



Les
WEBINAIRES
de **L'INRS**



Fumées de soudage à l'arc : solutions de prévention associées à la ventilation

6 mai 2021

www.inrs.fr

Intervenants



Francis BONTHOUX

Responsable d'étude en ingénierie aéraulique
INRS - Département Ingénierie des Procédés

francis.bonthoux@inrs.fr



Guy LE BERRE

Responsable du Centre Interrégional de
Mesures Physiques de l'Ouest

Carsat Bretagne - CIMPO

guy.leberre@carsat-bretagne.fr



Sommaire

1	Démarche de prévention déclinée aux activités de soudage
2	Solutions de captage à la source et aménagements de poste associés
3	Cas particulier du soudage robotisé
4	Ventilation générale
5	Recyclage de l'air capté dans le cas des fumées de soudage
6	Cahier des charges, réception des installations, métrologie
7	Questions / Réponses
8	Conclusion



Précédent Webinaire - 21 janvier 2020

- Fumées de soudage : risques pour la santé et prévention
 - Les fumées de soudage
 - Le contexte réglementaire
 - Les effets sur la santé
 - Les solutions de réduction des expositions
 - > Réduire les émissions de fumées
 - > Capter / confiner / évacuer les fumées



Démarche de prévention déclinée aux activités de soudage

Démarche

Observations et entretiens associant les opérateurs.



Etude des solutions.



Etablissement d'un cahier des charges en termes d'objectifs de résultats.
Critères : performances aérauliques et/ou expositions professionnelles.



Consultations, choix d'un fournisseur et réalisation.



Vérification de l'atteinte des objectifs fixés et de l'acceptation des
moyens mis en œuvre.

Analyse des situations de travail

Observations et entretiens associant les opérateurs.



Poste de travail :

Implantation dans l'atelier, mobilité.
Déplacement, positionnement des pièces.
Posture en cours d'opération.
Assistance en place (potence, équilibreur, vireur...).

Pièces à souder :

Dimensions, formes, poids.
Grandes/petites séries, travail unitaire.
Perméabilité à l'écoulement de l'air.
Revêtement de surface.

Opérateur :

Part du soudage dans son activité globale.
Formation et aptitude au changement.
Nombre d'opérateurs, partage des équipements.

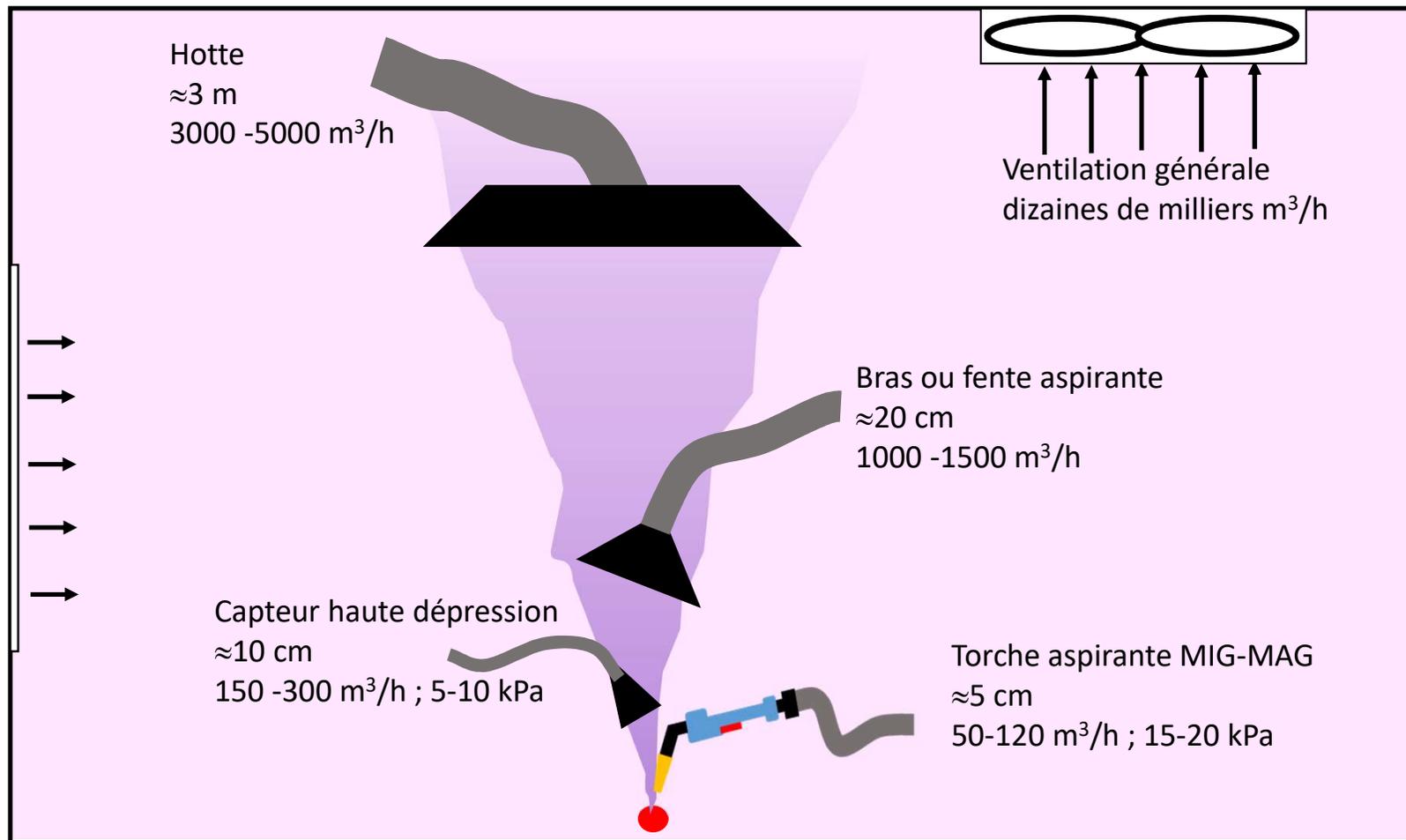
Soudage :

Techniques utilisées, type de générateur.
Produits d'apport, gaz protecteur.
Type de cordons, temps d'arc, taux de dépôt.
Contraintes sur les paramètres de soudage (Q/DMOS).



