

## Congrès

# EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES AUX FUMÉES DE SOUDAGE À L'ARC

Paris, France, 16 juin 2015

Compte-rendu de la journée technique « Expositions professionnelles aux fumées de soudage à l'arc »

La journée, organisée par l'INRS en partenariat avec la CNAMTS, le Cetim, l'IS, le Symop et la CIS-FIM<sup>1</sup>, était consacrée à la prévention des expositions professionnelles aux fumées de soudage à l'arc. Elle a permis de partager les connaissances sur les risques liés à ces fumées, les cadres réglementaires ainsi que les solutions de prévention.

**REPORT OF THE "TECHNICAL DAY" ON "OCCUPATIONAL EXPOSURE TO ARC WELDING FUMES" – The day, organised by INRS, in partnership with CNAM (French National Health Insurance Fund), CETIM (Technical Centre for the Mechanical Industries), IS (Welding Institute), SYMOP (Association for Machinery and Production Technologies) and CIS-FIM<sup>1</sup> was devoted to preventing occupational exposure to arc welding fumes. It was an opportunity for knowledge to be shared on the risks related to these fumes, on the regulatory frameworks, and on the prevention solutions.**

FRANCIS  
BONTHOUX  
INRS,  
département  
Ingénierie  
des procédés

**E**n ouverture de cette journée, Guy Cromer, président de la CIS-FIM, a rappelé les défis que devait relever l'industrie mécanique vis-à-vis du soudage: la meilleure productivité, en garantissant une qualité reproductible et en réduisant autant que possible les risques pour les personnes et pour l'environnement. En introduction, Didier Baptiste, directeur scientifique de l'INRS, a évoqué la complexité de la problématique des fumées de soudage et de la réduction des expositions professionnelles. Cela nécessite de nombreux travaux de recherche, que ce soit dans la connaissance des composés émis et de leurs mécanismes d'atteintes à la santé ou dans la recherche de solutions de prévention. Alors que la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) en chrome VI vient d'être abaissée à  $1 \mu\text{m}/\text{m}^3$ , le cas du soudage sur acier inox constitue un exemple de défi que les acteurs de prévention doivent relever.

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

Lors du soudage à l'arc, une fraction des matériaux initiaux se décompose, se vaporise, puis se condense pour former des fumées de soudage.

Le résultat est un aérosol chimique complexe, comportant des phases gazeuse et particulaire. Nicolas Floros, expert international en chimie des matériaux à Air Liquide, a rappelé que les produits formés dépendent des réactifs présents. Outre les gaz de protection, des gaz de type NO, NO<sub>2</sub>, CO et O<sub>3</sub> sont engendrés par l'arc électrique. Les autres gaz potentiellement émis ont pour origine le revêtement, le lubrifiant ou une pollution du métal de base. Les particules ont majoritairement pour origine le métal d'apport, le revêtement du métal de base ainsi que le métal de base lui-même, qui y contribue pour une faible proportion. La quantité de fumées émises varie en fonction du gaz de protection, du procédé, du régime d'arc et des paramètres de soudage. Ce constat limite de fait la portée des informations issues de la classification des produits d'apport selon la norme NF EN ISO 15011-4<sup>2</sup>, dont l'évaluation est réalisée en laboratoire pour une configuration donnée. Cette classification est réalisée en fonction du couple taux d'émission de fumées - toxicité des fumées. La toxicité des fumées est estimée par la règle d'additivité des composants principaux en prenant en compte leur fraction dans la fumée et leur valeur limite individuelle.

## Effets respiratoires des fumées de soudage chez l'homme

Les données de la littérature montrent que les soudeurs présentent plus de risques de développer certaines pathologies respiratoires (altération de la fonction pulmonaire, asthme, fièvre des métaux, bronchite chronique, pneumoconiose, fibrose pulmonaire, infection pulmonaire), parfois malignes (cancer broncho-pulmonaire).

