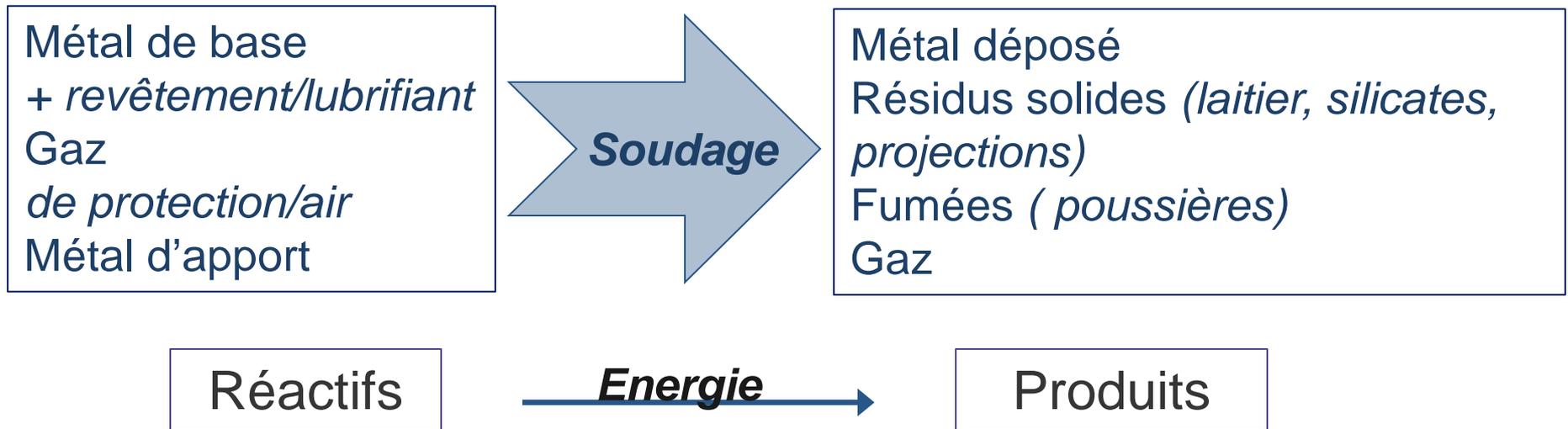




# Origines et composition physico-chimique des fumées de soudage à l'arc

Journée technique INRS « Expositions professionnelles aux fumées de soudage »  
16-06-2015  
N. Floros | R&D

# Introduction



## ■ Les *produits* formés dépendent des *réactifs*

- Si des éléments chimiques ne sont pas présents dans les réactifs, on ne les retrouve pas dans les produits

## ■ Les *produits* formés peuvent être de nature différente de celle des *réactifs*

- Des réactions chimiques ont lieu lors du soudage et de nouveaux composés se forment dans les fumées de soudage



# Gaz inorganiques

- Gaz inorganiques : **O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, CO**
- **CO** généré par la dissociation du CO<sub>2</sub> dans l'arc électrique  
*Formation dans/proche de l'arc*
- **NO** et **NO<sub>2</sub>** sont générés par la décomposition puis la recombinaison de N<sub>2</sub> et O<sub>2</sub>  
*Formation dans/proche de l'arc*
- **O<sub>3</sub>** est généré par l'action des rayonnements ultraviolets (180-240nm) produits par l'arc électrique sur O<sub>2</sub>  
*Formation dans/proche de l'arc et à ~1m de l'arc si les rayonnements UV ne sont pas bloqués*

	Acier		Aluminium		VME (8h) France
	MIG/MAG	TIG	MIG	TIG	
<b>O<sub>3</sub> (ppm)</b>	0.1-1	0.05-0.5	0.3-5	0.1-2	0.1
<b>NO (ppm)</b>	0.1-1	0.1-0.5	0.5-10	1-20	25
<b>NO<sub>2</sub> (ppm)</b>	0.1-3	0.1-2	0.2-3	1-10	3*(VLCT)
<b>CO (ppm)</b>	50-200	<50	<<50	<<50	50



# Exposition et Taux d'émission de fumées

**Mesures au poste  
de travail**

Exposition réelle aux fumées de soudage  
**(mg/m<sup>3</sup>)**  
À confronter aux Valeurs Limites d'Exposition  
pour les fumées ET pour chaque élément