Etude des solutions.

Typologie des solutions de ventilation



Captage localisé + Ventilation générale (+APR)

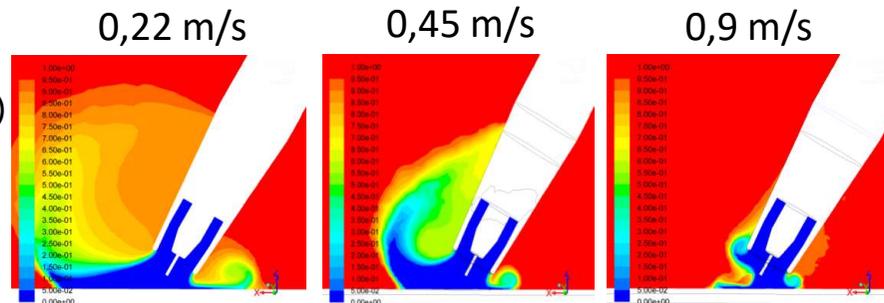
- La réduction de l'exposition :
 - du soudeur (action locale) ;
 - des autres opérateurs de l'atelier ou du soudeur quand il effectue d'autres tâches (action globale).
- Le soudeur, à proximité de la source, sera plus exposé.
 - Le captage des fumées à la source limitera son exposition et aussi l'exposition des autres opérateurs.
 - Dans certains cas, le captage localisé ne suffira pas à protéger entièrement le soudeur et l'utilisation d'un Appareil de Protection Respiratoire (APR) sera nécessaire.
 - > Ce constat ne doit surtout pas amener à abandonner le captage localisé.
- L'approche générale pour la réduction des expositions :
 - (limiter les émissions au niveau du procédé) ;
 - Capturer/ contenir les polluants au plus près de l'émission ;
 - Diluer le résiduel par la ventilation générale ;
 - (mettre en place une protection individuelle APR).

Solutions de captage à la source et aménagements de poste associés

Les solutions de captage à la source

- Ces dispositifs opèrent un captage des fumées au plus près de la source.
- Leur proximité avec la zone de travail de l'opérateur est parfois source de gêne :
 - il est toujours préférable d'associer l'opérateur à l'évolution de son poste de travail ;
 - des tests sur un matériel de démonstration, quand cela est possible, sont recommandés.
- Les solutions de captage ne doivent pas interférer avec la protection gazeuse :
 - suivant les configurations, les vitesses induites à proximité de l'arc doivent être de 0,25 et 0,5m/s.
- Débit de gaz de protection optimal :
 - respecter les indications données dans les fiches techniques des torches ;
 - empiriquement: $\text{Débit de gaz (l/min)} = \text{diamètre interne de buse (mm)} - 1$.

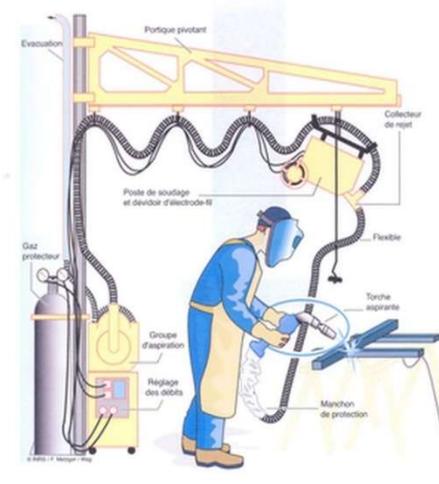
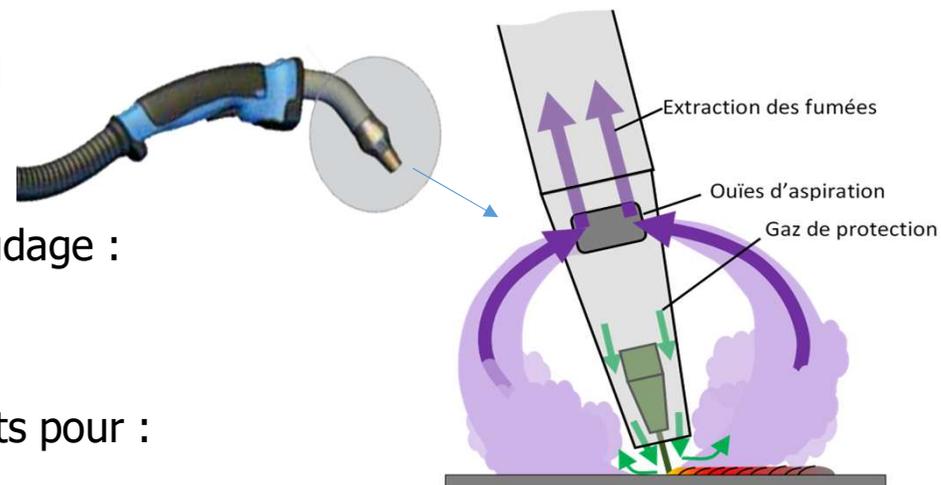
- Les solutions :
 - torche aspirante (Mig/Mag et TIG)
 - buse et capteur inducteur (fixe) ;
 - gabarit aspirant ;
 - bras aspirant (mobile) ;
 - table et dossier aspirants.



