute personne circulant dans une zone de travail où il y a émission de fumées de soudage est concernée :

- Cela signifie que même si l'on protège efficacement les soudeurs, on ne respecte pas forcément la réglementation
- A titre d'exemple, automatiser ou robotiser les opérations de soudage permet d'éloigner le personnel de la source d'émission de fumées...

... mais si l'on ne peut pas aspirer les fumées correctement, on rejette les polluants dans tout l'atelier !



Exemple d'installation robotique de grande dimensions, document Karl Cloos Schweisstechnik.

3. Réduction de l'exposition

Si l'on reprend l'ordre donné par les règles générales de prévention du risque chimique :

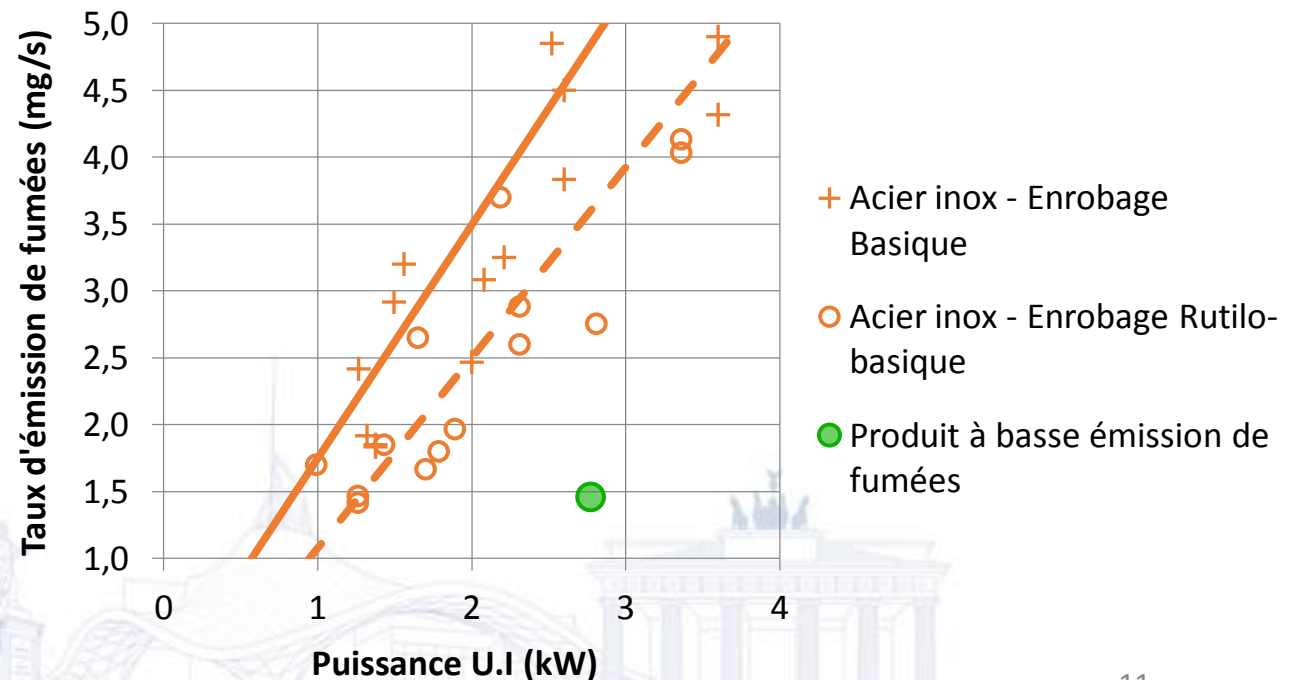
1. Changer de procédé de soudage (utiliser un procédé moins émissif)

Changer de procédé de soudage est souvent difficile car suivant le domaine d'application, certains procédés sont qualifiés et d'autres non. En soudage à l'arc électrique, le procédé TIG est le moins émissif... et le moins productif.

2. Privilégier des produits d'apport moins émissifs

Il y a des produits d'apport dits « à basse émission de fumées » (substituts d'électrodes enrobées et de fils fourrés conventionnels), mais aucun produit moins émissif pour remplacer les fils massifs ou les baguettes.