Quantité de fumées  
émises

Taux d'émission  
**(mg/s)**

Éléments chimiques  
présents

Concentration des éléments  
majoritaires et/ou toxiques  
**(% massique)**

Analyse des  
gaz émis

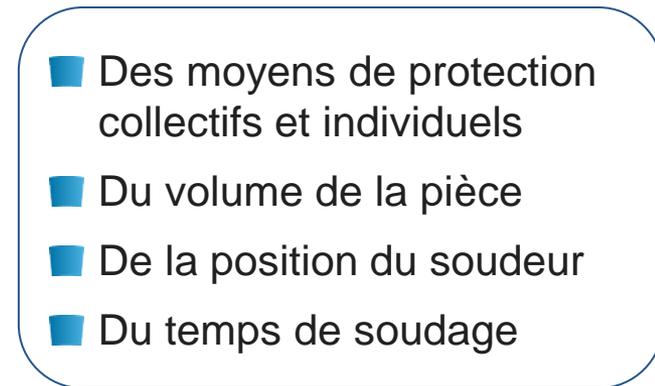
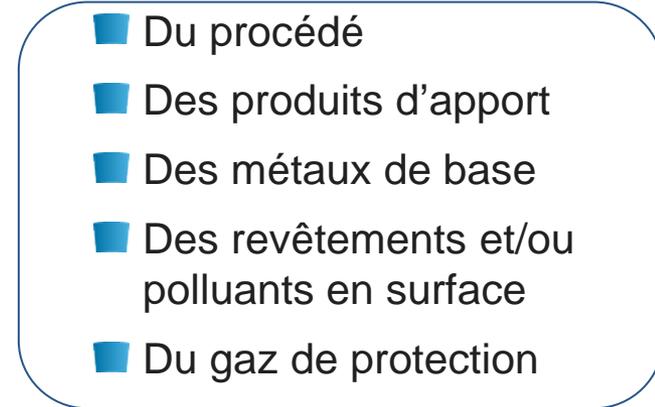
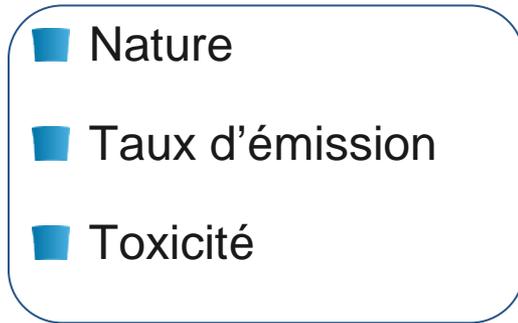
**(ml/mn) ou ppm**

**Essais Laboratoire  
NF EN ISO 15011  
Part 1 à 5**

Informations sur la  
toxicité des fumées

■ Autres unités parfois employées  $g_{\text{fumées}}/\text{kg}$  métal déposé ou  $\text{mg}_{\text{fumées}}/\text{kJ}$

# Toxicité & Exposition



**Chaque cas doit être étudié spécifiquement**

# Nature & Quantité des fumées de soudage

- **Nature des fumées** : éléments chimiques et composés formés
- **Quantité produite** : masse par unité de temps (mg/s ou mg/mn)

	Revêtement/ lubrifiant	Métal d'apport	Gaz de protection/Air	Régime de soudage	Paramètres de soudage
<b>Nature</b>	X	X			
<b>Quantité</b>	X	X	X	X	X