- Norme ISO 21904 (2020)

Torche aspirante Mig/Mag

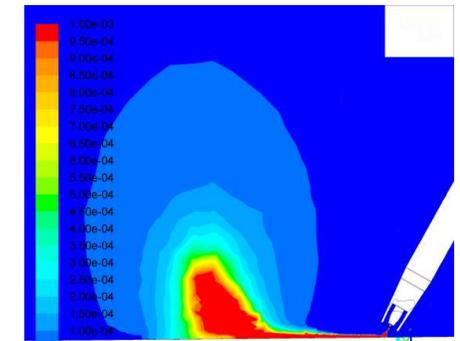
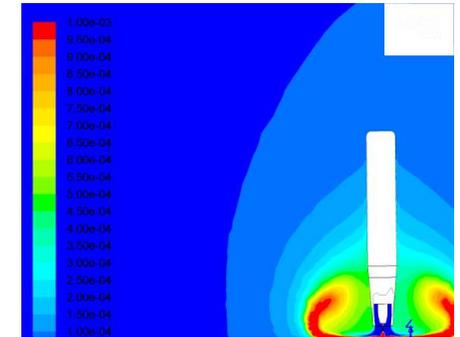
- Aspiration par des ouïes sur la buse de soudage :
 - Le captage suit le point d'émission.
- Les fournisseurs ont fait évoluer les produits pour :
 - Améliorer l'efficacité de captage.
 - Limiter l'encombrement de la buse d'aspiration.
 - Alléger les torches et rendre plus souple le flexible d'aspiration.
 - Large choix (plusieurs dizaines de modèles).
- Association d'un système de suspension de la torche :
 - Dévidoir suspendu sur potence, bras positionneur, équilibreur.
 - Permet une meilleure acceptabilité par le soudeur.
 - Limite l'encombrement du poste de travail
 - Augmente la durée de vie de la torche (flexible en particulier).



Torche aspirante MIG/MAG

- Domaine d'application :
 - Pièces de dimensions ou de formes interdisant de travailler sur établi.
 - Pièces entraînant la mobilité du soudeur.
- Exigences :
 - Vitesse théorique induite au point d'émission :
 - > 0,25 m/s pour une torche conçue pour souder $I \leq 200$ A (mélange Ar/CO₂) ;
 - > 0,35 m/s pour une torche conçue pour souder à $I > 200$ A (mélange Ar/CO₂)

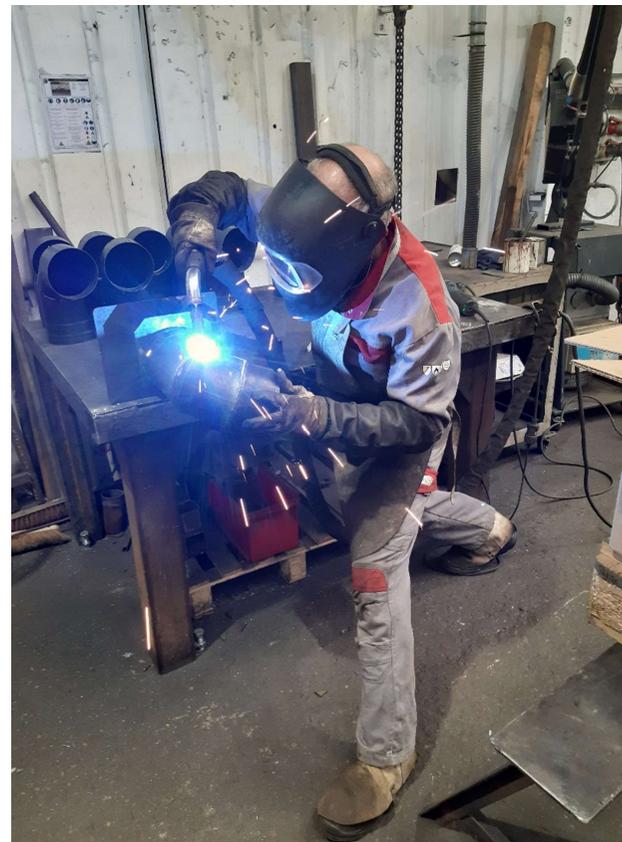
(débit de 50 à 100 m³/h + groupe d'aspiration haute pression (15 à 20 kPa))
- Remarques :
 - L'efficacité diminue avec l'inclinaison de la torche :
 - > Soufflage des fumées par effet tangentiel du gaz de protection.
 - > Les ouïes s'écartent du trajet des fumées.
 - > Rester si possible en dessous de 30° d'inclinaison.
 - Entretien et intégrité de la torche :
 - > Bon état du flexible d'aspiration et mobilité des rotules.
 - > Présence de toutes les pièces assurant le captage.



Norme ISO 21904-1 : Afin de garantir l'efficacité sur le terrain, il convient que la conception de la torche ne permette pas le fonctionnement, si les pièces assurant le captage ne sont pas assemblées, par exemple la buse (cette disposition vise à empêcher le démontage de pièces que le soudeur ne juge pas nécessaires).

Torche aspirante MIG/MAG

- Grande influence de l'angle de la torche sur l'efficacité de captage
- Aménagement du poste de travail
- Posture du soudeur adaptée
- Formation des soudeurs



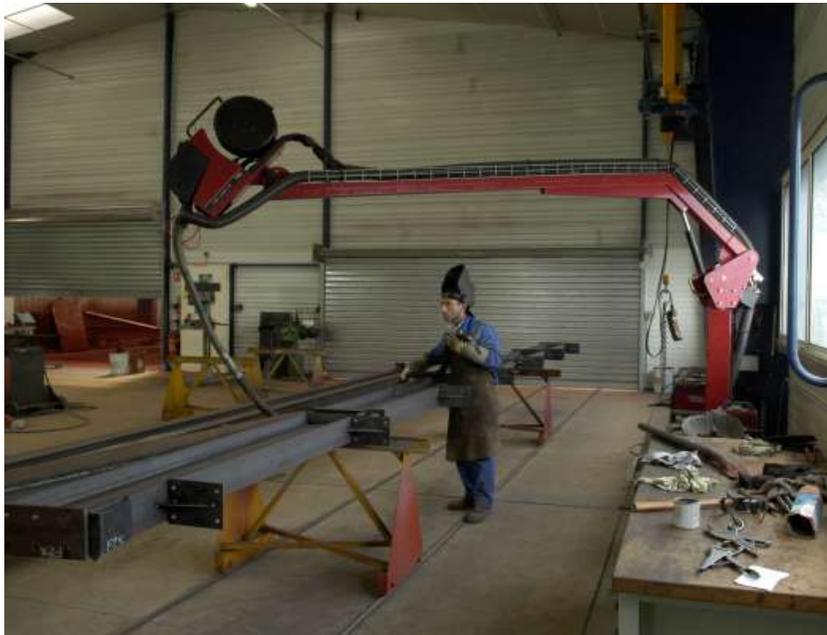
Torche aspirante MIG/MAG

- Aménagement de poste



Torche aspirante MIG/MAG

- Aménagement de poste



Torche aspirante MIG/MAG

- Aménagement de poste



Torche aspirante MIG/MAG



Régulateur de pression pour réduire l'effet de détente du gaz à chaque mise en route de la torche