L'intérêt principal de ces produits est leur mise en œuvre pour souder des aciers inoxydables et des alliages base Ni-Cr (réduction du Cr^{VI})

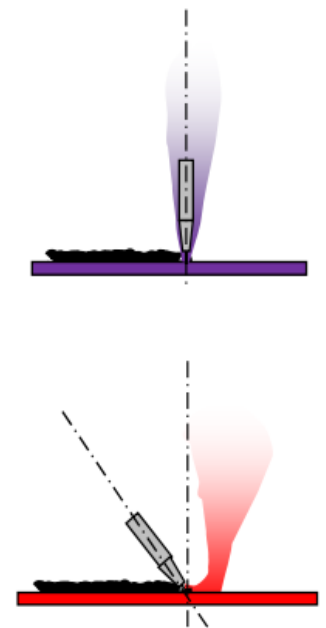
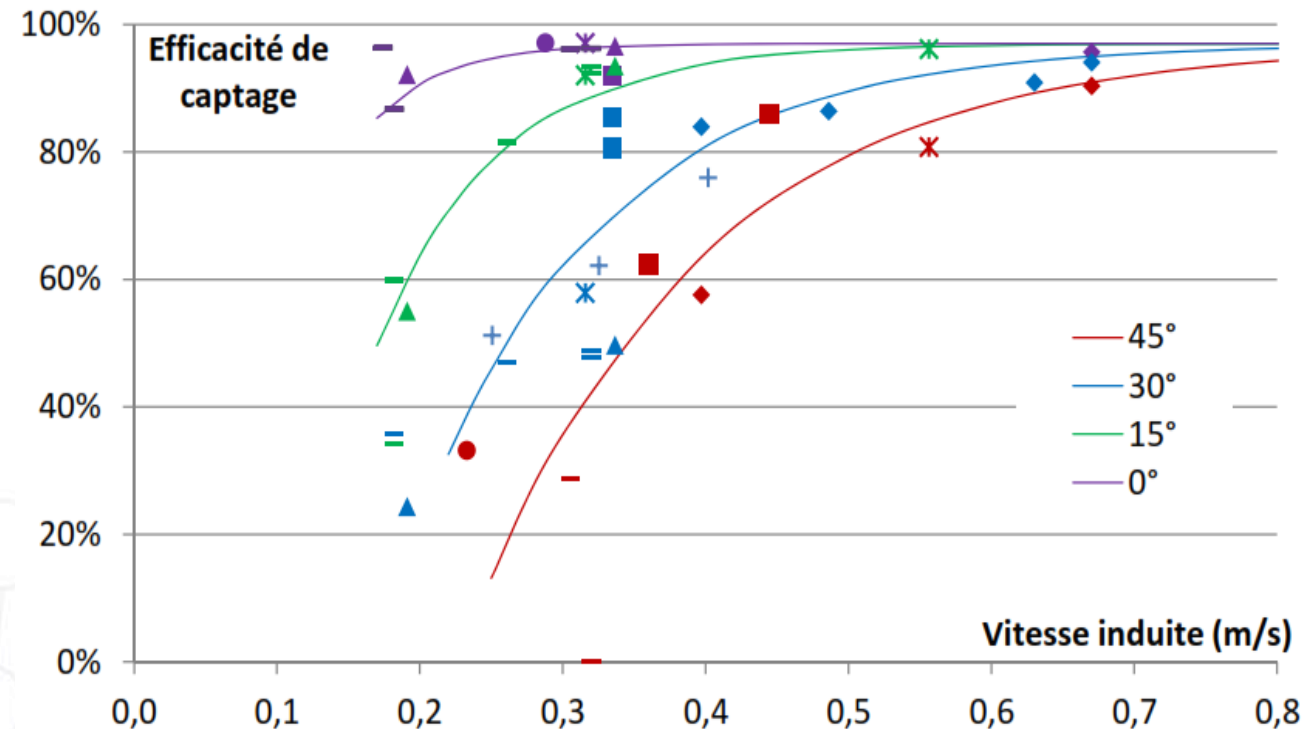


3. Réduction de l'exposition

3. Captage à la source des polluants

Le dossierets, gabarits aspirants ou encore les torches aspirantes sont de très bonnes solutions techniques, mais qui ne sont pas efficaces à 100%.

Effet de l'inclinaison de la torche sur l'efficacité de captage des fumées. En soudage MIG-MAG manuel, on est proche de 30°



3. Réduction de l'exposition

4. La ventilation générale

En complément des autres solutions, elle permet de réduire l'exposition par dilution des polluants... quand elle est bien conçue !

5. Traitement de l'air extrait

Attention, le recyclage de l'air est à proscrire dans le cas d'un atelier où l'on soude.

6. EPI

C'est entre-autres la solution incontournable pour le soudage en milieu confiné



Quantité de poussières divisée par :

2,5

200

4. Le cas du chrome hexavalent

- La VLEP 8h du Cr^{VI} est passé de **0,05 mg/m³** à **0,001 mg/m³** le 1^{er} juillet 2014
- La VLEP court terme (< 15 min) est de 0,005 mg/m³

Les situations sont à **évaluer au cas par cas, mais de manière générale**, pour le soudage ou le rechargement avec des produit d'apport en acier inoxydable ou base Ni-Cr, **des mesures de protection complémentaires sont à mettre en place sur les postes de travail :**

Procédé mis en œuvre	Impact de la VLEP du Cr ^{VI} sur le poste de travail
TIG	En général, aucune
MAG avec fil massif	Les dispositifs d'aspiration au plus près de la source d'émission des fumées doivent être efficaces
MAG avec fil fourré de flux	Protection supplémentaire : torche aspirante et/ou cagoule à adduction d'air
Electrode enrobée	Protection supplémentaire : cagoule à adduction d'air

A noter :

- On s'intéresse ici au Cr^{VI} car sa VLEP est la plus contraignante, mais la question se pose pour d'autres composés chimiques.
- Les VLEP du Ni et du Mn pourraient baisser à moyen terme.