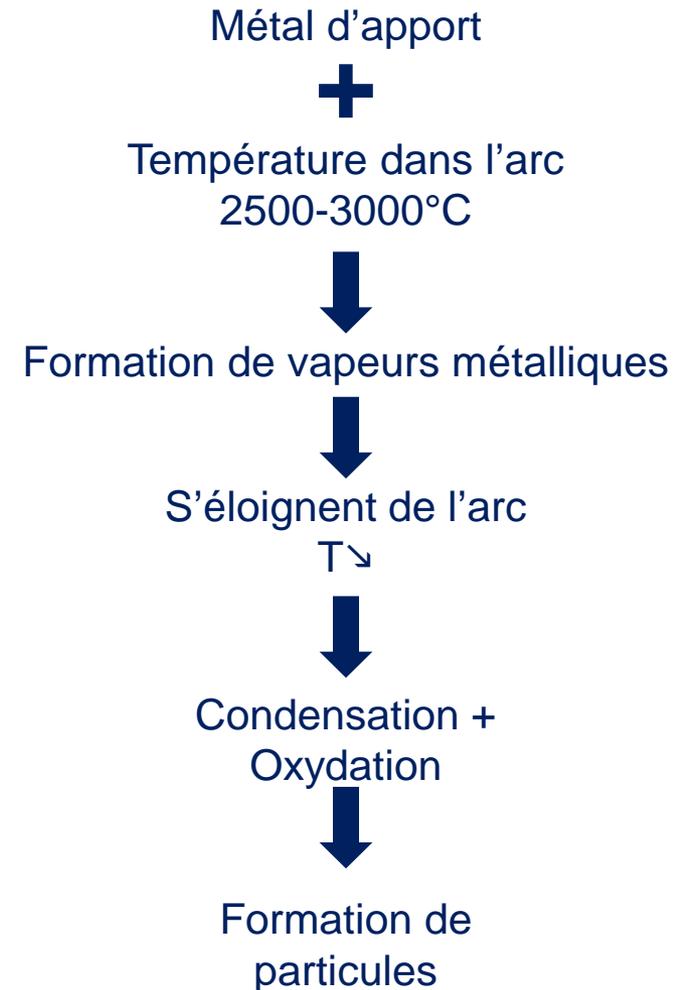
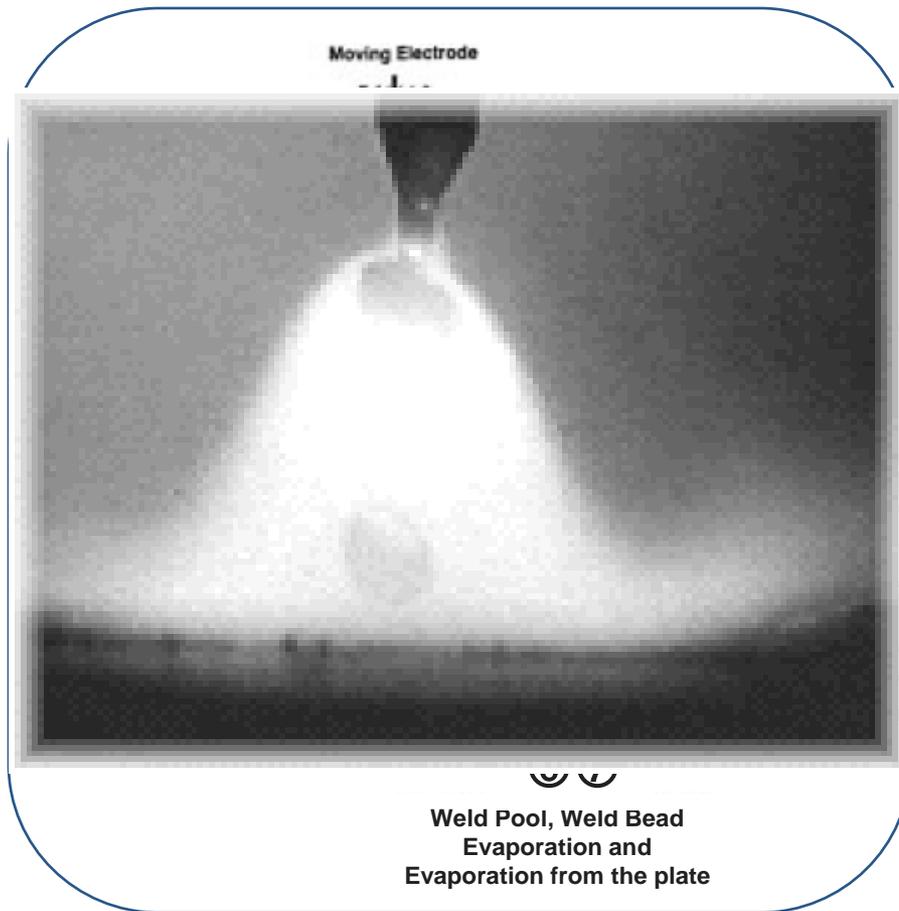
# Revêtement/Lubrifiant

- Composés organiques en surface du métal de base (peinture, huile, polymère etc...)
  - ➔ Formation de composés organiques gazeux : Toluène, Benzène, Phosphine...  
*généralement non mesurés*
- Revêtements métalliques et composés inorganiques (charges minérales dans les peintures, rouille)
  - ➔ Les éléments présents vont se retrouver dans les fumées
- *Ex : tôle galvanisée: Quantité de fumées ↗ ~30-60%  
formation de ZnO (fièvre des soudeurs)*

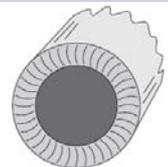
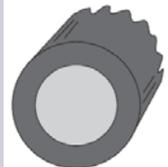
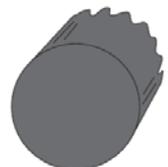


# Métaux d'apport

- En absence de revêtement ou pollution sur le métal de base, ~90% des fumées sont générées par le métal d'apport



# Taux d'émissions de fumées /métal d'apport

Consommable	Métal	TEF (g/mn) <i>valeurs types</i>
 Électrode SMAW (Flux à l'extérieur)	Aciers non alliés & faiblement alliés	0,3-0,8
	Aciers inoxydables	0,2-0,4
 Électrode FCAW (Flux à l'intérieur)	Aciers non alliés & faiblement alliés	0,5-3,5
	Aciers inoxydables	0,5-2,5
 Electrode GMAW (Aucun flux)	Aciers non alliés & faiblement alliés	0,3-0,5
	Aciers inoxydables	0,1-0,5
	Aluminium	0,1-2
	Aciers inoxydables TIG	<0.001
	Aluminium TIG	0.001-0.005