Torche aspirante MIG/MAG

- Aspiration individuelle asservie au fonctionnement de la torche
- Avec rejet directement à l'extérieur ou dans un réseau d'extraction avec ventilateur basse dépression



Torche aspirante MIG/MAG

- Aspiration centralisée à forte dépression avec réseau de conduits



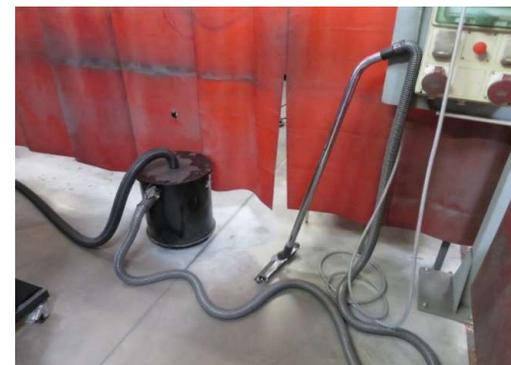
Torche aspirante MIG/MAG

- Ajustement du débit d'extraction et asservissement de la ventilation à l'arc



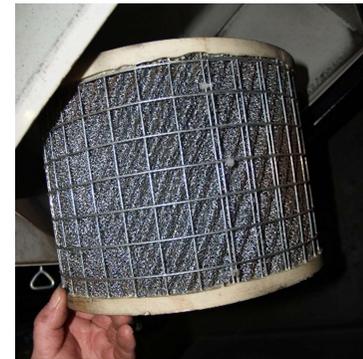
Torche aspirante MIG/MAG

- Possibilité de relier le groupe autonome ou centralisé à un système de nettoyage
- Kit de nettoyage des sols avec pot de détente pour séparer les éléments



Torche aspirante MIG/MAG

- Maintenance des groupes aspirants
- Maintenance des torches aspirantes:
 - Protection du flexible d'aspiration du faisceau de la torche contre le risque de brûlure et de coupure
 - Antigraillon à base de céramique et sans dichlorométhane (pas de pâte)
 - Nettoyer fréquemment la buse de diffusion de gaz
 - Remplacer régulièrement le tube contact
 - Vérifier régulièrement le débit de gaz de protection
 - Contrôler périodiquement le débit d'extraction



Torche aspirante TIG

- Aspiration par des ouïes sur la buse de soudage :
 - Le captage suit le point d'émission.
- La torche TIG de dimensions réduites comparée à MIGMAG :
 - Les ouïes d'aspiration sont très proches du point d'émission des fumées.
 - Les débits d'aspiration sont faibles (10 à 20 m³/h).
- Peu de modèles disponibles (trois) :
 - Autres produits en cours de développement.
- Domaine d'application :
 - Pièces de dimensions ou de formes interdisant de travailler sur établi.
 - Pièces entraînant la mobilité du soudeur.
- Exigences :
 - Vitesse théorique induite au point d'émission de 0,35 m/s.
- Remarques :
 - Groupes d'aspiration spécifiques.
 - Pour certaines applications, l'ajout du dispositif d'aspiration peut être handicapant.
 - Tests impératifs !



Gabarit aspirant

- Aspiration ponctuelle à chaque point de soudage :
 - Il s'agit d'une version « multipoints » du dispositif précédent.
 - Le gabarit sert de support à la pièce et aux capteurs.
 - Capteur à 5-8 cm du point de soudage.
- Domaine d'application :
 - Pièce de moyenne série sur gabarit.
- Exigences :
 - Vitesse induite au point d'émission de 0,5 m/s.
 - Débit lié au nombre de points de soudage (50 à 100 m³/h par point).
- Remarques :
 - Moins fréquent car remplacé peu à peu par le soudage robotisé.



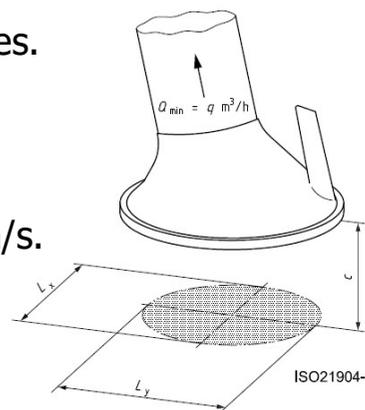
Buse et capteur inducteur (petite dimension)

- Aspiration ponctuelle de petite dimension :
 - Situé à moins de 10 cm de la source d'émission.
- Aspiration fixe le plus souvent :
 - La pièce est montée sur un vireur.
 - Existe sous « forme mobile » :
 - > buse montée sur un support aimanté déplaçable.
- Domaine d'application :
 - Bien adapté au soudage de pièces circulaires sur vireur.
- Exigences :
 - Vitesse induite au point d'émission de 0,5 m/s.
 - (débit de 150 à 300 m³/h).
- Remarques :
 - Flexible de faible diamètre
 - >groupe d'aspiration forte pression (5 à 10 kPa).



Bras aspirant (bouche et fente)

- Aspiration proche de la source (ponctuelle ou linéaire) :
 - Moins de 30 cm de la source d'émission.
 - Dispositifs semi-mobiles (bras articulé) :
 - > Repositionnements réguliers par l'opérateur.
- Domaine d'application :
 - Soudage ponctuel pour les bouches aspirantes.
 - Cordons <1m pour les fentes aspirantes.
- Exigences :
 - Vitesse induite au point d'émission de 0,5 m/s.
 - (débit de 1200 à 1500 m³/h).
- Remarques :
 - Efficacité dépendante « du bon vouloir » du soudeur.
 - ISO 21904 -> Schéma à destination du soudeur.