Le docteur Pascal Andujar, spécialiste des pathologies professionnelles au Centre hospitalier intercommunal de Créteil, a exposé ces pathologies en détaillant les composés chimiques incriminés et les mécanismes associés, tout en précisant que les déterminants de la toxicité respiratoire des fumées de soudage sont encore méconnus. Il a rappelé que le rôle des particules métalliques émises était fortement suspecté dans la survenue de certaines pathologies, en particulier celui des nanoparticules qui représentent environ 5 à 10% de la masse totale.

## Expositions professionnelles au chrome VI

Outre les asthmes, les eczémas, les ulcérations muqueuses et autres manifestations organiques, l'exposition au chrome VI et à ses composés cancérogènes accroît également le risque de cancers broncho-pulmonaires. Alors que la VLEP 8 h a été abaissée depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2014 de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , les mesures réalisées en France dressent un état des lieux préoccupant quant au niveau d'exposition des salariés. Fabrice Leray, ingénieur-conseil à la Carsat Pays de la Loire, a présenté les résultats de deux campagnes menées conjointement

par les laboratoires des Carsat et l'INRS de 2010 à 2013. Les prélèvements individuels d'atmosphère montrent que les concentrations sont très dépendantes des procédés de soudage à l'arc utilisés (Cf. Encadré): les valeurs médianes sont de 0,4; 5,2 et 3,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivement pour les TIG, MIG et électrodes enrobées. Les valeurs maximales sont respectivement de 1,2; 5,8 et 97,4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pour les électrodes enrobées, les valeurs extrêmes ont été relevées pour l'utilisation d'électrodes à forte teneur en chrome (20%) couplée à un travail en zone confinée. Dans cette situation très défavorable, des concentrations de 4,8  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ont été mesurées à l'intérieur du masque à adduction d'air du soudeur. Pour le soudage MIG, les valeurs élevées de concentration ont été relevées sur des postes de travail non équipés de captage localisé.

## Réglementation de la prévention des risques chimiques

Les fumées de soudage sont classées par le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) comme CMR (cancérogène, mutagène ou reprotoxique) de catégorie 2 (l'effet CMR est suspecté mais les informations disponibles sont insuffisantes). Certains des constituants potentiels de ces fumées sont classés par l'Union européenne 1A (effet CMR avéré pour l'homme) ou 1B (effet CMR présumé pour l'homme). Aux règles générales de prévention du risque chimique s'ajoutent donc les mesures particulières de prévention lors de toute opération exposant à un agent CMR de catégorie 1A ou 1B. Myriam Ricaud, ingénieur chimiste à l'INRS, a



© Serge Morillon/INRS



rappelé que si le règlement européen CLP précise qu'il n'est pas nécessaire d'étiqueter les métaux et les alliages sous forme massive (car ils ne présentent pas de danger pour la santé dans la forme sous laquelle ils sont mis sur le marché), il indique cependant que le fournisseur doit communiquer les informations au moyen de la fiche de données de sécurité (FDS).

En France, la VLEP 8 h pour la totalité des particules composant les fumées de soudage est de 5 mg/m<sup>3</sup>. Les VLEP de chaque constituant des fumées doivent également être respectées. Il est à noter que ces valeurs sont un objectif minimal. Il convient donc de choisir les pratiques et les équipements visant à abaisser les niveaux d'exposition à des valeurs aussi basses que possible.

L'utilisation du recyclage est soumise à des condi-

effectués par des organismes accrédités, au moins une fois par an et lors de tout changement de procédé de travail.

Les règles générales de prévention du risque chimique consistent à supprimer ou à réduire au minimum le risque d'exposition à des agents chimiques dangereux. Les principes sont appliqués dans l'ordre suivant :

1. substitution par un autre procédé d'assemblage moins dangereux;
2. réduction de la quantité d'agents chimiques dangereux émis;
3. captage à la source des polluants;
4. ventilation générale;
5. traitement de l'air extrait;
6. port d'équipements de protection individuelle.