# Composés des fumées de soudage

Élément	Composés majeurs présents dans les fumées de soudage	Type de fumée
Si	Silice amorphe et/ou silicates amorphes	Toutes les fumées
Fe <i>M</i> = Mn, Ni, Cu, Cr III	Oxydes de type spinelle $Fe_{3-x}M_xO_4$	Fumées aciers faiblement alliés, aciers inoxydables
Al	$Al_2O_3$	Fumées alliages aluminium
Mg	$MgAl_2O_4$	Fumées alliages Al-Mg
F	NaF, $CaF_2$ , $KCaF_3$	Fumées électrodes enrobées et fils fourrés basiques
Cr VI	Chromates, dichromates	Fumées électrodes enrobées et fils fourrés inox
Cr VI	(?)	Fils massifs



# Cas du chrome hexavalent

- Dans les fumées de produits inox,  $\text{Cr}_{\text{total}} = 5-15\% \text{ w/w}$
- Cr III se trouve dans les oxydes de type spinelle
- *Consommable = électrode enrobée (ou certains fils fourrés), Cr VI = 1-5% w/w*



Enrobage de l'électrode = mélange de poudres minérales et métalliques agglomérées par un liant silicate sodium et/ou potassium



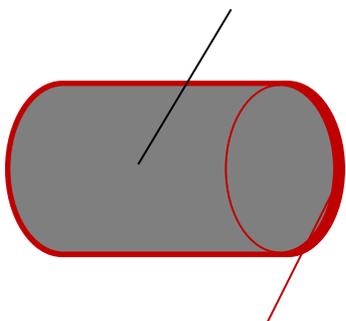
Dans l'arc électrique, le Cr, Na/K se vaporisent puis se combinent pour former des chromates ou dichromates, e.g.  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$

- *Consommable = fil massif, Cr VI = 0-1%w/w mais pas d'éléments alcalins*
- ➔ Quels composés se forment ?
- ➔ Analyse t-on correctement la teneur en Cr VI dans ces fumées ?

# Cas du cuivre dans les aciers faiblement alliés

- La teneur en cuivre dans les fumées de soudage générées par des aciers faiblement alliés est très faible et provient généralement du métal d'apport lui-même et non du cuivrage

Ø Fil 1.2mm



e = Épaisseur de cuivre **0.2µm**

## ER70S-3

### NOMINAL COMPOSITION:

Carbon	.06-.15 %	Copper	.50 % max.	Manganese	0.90-1.40 %
Silicon	0.45-0.75%	Sulfur	.035 % max.	Phosphorus	0.025 % max.
Nickel	0.15 % max.	Chromium	0.15 % max.	Vanadium	0.03% max.
Molybdenum	0.15 % max.	Iron	Balance	Others Total	.50 % max.

Fil ER70S-3 Ar-18%CO <sub>2</sub>	globulaire	pulsé
I (A) ; U(V)	230 ; 28.4	200 ; 27.2
Densité acier (g/cm <sup>3</sup> )	7,8	
Ø fil (cm)	0.12	
longueur fil/mn (cm)	700	
masse fil/mn (g)	61.72	
%Cu Fil	0.1	
<b>masse Cu fil/mn (mg)</b>	<b>61.7</b>	
e Cu surface (µm)	0.2	
<b>masse Cu surface fil /mn (mg)</b>	<b>4.7</b>	
masse fumées/mn (mg)	397,8	110,4
<b>%Cu fumées</b>	<b>0,22</b>	<b>0,23</b>
<b>m cuivre fumées/mn (mg)</b>	<b>0,875</b>	<b>0,254</b>



# Fiche de données de sécurité métal d'apport

## 2 IDENTIFICATION DES DANGERS

### Risques à l'utilisation en soudage

- Chaleur : Des projections de métal en fusion peuvent provoquer des brûlures.
- Rayonnements : Radiations UV, IR. Le rayonnement de l'arc peut causer de sérieux dommages aux yeux ou à la peau.
- Fumées : Formation de fumées dangereuses lors de l'utilisation. L'inhalation de fumées de soudage peut irriter les voies respiratoires. Toux. Une inhalation excessive ou prolongée des fumées peut provoquer la fièvre des fumées métalliques.
- Electricité : Les chocs électriques peuvent tuer.
- Champs magnétiques : Les personnes portant un stimulateur cardiaque ou pacemaker ne doivent pas s'approcher des opérations de soudage ou de découpage avant d'avoir consulté un médecin et obtenu des informations du fabricant du dispositif.