Tables aspirantes

- Aspiration au travers du plan de travail :
 - A contre-courant du mouvement naturel des fumées.
- Domaine d'application :
 - Pièces planes et ajourées.
- Exigences :
 - Vitesse induite au point d'émission de 0,5 m/s.
 - (débit de l'ordre de 1800 m³/h par m² de table).

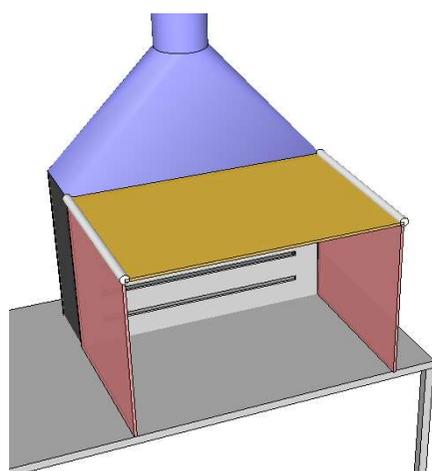


Dosserets aspirants

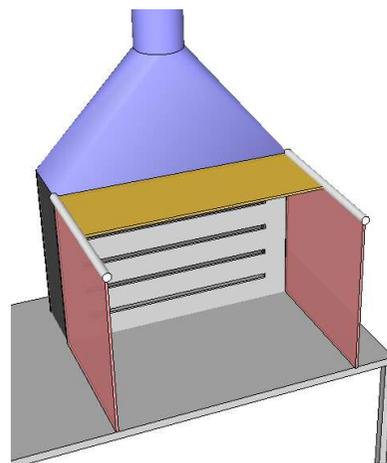
- Aspiration par un plan vertical à l'arrière du plan de travail :
 - Paroi latérale et « casquette » nécessaires pour limiter les débits.
- Domaine d'application :
 - Soudage sur établi.
 - Pièces de petites et moyennes dimensions (jusqu'à 1,5 m).
- Exigences :
 - Vitesse induite au point d'émission de 0,5 m/s.
 - Peut être réduite à 0,3m/s pour TIG.
 - (débit de l'ordre de 2000 m³/h par m linéaire d'établi).
- Remarques :
 - Solution polyvalente.
 - Aménagement possible du poste :
 - > Etabli à hauteur variable.
 - > Support rotatif.
 - > Les parois latérales peuvent être en matériau souple.



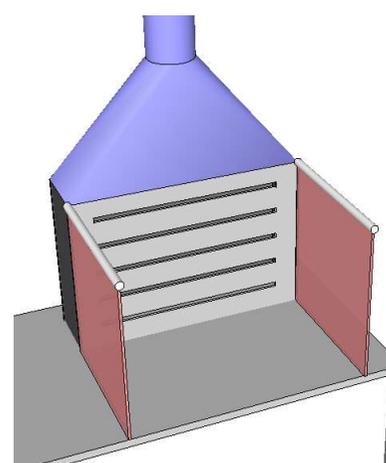
Dosserets aspirants



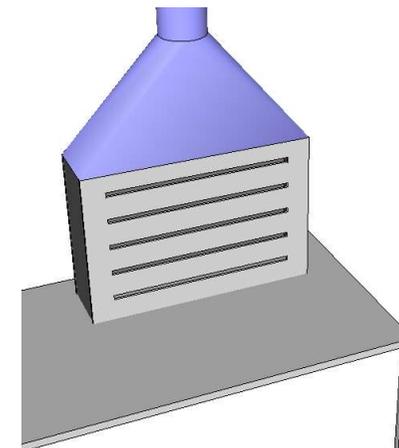
$Q = 2000 \text{ m}^3/\text{h}$



$Q = 2600 \text{ m}^3/\text{h}$



$Q = 3900 \text{ m}^3/\text{h}$



$Q = 4500 \text{ m}^3/\text{h}$

$L=1 \text{ m}$ $H=1,1 \text{ m}$ $P=0,9 \text{ m}$ et Vitesse induite= $0,5 \text{ m/s}$ au point d'émission situé en bord de table