### Réglementation environnementale et techniques d'épuration

Certaines substances contenues dans les fumées de soudage sont reconnues pour avoir des effets nocifs sur l'environnement. La réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) constitue un garde-fou au travers des valeurs limites d'émission des procédés et des valeurs cibles de qualité des milieux. Les arrêtés ministériels des 2 février 1998 et 14 décembre 2013 listent les valeurs limites d'émission des gaz (CO, NOx...) et des poussières (poussières totales, d'antimoine, de chrome, cobalt, cuivre, étain, manganèse, nickel, vanadium...). Les concentrations maximales admissibles dans les rejets (mg/m<sup>3</sup>) sont fixées en fonction des flux rejetés (en kg/h ou en g/h). Un mesurage des émissions doit être réalisé par un organisme agréé à une périodicité définie par le classement ICPE.

Après ces rappels réglementaires, Godelieve Laffranchy, du pôle Performance industrielle durable du CETIM de Saint-Étienne, a présenté les solutions disponibles d'épuration de l'air en précisant les domaines d'emploi.

### Aspects normatifs

Trois séries de normes traitent des aspects hygiène et sécurité en relation avec les fumées de soudage à l'arc (titre abrégé) :

- NF EN ISO 15011: échantillonnage et collecte pour analyse des fumées et des gaz générés par le soudage à l'arc;
- NF EN ISO 10882: échantillonnage des particules en suspension et des gaz dans la zone respiratoire des opérateurs;
- NF EN ISO 15012: équipements de captage et de filtration des fumées.

Marguerite de Luze, directeur du développement à l'Union de normalisation de la mécanique (UNM), a profité de cette journée pour rappeler l'intérêt de participer à la normalisation. La norme est

#### ENCADRÉ

#### LES PROCÉDÉS DE SOUDAGE

Trois procédés de soudage à l'arc sont principalement utilisés :

- le MIG/MAG, où l'électrode, sous forme d'un fil fusible, est amenée en continu depuis un dévidoir. Ce fil peut être massif ou fourré avec divers composés sous forme de poudre (métalliques principalement). Le bain de soudage est protégé par un mélange gazeux inerte (MIG) ou actif (MAG). Dans sa version fil fourré, il offre une très large gamme de produits d'apports. C'est le procédé de soudage le plus répandu dans l'industrie. Il correspond à plus de 75 % du poids de métal déposé en Europe;
- l'électrode enrobée, où une âme en fil massif fusible est revêtue d'un enrobage qui, lors de la fusion, crée un laitier protecteur au-dessus du bain. Sous forme de baguettes, son utilisation ne peut être que manuelle;
- le TIG, où l'arc électrique est établi entre l'extrémité d'une électrode de tungstène non fusible et la pièce à souder. Un métal d'apport est souvent utilisé, mais la fusion directe des pièces sans apport est aussi pratiquée.

tions restrictives limitant son domaine d'application. L'article R. 4222-14 du Code du travail précise que l'air provenant d'un local à pollution spécifique ne peut être recyclé que s'il est efficacement épuré. Tous les polluants émis doivent donc être connus et traités. Si cela est techniquement réalisable, avec quelques réserves pour les particules, il n'en va pas de même pour les gaz générés par le soudage (CO, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, etc.). Il a été montré que l'efficacité d'épuration de ces gaz est très faible, voire nulle, hormis pour l'ozone. De plus, les fumées de soudage peuvent contenir des agents CMR. Dans ces conditions, le recyclage est à proscrire de façon à respecter les exigences de prévention.

Lorsque les agents chimiques concernés possèdent une VLEP réglementaire contraignante ou indicative, des contrôles atmosphériques doivent être

avant tout un outil au service de la profession. Les enquêtes sur les textes sont publiques et ouvertes à tous, aussi il est important d'y participer pour ne pas « subir » ces normes.