## 10 STABILITÉ ET RÉACTIVITÉ

- Stabilité : Stable dans les conditions normales. ( < 300°C )
- Matières à éviter : Au contact des substances chimiques telles que des acides ou des bases, ce produit peut provoquer la formation de gaz.
- Produits de décomposition dangereux : Formation de fumées dangereuses lors de l'utilisation. Les fumées de soudage sont classées cancérigènes par le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer) : Groupe 2B Suspecté cancérigène. Les gaz produits peuvent inclure des oxydes de carbone, des oxydes d'azote et de l'ozone.
- Fiche d'information sur les fumées : Selon les conditions du procédé, des produits de décomposition dangereux peuvent être générés. Ces produits dangereux peuvent provenir de réactions ou de l'oxydation des composants listés dans la section 3 ou de ceux provenant du métal de base.



# Méthode d'évaluation de la toxicité d'une fumée

## NF EN ISO 15011-4 Annexe D

$$VLE_{\text{fumée soudage (A)}} = \frac{100}{\sum_1^n \frac{i}{VLE(i)} + \frac{(100 - \sum_1^n i)}{VLE_{\text{fumée soudage}}}}$$

- $VLE_{\text{fumée soudage (A)}}$  : Valeur Limite d'Exposition Additive de la fumée de soudage ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
- $n$  : nombre d'éléments majoritaires et/ou toxiques présents dans la fumée de soudage
- $i$  : concentration massique du  $i^{\text{ème}}$  élément majoritaire et/ou toxique
- $VLE(i)$  : Valeur Limite d'Exposition du  $i^{\text{ème}}$  élément ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
- $VLE_{\text{fumée soudage}}$  : Valeur Limite d'Exposition de la fumée de soudage

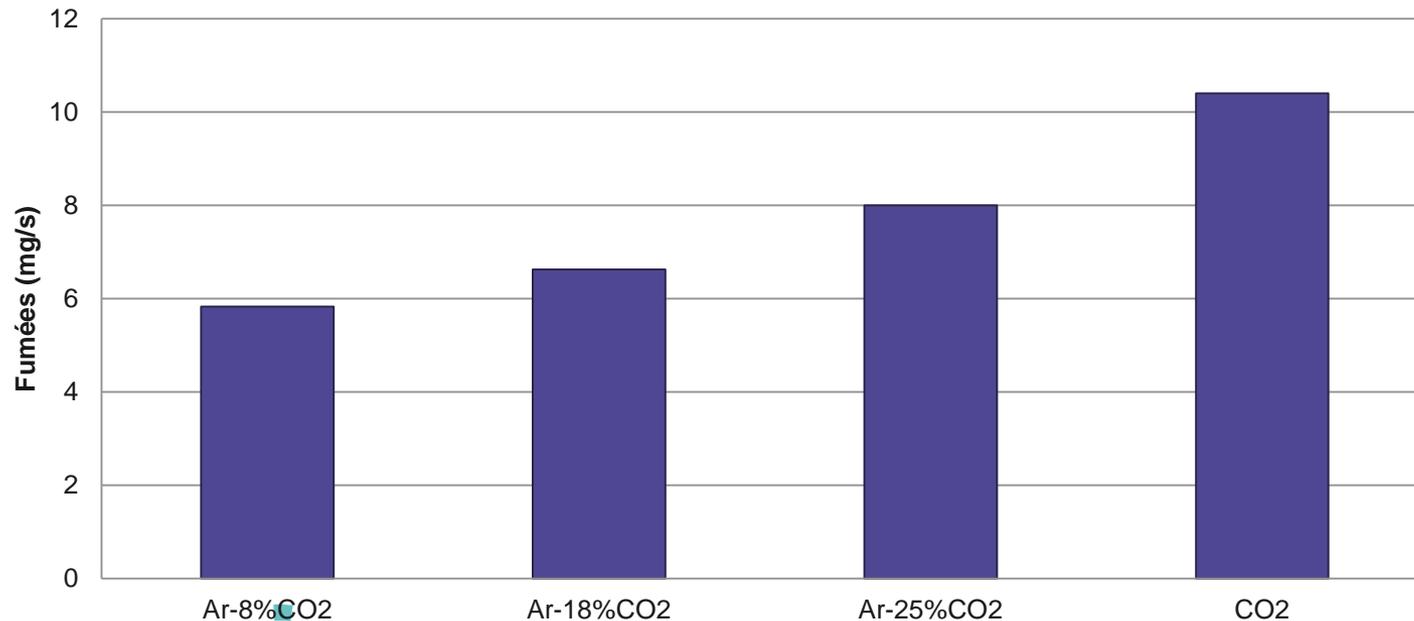
		Fumée A	Fumée B
<b>Élément</b>	<b>VLE (i)(<math>\text{mg}/\text{m}^3</math>)</b>	<b>%</b>	<b>%</b>
Cr	2	0,03	4.4
Cr <sup>6+</sup>	0,001	0	<b>0.2</b>
Mn	1	<b>7</b>	7.5
Fe	5	57	45
Ni	1	0,02	<0.01
Cu	0,2	0,5	0.2
Fumées de soudage	5		
<b>VLE fumée soudage (A)</b>		<b>3.6</b>	<b>0.4</b>