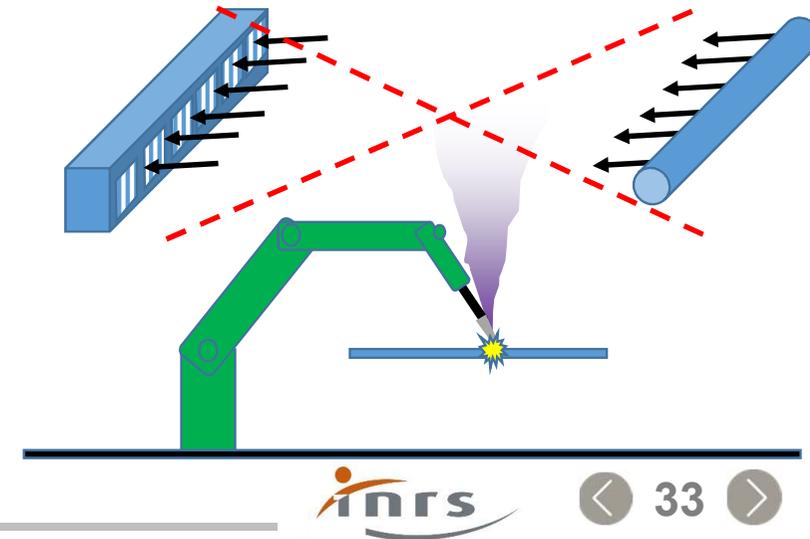
Dosserets aspirants



Cas particulier du soudage robotisé

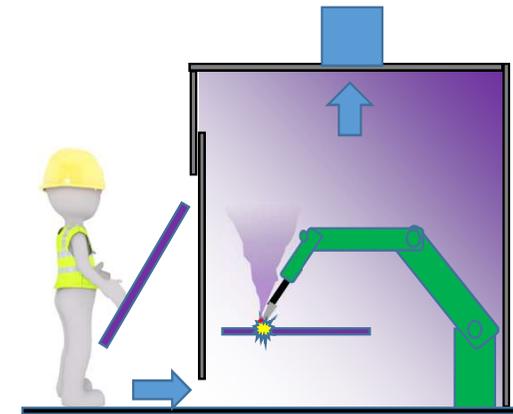
Soudage robotisé

- Eviter de disperser les fumées dans l'atelier
- L'opérateur se trouve dans une zone extérieure à la zone de soudage
- Différentes configurations selon les contraintes de production :
 - Configuration comprenant deux plateaux de soudage :
 - > Un est préparé par un opérateur pendant que l'autre est soudé.
 - Configuration comprenant deux robots (soudage et manutention)
 - Configuration avec hotte mobile pour manutention au pont roulant.
- Solutions :
 - Confinement de type cabine ou enceinte de soudage.
 - Hotte.
- A proscrire :
 - Ventilation de type push-pull → ventilation générale



Enceinte de soudage robotisé

- Confiner par une vitesse d'air minimale dans les ouvertures :
 - + renouvellement minimal dans la cabine pour assainir avant ouverture.
- Plateau de soudage mobile :
 - Robot fixe.
 - Une des parois de la cabine est mobile.
 - Le plus souvent le plateau est basculant.
- Exigences :
 - Vitesse dans les ouvertures $>0,5$ m/s.
- Remarques :
 - Une temporisation avant ouverture pour assurer l'évacuation des fumées.
 - > Un taux de renouvellement d'air suffisant pour limiter cette durée.
 - > Mais ne pas créer de courant d'air préjudiciable à la qualité de soudage.

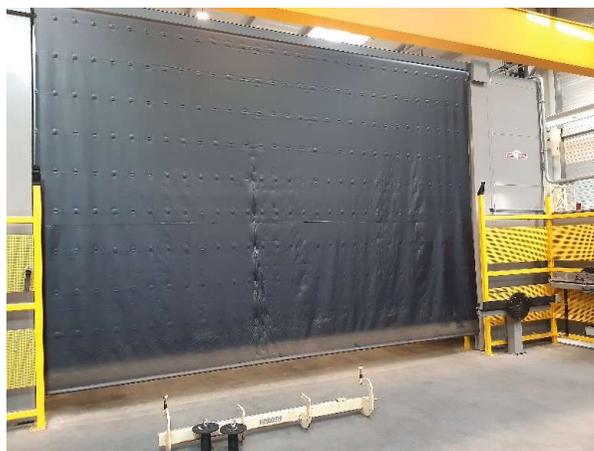


Enceinte de soudage robotisé



Enceinte de soudage robotisé

1



2



3



4

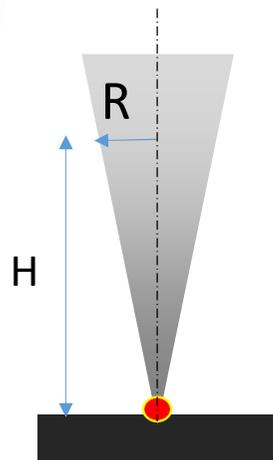


Enceinte de soudage robotisé

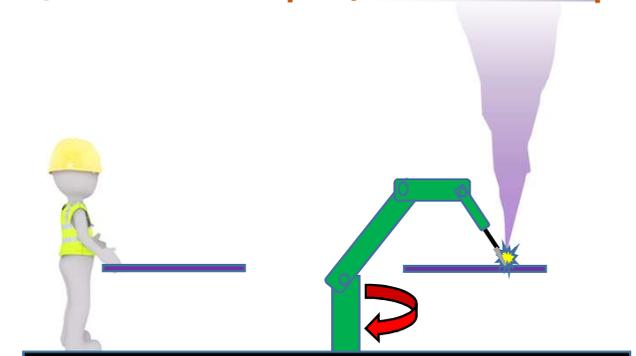
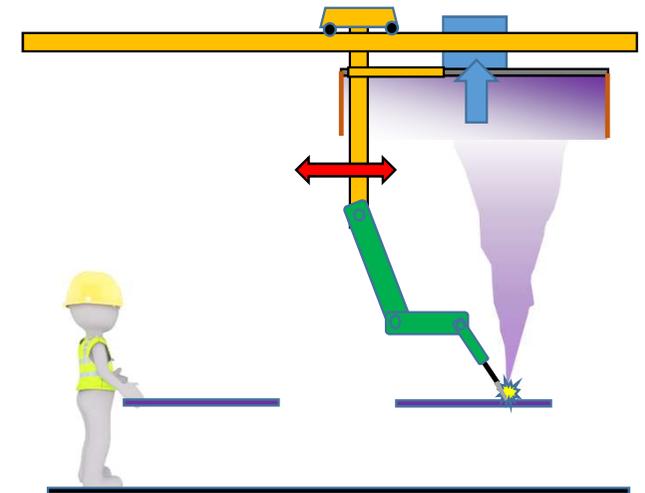


Hotte pour soudage robotisé

- Capturer le panache de fumée :
 - Air induit par le panache :
 - > Accroissement du débit.
 - > Elargissement du panache de fumée.
- Hotte mobile/ fixe :
 - 1) Une hotte mobile embarquant le robot.
 - 2) Deux hottes avec asservissement de l'aspiration.
- Exigences :
 - Débit d'aspiration > au débit du panache de fumée.
 - Dimension de la hotte couvrant la surface du panache.
 - Eviter les courants d'air.