## Réduction des fumées de soudage à la source

Après une description des procédés de soudage à l'arc (Cf. Encadré) par Fabrice Scandella, expert en matériaux et procédés à l'Institut de soudure, les moyens de réduire les émissions ont été exposés par Laurent Jubin, expert référent soudage au Cetim. En premier lieu, la propreté des pièces ne doit pas être négligée dans la recherche d'une baisse des émissions. Ainsi, une tôle dégraissée émettra 30% de fumées de moins qu'une tôle huilée.

Si le soudage à l'électrode enrobée génère un taux d'émission de poussières directement proportionnel au taux de dépôt, les relations entre taux d'émission et taux de dépôt sont bien plus complexes dans le cas du procédé MIG-MAG, où le mode de transfert entre en jeu. Celui-ci peut différer en fonction des paramètres électriques (intensité et tension de soudage), mais aussi du diamètre du fil et du gaz de protection utilisé. Le mode de transfert globulaire, que le soudeur cherche généralement à éviter car il génère beaucoup de projections adhérentes, conduit aussi à une émission importante de poussières. Malgré ces inconvénients, ce mode de transfert est encore souvent utilisé dans les ateliers. La recherche d'un mode moins perturbé, en particulier par le recours au soudage pulsé, apparaît comme une solution facile d'accès (générateur de soudage de type onduleur). Pour du fil plein, une réduction d'un facteur 2 de l'émission peut être envisagée avec ce procédé. Pour du fil fourré, ce gain est moins tangible.

Pour le soudage MAG, l'emploi d'un gaz faiblement oxydant (peu de  $\text{CO}_2$  et/ou  $\text{d'O}_2$ ) permet de réduire les émissions.

Dans le cas des électrodes enrobées, l'enrobage de type rutile permet de diminuer sensiblement les émissions de fumée ( $\approx -30\%$  par rapport à un enrobage basique). Des produits dits à basse émission, encore peu répandus, sont désormais disponibles (rutile inox) et permettent d'obtenir des réductions de 70% par rapport à des enrobages basiques.

Ces éléments ne constituent que des pistes de solutions, car chaque cas doit être étudié en fonction des contraintes du cahier des charges de l'assemblage.

## Torches aspirantes MIG/MAG

En soudage à l'arc semi-automatique, la torche aspirante est l'un des dispositifs utilisés pour réduire l'exposition aux fumées. L'intégration de l'aspiration à l'outil donne l'assurance que le captage se trouve toujours au plus près de l'émission de fumée. Francis Bonthoux, responsable d'études

au laboratoire d'ingénierie aérodynamique de l'INRS, a présenté le fonctionnement d'une torche aspirante en soulignant le compromis nécessaire pour obtenir un bon captage des fumées sans pour autant perturber la protection gazeuse.

L'efficacité de la torche aspirante est principalement conditionnée par la vitesse induite par le dispositif d'aspiration au point d'émission des fumées. Cette vitesse peut s'estimer à partir du débit extrait et de la distance séparant les ouïes d'aspiration du point d'émission des fumées. Pour que la torche présente un intérêt en termes de prévention, la vitesse induite ne doit jamais être inférieure à 0,25 m/s. Pour des intensités supérieures à 250 A, une vitesse de 0,5 m/s est à rechercher. Afin de ne pas altérer la qualité de la soudure par une aspiration de la protection gazeuse, la vitesse induite ne



© Vincent Nguyen pour l'INRS

doit pas excéder 0,7 m/s. Dans le cas des soudages en coin (intersection de trois plans), des défauts peuvent apparaître à partir de 50 m<sup>3</sup>/h de débit extrait. Le soudeur doit être informé de ce risque afin d'adapter si besoin son mode opératoire.

Captation des fumées de soudage dans une entreprise de fabrication de bennes.

## La ventilation générale en complément du captage à la source

Les captages localisés des fumées n'étant jamais efficaces à 100%, le recours à une ventilation générale est nécessaire pour assainir l'ambiance des ateliers de soudage. La conception d'une telle installation nécessite de définir la stratégie de diffusion de l'air neuf (ventilation par dilution, ventilation par déplacement) ainsi que les débits d'air à mettre en œuvre. Ce dimensionnement requiert notamment une estimation du débit d'émission de fumée à diluer dans un débit air permettant d'amener la concentration en dessous de la VLEP du polluant considéré (fumée totale ou composé spécifique).