# Gaz de protection

- Le gaz de protection n'est pas à l'origine des fumées de soudage  
*Le soudage à l'électrode enrobée génère des fumées*
- Pour un même métal d'apport soudé dans les mêmes conditions, la quantité de fumées produite varie en fonction du pouvoir oxydant du gaz

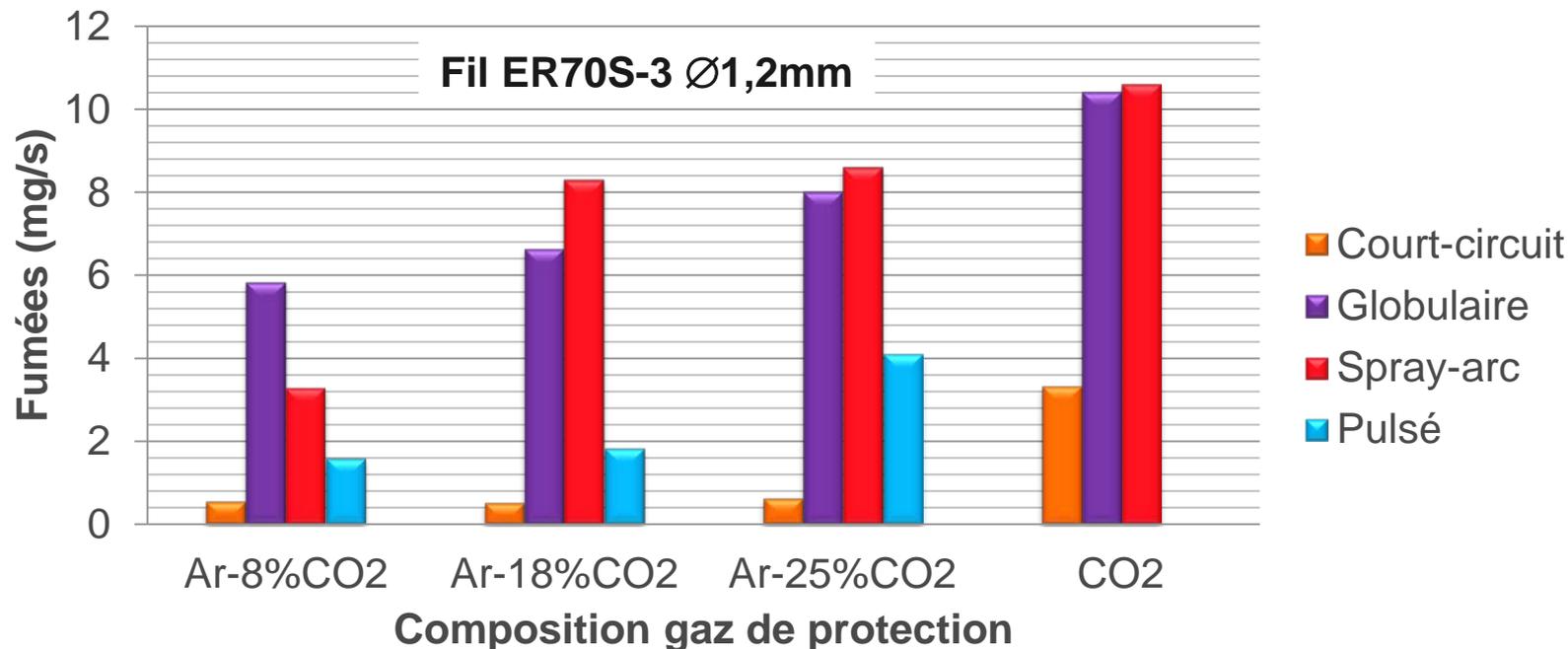
## Fil ER70S-3 Ø1,2mm

$v = 7\text{m/mn}$ ,  $I \approx 220\text{A}$ ,  $U = 25\text{-}28\text{V}$ , vitesse soudage  $30\text{cm/mn}$ , distance tube contact-pièce =  $18\text{mm}$