H (m)	Q (m ³ /h) pour P=12kW
1.0	400
1.5	800
2.0	1300
2.5	1900
3.0	2600



Hotte pour soudage robotisé



Hotte de soudage robotisé



Hotte pour soudage robotisé



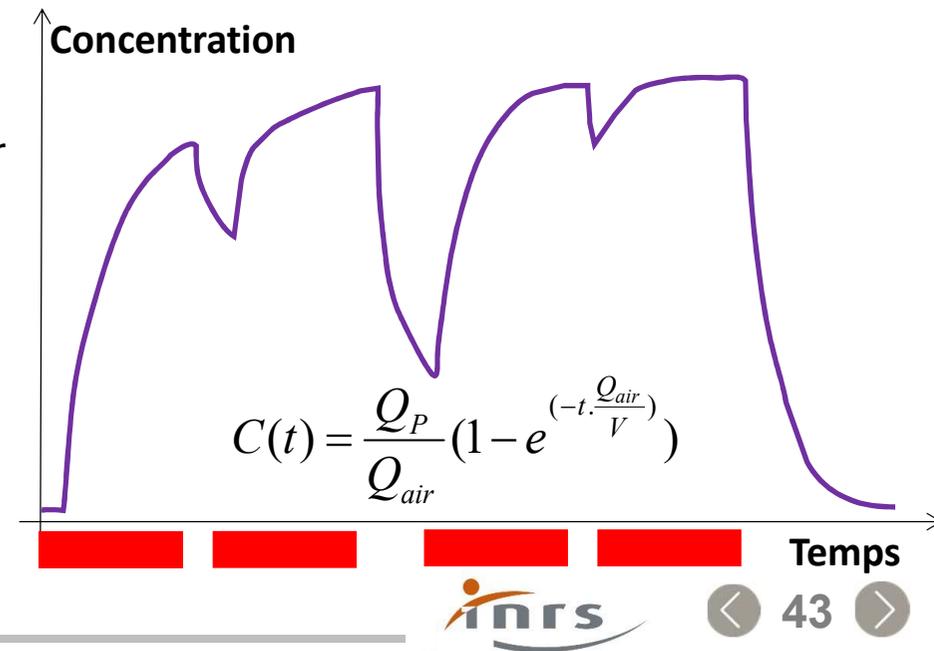
Ventilation générale

La ventilation générale

- Le captage localisé n'est pas toujours efficace à 100%.
- La protection individuelle seule n'est pas suffisante :
 - n'équipe pas tous les salariés, ne filtre pas tous les polluants, n'est pas efficace à 100%.
- Renouveler l'air du local pour amener les concentrations en polluant sous les valeurs limites.
- Dimensionnement ?
 - Evolution de la concentration dans l'atelier
 - Modélisation

1. Régime établi $C(\infty) = Q_p / Q_{air}$

2. Temps de montée $\tau = V / Q_{air}$



Estimation du débit d'air de dilution

- Concentration $Q_p/Q_{air} < C_{cible}$
- Estimation du débit de polluant Q_p
 - Consommation en métal d'apport q
 - Procédé de soudage r
 - Efficacité de captage η
- Valeur limite C_{cible}
 - Concentration ciblée du composé c
> éventuellement 1/10 VLEP
 - Fraction du composé dans les fumées f
- Estimation du débit $Q_{air} = k \frac{f \cdot (1 - \eta) \cdot r \cdot q}{c}$
 - Inhomogénéité des concentrations dans l'atelier $k=3$

	Facteur d'émission r (mg/kg)		Fraction de CR VI dans les fumées
Semi auto fil plein	6 000	Semi auto fil plein	0,5%
Semi auto fil fourré	15 000 (très variable)	Semi auto fil fourré	2%
Electrode (baguette)	20 000	Electrode (baguette)	4%
Soudage TIG	25		

	Efficacité de captage	
	Valeur réaliste	Plage réaliste
Table aspirante	90%	50 - 100%
Dosseret aspirant	95%	80 - 100%
Gabarit aspirant	80%	50 - 100%
Captage localisé sur vireur	95%	80 - 100%
Bras aspirant	50%	0% - 100%
Torche aspirante	60%	30% - 95%

Exemple
 • Fil plein inox / semi auto
 • 1 bobine de 15kg par jour

Composé	q (kg/h)	r (mg/kg)	η	C (mg/m ³)	f	Q(m ³ /h)
Fumée	1,9	6000	60%	5 5/10	100%	2 700 27 000
CR VI	1,9	6000	60%	0,001 0,001/10	0,5%	67 000 670 000
CR VI	1,9	6000	95%	0,001 0,001/10	0,5%	8 400 84 000

Recyclage de l'air capté dans le cas des fumées de soudage

Le recyclage de l'air

- Diverses dispositions réglementaires pour son usage :
 - Le recyclage doit pouvoir être arrêté, ne devrait pas fonctionner hors des périodes de chauffage / climatisation.
 - Les installations doivent comporter un système de surveillance.
 - Identification de tous les polluants émis et efficacité d'épuration connue pour chaque polluant.
particules métalliques, oxydes métalliques, gaz protecteurs, produits issus de la dégradation thermique ou photochimique ...
- Cela revient à proscrire le recyclage dans le cas du soudage.
 - vise en particulier les groupes d'aspiration autonomes qui rejettent l'air filtré directement dans l'atelier.
 - > Seuls les groupes d'aspiration à sortie canalisée, rejetant directement à l'extérieur ou dans un réseau intermédiaire basse pression, sont acceptables.



Norme ISO 21904-1 : *Dans certains pays, la recirculation de l'air dans l'atmosphère du lieu de travail est déconseillée ou interdite. Une sortie d'air canalisée peut être nécessaire. Le fabricant doit informer l'utilisateur s'il est possible de canaliser l'air extrait et de quelle manière.*

Cahier des charges, réception des installations, métrologie

Démarche

Observations et entretiens associant les opérateurs.



Etude des solutions.



Etablissement d'un cahier des charges en termes d'objectifs de résultats.
Critères : performances aérauliques et/ou expositions professionnelles.