L'ordre de grandeur du débit d'émission peut être estimé à partir des consommations en métal



d'apport en se basant sur des facteurs moyens d'émissivité liés au procédé (en mg de fumée par kg de métal d'apport déposé):

- semi-auto fil plein: 6 000 mg/kg;
- semi-auto fil fourré: 15 000 mg/kg;
- électrode (baguette): 20 000 mg/kg;
- soudage TIG: 25 mg/kg.

Si des dispositifs de captage localisé sont présents, un facteur de réduction du débit émis peut être appliqué en se basant sur les efficacités estimées des dispositifs.

Si l'on s'intéresse à un composé particulier (chrome VI, par exemple), sa fraction dans les fumées pourra être trouvée dans les FDS des produits d'apport, puis utilisée pour déterminer le débit d'émission du composé.

### Programme national CMR « fumées de soudage à l'arc »

La prévention des risques liés à l'exposition aux fumées de soudage s'appuie certes sur les choix de solutions techniques moins émissives et de moyens de captage à la source des polluants émis, mais elle doit également prendre en compte les aspects humains et organisationnels. La sensibilisation au

---

## POUR EN SAVOIR +

- Les présentations de cette journée sont disponibles sur [www.inrs-soudage2015.fr/presentations-powerpoint](http://www.inrs-soudage2015.fr/presentations-powerpoint)

risque et l'implication des soudeurs et de leur hiérarchie sont indispensables pour effectuer l'analyse de l'activité réelle à chaque poste de travail. Puis viennent les différentes étapes du projet: le choix des solutions techniques les mieux adaptées pour chaque poste de travail, la réalisation de tests en situation de production sur des postes aménagés, la rédaction du cahier des charges, la consultation des fournisseurs et, une fois les équipements de travail installés, la validation du respect des exigences inscrites au cahier des charges.

Guy Le Berre, responsable du Centre de mesures physiques de la Carsat Bretagne, a souligné que cette démarche est promue par les Carsat à travers une action nationale conduite entre 2014 et 2017 et plus particulièrement dirigée vers les entreprises de la chaudronnerie et de la construction métallique (charpentes, machines agricoles et machines en acier inoxydable pour l'alimentaire et la pharmacie).

### Cagoule à ventilation assistée/adduction d'air

Bénédicte David, responsable HSE à STX France - Saint-Nazaire, a présenté un retour d'expérience de plus de dix ans sur les équipements de

protection individuelle respiratoire de type cagoules. En introduction, elle a rappelé qu'ils viennent en complément de mesures de prévention collective, mais qu'ils s'avèrent indispensables dans certaines configurations de travail. Ces EPI sont aujourd'hui complètement adoptés par les soudeurs, qui les ont intégrés dans leur « caisse à outils ».

Deux types d'EPI sont employés:

- les cagoules à ventilation assistée, qui filtrent l'air ambiant;
- les cagoules à adduction d'air alimentées en air respirable.

Dans les deux cas, la surpression à l'intérieur du masque limite l'entrée de polluants au niveau du joint facial. Le confort des nouvelles cagoules, dont l'air est apporté au niveau de la bouche et non sur le dessus, est souligné.

Chez STX, le port de la cagoule à adduction d'air est systématique pour les travaux en zones confinées, mais il est également un « plus » pour les zones chaudes ou inconfortables. Suivant les cas, l'air est apporté par un réseau ou une réserve d'air comprimé. Il est issu d'un réseau dédié comprenant plusieurs étages d'épuration et de filtration (déshuileur, tamis moléculaire pour CO<sub>2</sub>, charbon actif pour hydrocarbures et odeurs, absorbeur de CO, filtre poussières). Les utilisateurs sont formés avant remise de l'équipement. Un temps d'adaptation de quelques semaines est constaté. Ce dispositif représente un coût moyen de 1 200 €/soudeur/an.