# Régime de soudage

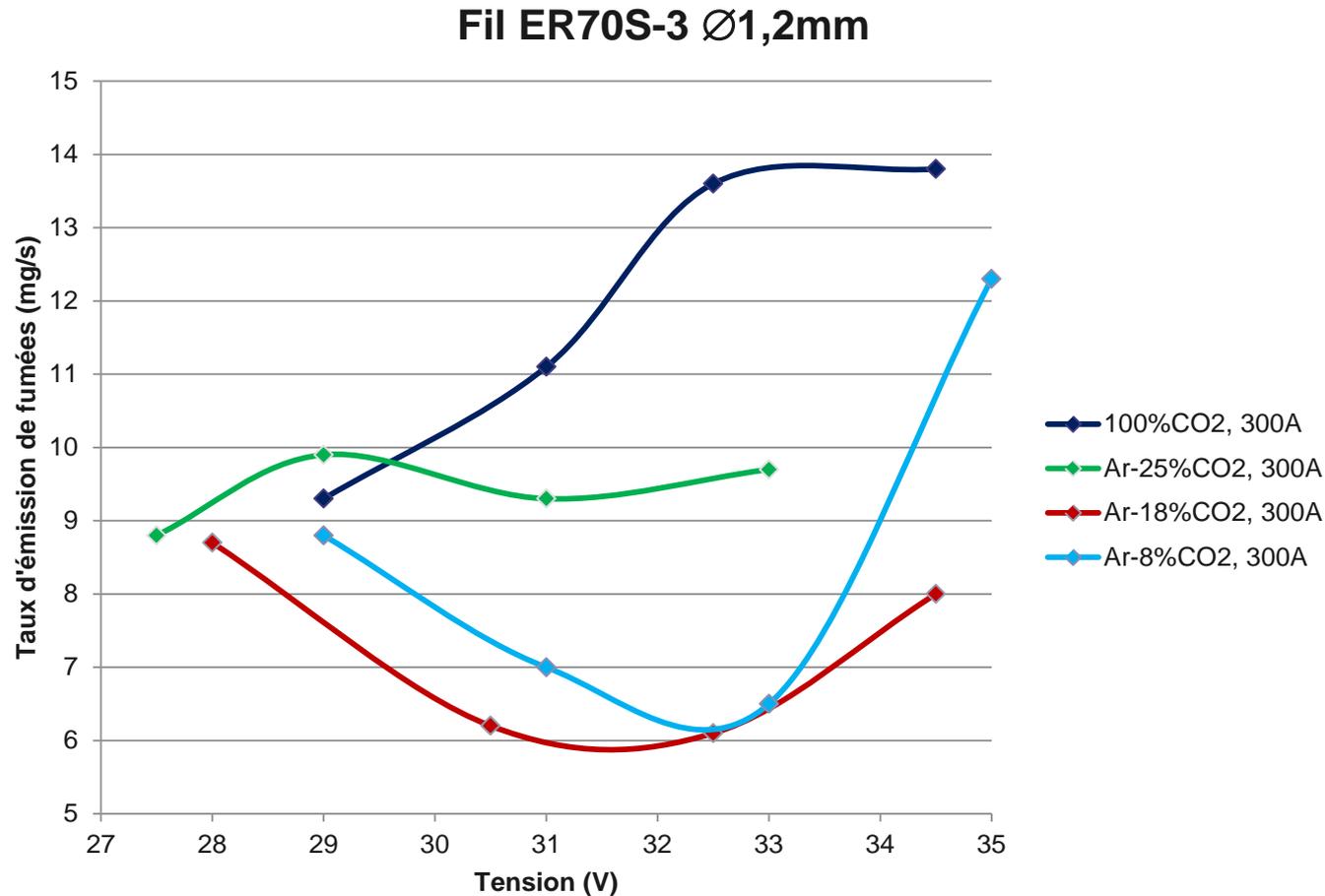
■ Le taux d'émission de fumées varie fonction du régime de soudage



	Court circuit	Globulaire	Spray	Pulsé
<b>Temps de soudage/kg (mn)</b>	<b>50</b>	<b>17</b>	<b>8</b>	<b>17</b>
Taux émission Ar-8%CO <sub>2</sub> (g/kg)	1.7	5.9	1.6	1.6
Taux émission Ar-18%CO <sub>2</sub> (g/kg)	1.6	6.8	4.1	1.8
Taux émission Ar-25%CO <sub>2</sub> (g/kg)	1.9	8.3	4.3	4.1
Taux émission 100%CO <sub>2</sub> (g/kg)	10.3	11.3	5.4	-