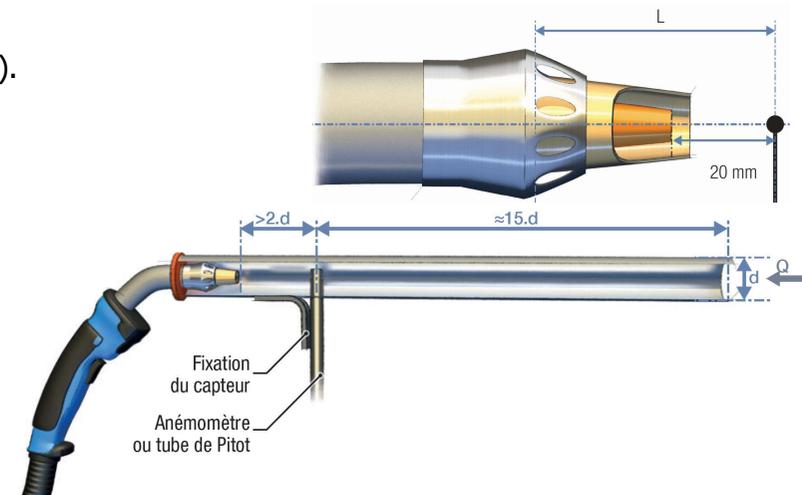
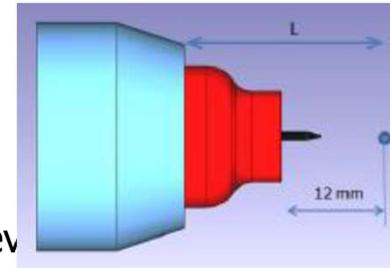
Consultations, choix d'un fournisseur et réalisation.



Vérification de l'atteinte des objectifs fixés
et acceptation des moyens mis en œuvre.

Réception des installations / métrologie

- Vérifier que les objectifs du cahier des charges de l'installation sont atteints :
 - Valeurs de référence.
- Si satisfaisants, des paramètres secondaires facilement mesurables seront relevés :
 - Grandeurs significatives telles que des pressions statiques.
 - Utilisées pour le suivi de l'installation (détecter une éventuelle dérive).
- Dossier d'installation de ventilation :
 - Notice d'instruction (dossier de valeur de référence...).
 - Consigne d'utilisation (en cas de panne, maintenance...).
- Torches aspirantes MIGMAG et TIG : $V = Q/4 \pi L^2$
 - Vitesse induite **théorique** calculée à partir
 - > de la distance L séparant l'aspiration du point d'émission théorique ;
 - > du débit d'air extrait Q.
 - Mesure du débit.
- Autres dispositifs :
 - Mesure directe de la vitesse à l'anémomètre.
 - Point le plus éloigné du captage.



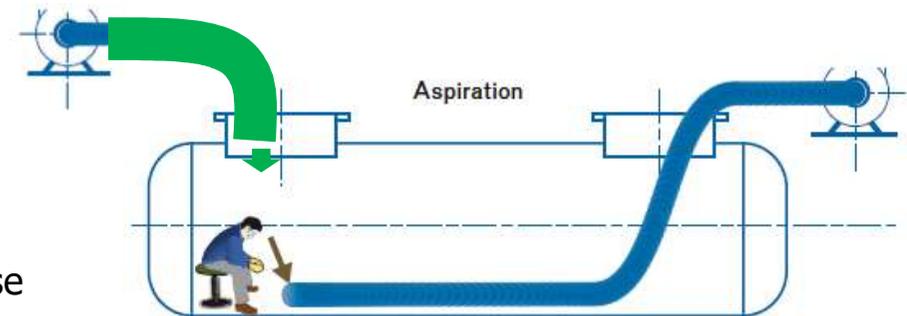
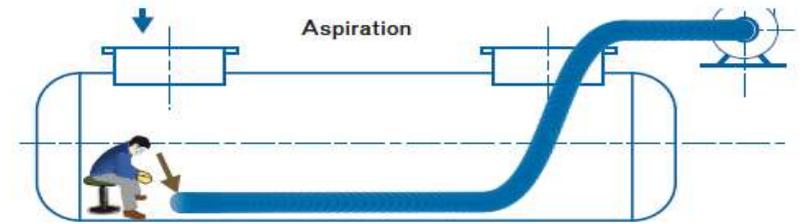
Norme ISO 21904-1 : Marquage des systèmes d'extraction par torche aspirante

- le débit volumique d'air réel au niveau de la buse ;
- le débit volumique d'air réel au point de raccordement du flexible ;
- la dépression nécessaire au point de raccordement du flexible.

Questions / Réponses

Soudage en espace confiné et semi-confiné

- Situations de travail :
 - Chantiers de construction navale.
 - Soudage intérieur cuves/citernes.
- Pistes de solutions:
 - Captage à la source.
 - Renouvellement minimal de l'air dans la zone de soudage.
 - Port d'un EPI adapté (P3 et TH3 au minimum).
- Remarques :
 - Nécessite une organisation de l'activité avec mise en place des moyens de protection collective.



Soudage en espace confiné et semi-confiné



Soudage en espace confiné et semi-confiné



Cordons de soudage de grande longueur

- Situations de travail :
 - Chantiers de construction navale.
 - Soudage de cuves.
- Pistes de solutions:
 - Soudage sous flux → pas ou très peu d'émission.
 - Soudage robotisé (GLUMAG) → captage à la source

Cordons de soudage de grande longueur



Cordons de soudage de grande longueur



Conclusions

Conclusions

- Un ensemble de solutions adaptées aux diverses situations
- Impliquer le soudeur dans le choix des solutions (tester si possible)
- Traiter le problème uniquement par la ventilation générale est rarement le bon choix
- Rejeter l'air capté à l'extérieur
- Rédiger un cahier des charges fixant les objectifs de résultat
- Réceptionner l'installation => mesurer les valeurs de référence
- Exiger le dossier d'installation ; il doit faire partie des livrables
- Vérifier les débits de gaz de protection (MigMag)
- Une installation de ventilation ça s'entretient !



Pour vous informer

Des questions subsistent ...

Découvrez l'ensemble de nos supports sur

www.inrs.fr

Posez vos questions sur le site de l'INRS

<https://www.inrs.fr/services/assistance/questions.html>





Notre métier, rendre le vôtre plus sûr

Merci de votre attention



www.inrs.fr

YouTube



in.