En clôture de cette journée, Séverine Brunet, directeur des applications à l'INRS, a souligné la diversité des informations à prendre en compte lors de l'analyse d'un procédé de soudage en vue de réduire l'exposition des soudeurs aux fumées. Une prévention efficace est souvent le fruit d'une complémentarité entre la réduction à la source et des équipements de protection. Cependant, la fiabilité mécanique des soudures, omniprésentes dans les secteurs du transport, de l'énergie, du bâtiment..., ne doit pas être affectée par ces évolutions. La démarche requiert, au final, des compétences élargies et nécessite une synergie entre acteurs de la prévention, organismes de recherche, centres techniques et constructeurs. Dans ce contexte, la capitalisation de solutions exemplaires est une nécessité pour avancer. La rédaction d'un guide commun sur les solutions de réduction des expositions aux fumées de soudage est envisagée, et l'INRS appelle de ses vœux que ce travail aboutisse. ●

1. Cetim (Centre technique des industries mécaniques), IS (Institut de soudure), Symop (Syndicat des machines et technologies de production), CIS-FIM (Commission inter-professionnelle Soudage de la Fédération des industries mécaniques).

2. NF EN ISO 15011-4, août 2006, Hygiène et sécurité en soudage et techniques connexes - Méthodes de laboratoire d'échantillonnage des fumées et des gaz émis par le soudage à l'arc - Partie 4: fiches de données sur les fumées.

## Abonnez-vous à



## Nouvelle formule

- Des informations plus opérationnelles et plus diversifiées
- Des articles d'analyse
- Des outils et des méthodes

### Au sommaire du n°242 (mars 2016) :

**Décryptage** / Bien-être et qualité de vie au travail, risques psychosociaux: de quoi parle-t-on?

**Dossier** / Cabine d'engin bien équipée, sécurité améliorée

**Note technique** / Conception des espaces de travail: la prévention en amont

**Fiche HST** / Comment mesurer les expositions atmosphériques aux agents chimiques et biologiques?

### Et d'autres articles et infos dans les rubriques:

Actualité juridique, Focus normalisation, Notes techniques, Etude de cas, Congrès, Participez à la recherche, Formation, Sélection bibliographique et Veille & prospective

[www.hst.fr](http://www.hst.fr)

- OUI, je m'abonne à Hygiène et sécurité du travail (HST)** pour une durée d'un an, soit 4 numéros. Un bulletin de réabonnement me sera adressé à échéance.

### À remplir en lettres capitales:

- M<sup>ME</sup>  M<sup>LLE</sup>  M.

NOM: .....

SOCIÉTÉ: .....

ADRESSE: .....

VILLE: .....

TÉL.: .....

PRÉNOM: .....

CODE APE: .....

CODE POSTAL: .....

PAYS: .....

E-MAIL: .....

### Profession (cochez la case):

- Chargé de prévention en entreprise  
 Intervenant en prévention des risques professionnels (IPRP)  
 Médecin du travail  
 Formateur  
 Ressources humaines  
 Chef d'entreprise  
 Chercheur  
 Autre

### Tarifs annuels 2016\* (1 an/4 n°)

- France: 72 €  
 DOM: 78 €  
 TOM et Europe: 84 €  
 Reste du monde: 90 €

\* exonération TVA

### Je règle comptant:

- Par chèque à l'ordre de l'INRS  
 Par virement bancaire sur le compte de l'INRS (IBAN: FR44 3000 2005 7200 0000 0309 D24 - BIC: CRLYFRPP) et recevrai une facture acquittée.

INRS service abonnements - Com & Com  
Bâtiment Copernic - 20, avenue Édouard-Herriot  
92 350 Le Plessis-Robinson  
Tél.: 01 40 94 22 22  
E-mail: [inrs@cometcom.fr](mailto:inrs@cometcom.fr)

HST 242