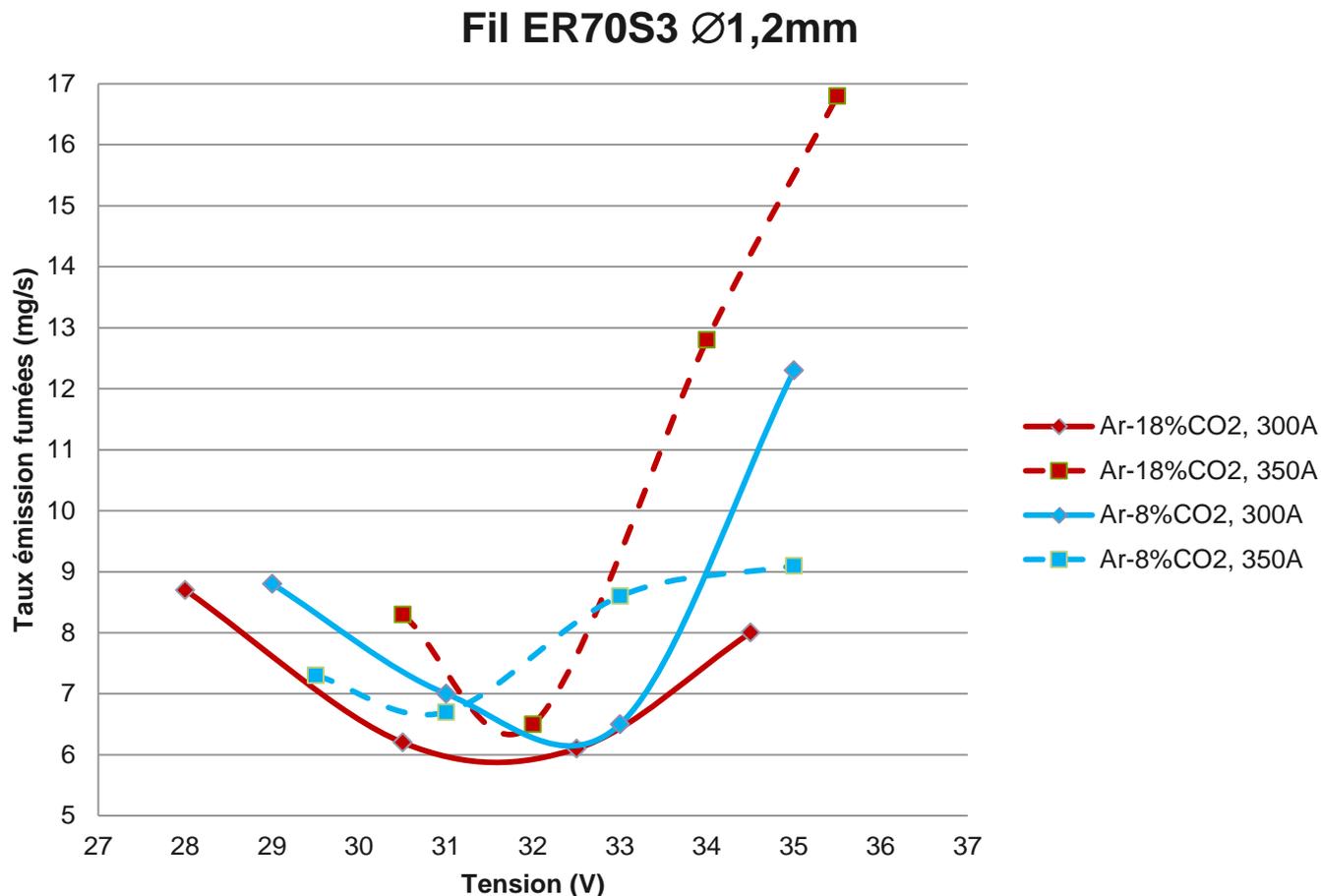
# Paramètres de soudage : influence de la tension

- A intensité et régime constants, le taux d'émission de fumées va varier en fonction de la tension



# Paramètres de soudage : influence de l'intensité

- Dans un même régime, le taux d'émission de fumées va varier en fonction de l'intensité



# Conclusions

- NO, NO<sub>2</sub>, CO et O<sub>3</sub> sont générés par l'arc électrique
- Les autres gaz potentiellement émis ont pour origine le revêtement/lubrifiant/pollution du métal de base
- Les fumées de soudage ont pour origine majoritairement le métal d'apport et le revêtement du métal de base ; le métal de base lui-même en faible proportion
- La quantité de fumées émises varie en fonction du gaz de protection, procédé, du régime, des paramètres de soudage
- Aujourd'hui, diminuer l'exposition aux fumées et gaz de soudage passe par
  - Une ventilation générale et locale
  - Une optimisation dans les choix des procédés/ paramètres de soudage/produits d'apport/gaz de protection **en fonction des exigences techniques et économiques de l'application**
  - Une communication auprès des personnes exposées aux fumées de soudage sur les risques associés compte tenu des connaissances scientifiques avérées
  - La mise en place et la transmission des bonnes pratiques





Research & Development  
Opening new ways

MERCI DE VOTRE ATTENTION

**AIR LIQUIDE**  
ENCYCLOPEDIE DES GAZ  
Nouvelle appli pour tablettes

Disponible sur App Store  
Disponible sur amazon  
DISPONIBLE SUR Google play

[www.airliquide.com](http://www.airliquide.com)

Suivre @AirLiquideGroup 