4. Le cas du chrome hexavalent

Dans un atelier, les mesures de protection au poste de travail des soudeurs sont souvent insuffisantes :

- Le captage au plus près de la source d'émission des fumées n'est jamais efficace à 100%
- Les EPI (cagoule à adduction d'air, etc.) ne sont pas portés en permanence
- Il faut protéger tous les salariés évoluant dans l'atelier
- Il faut renouveler l'air dans l'atelier pour ramener la concentration en polluants sous leurs valeurs limites d'exposition.

Dans ces conditions, une ventilation générale est indispensable, mais **quel est le débit d'aspiration nécessaire vis-à-vis de la VLEP du Cr^{VI} ?**

On peut l'estimer avec la formule suivante : $Q = k \frac{f(1-n)rq}{c}$

- Avec :
- Q = débit d'aspiration, m³/h
 - k = facteur décrivant la ségrégation de la pollution dans l'atelier (0,3 < k < 3)
 - f = fraction de Cr^{VI} dans les fumées
 - n = efficacité de captage du dispositif d'aspiration (torche aspirante, dossier...)
 - r = taux d'émission de fumées pour une quantité de produit d'apport, mg/kg
 - q = quantité de produit d'apport déposée par unité de temps, kg/h
 - c = concentration ciblée de Cr^{VI}, mg/m³

Issu de la présentation de **Francis Bonthoux**, INRS, « *Ventilation générale complémentaire au captage à la source* », JT INRS, <http://www.inrs.fr/footer/actes-evenements/journee-fumees-soudage-2015.html>

4. Le cas du chrome hexavalent

Ventilation générale : avec la VLEP Cr^{VI} en vigueur, les débits d'aspiration sont irréalistes !

Variable	MAG avec fil massif	MAG avec fil fourré de flux	Electrode enrobée
Facteur de ségrégation de la fumée (k)	3 (situation réelle en atelier)		
Fraction de Cr ^{VI} dans les fumées (f)	0,5 %	2 %	4 %
Efficacité de captage du dispositif d'aspiration (n)	60 % (torche aspirante)	60 % (torche aspirante)	50 % (bras aspirant)
Taux d'émission de fumées (r), mg/kg	6 000	15 000	20 000
Quantité de produit d'apport déposée par heure q, kg/h	1,875 (cela correspond à 15 kg déposés en 8h)		
Concentration ciblée de Cr ^{VI} (c), mg/m ³	0,0001 (VLEP 8h/10, valeur utilisée pour le diagnostic initial de non-dépassement)		
Débit d'aspiration nécessaire (Q), m ³ /h	675 000	6 750 000	22 500 000

A noter : La plupart des valeurs utilisées pour les calculs sont issues de la littérature et ne sont en aucun cas universelles. En particulier, la fraction de Cr^{VI} dans les fumées et le taux d'émission de fumées dépendent de la composition chimique des produits et des paramètres de soudage.

5. Ce qu'il faut retenir

- Le sujet des fumées de soudage est très complexe
- En soudage à l'arc, le risque de **dépassement de la VLEP** est particulièrement élevé si l'on soude des aciers inoxydables ou des alliages base Ni-Cr, sauf si l'on utilise exclusivement le procédé TIG (et/ou le procédé sous flux en poudre)
- **Il n'y a pas de solution universelle** à toutes les situations rencontrées : chaque cas doit donc être étudié en prenant en compte tous les aspects
 - La protection des travailleurs
 - La typologie des produits à souder
 - Les impositions des cahiers des charges et des codes de construction
- **Il y a diverses solutions** de réduction de l'exposition aux fumées de soudage et dans la plupart des cas, il faut en combiner au moins deux
- Même si leur efficacité est variable suivant les situations, il faut promouvoir l'utilisation des **torches aspirantes** en soudage MIG-MAG
- Du côté des EPI, il y a des **solutions très efficaces** sur le marché. Dans bien des cas, les EPI sont indispensables pour respecter la réglementation.

Merci pour votre attention

Avez-vous des questions ?

Fabrice Scandella

Institut de Soudure

4 boulevard Henri Becquerel
57970 Yutz

e-mail : f.scandella@isgroupe.com

