

Notes techniques

TORCHE ASPIRANTE MIG/MAG: UN NOUVEAU RÉFÉRENTIEL POUR AMÉLIORER LEUR EFFICACITÉ

FRANCIS BONTHOUX
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

FLORENCE HELLA
INRS,
département
Homme
au travail

Utilisées pour capter les fumées de soudage, les torches aspirantes MIG/MAG ne font pas l'unanimité. Leur efficacité est en cause. Partant de ce constat, l'INRS a conduit une étude pour mieux comprendre comment ces dispositifs fonctionnent et, ainsi, définir un nouveau référentiel pour la conception, l'installation et l'utilisation des torches aspirantes.

Le procédé de soudage MIG/MAG, technologie d'assemblage par fusion de pièces métalliques en contact nécessitant une source de chaleur et un produit d'apport, émet des fumées susceptibles d'être cancérogènes pour l'homme (Cf. Encadré 1)¹. En outre, des asthmes professionnels² (la bronchite chronique est l'atteinte la plus fréquemment rencontrée) dus aux oxydes métalliques sont également observés chez les soudeurs. De fait, la réduction des expositions aux fumées de soudage constitue un enjeu de prévention majeur. Plusieurs solutions existent aujourd'hui pour limiter

les risques. Une baisse des émissions peut être obtenue en modifiant les paramètres du procédé: produit d'apport moins émissif et/ou moins dangereux [1], gaz de protection faiblement oxydant [2], générateurs de soudage de type onduleur permettant de limiter les énergies utilisées [3]. Néanmoins, il ne faut pas sous-estimer les difficultés inhérentes à une modification du produit d'apport ou du procédé qui nécessite, outre la recherche de la solution technique et l'objectivation du gain du point de vue de l'exposition, une validation des propriétés mécaniques des soudures. Les systèmes de protection respiratoire à ventilation assistée et adduction d'air limitent

RÉSUMÉ

Les taux de dépôt élevés et les hautes températures mises en œuvre dans le soudage MIG/MAG sont à l'origine de forts dégagements de fumées. Leur classement dans le Groupe 2B « cancérogène possible » par le Circ incite à la mise en place de solutions de captage localisé. La torche aspirante, dont l'aspiration

est intégrée à l'outil, est la solution la plus séduisante, mais en pratique l'efficacité de captage est souvent décevante. Les principaux paramètres conditionnant cette efficacité (débit extrait, position des ouïes d'aspiration, angle d'inclinaison de la torche, taux de dépôt...) ont été étudiés. Ces résultats permettent

d'orienter la conception des torches aspirantes et fournissent des éléments pour fixer des objectifs de moyen. La vitesse théorique induite par l'aspiration, estimée à partir du débit extrait et de la position des ouïes, est le paramètre principal de conception: sa valeur ne devrait jamais être inférieure à 0,25 m/s.

Fume extraction torch for GMA Welding: a new repository for improving the efficiency of such torches

The high deposition rates and high temperatures implemented in semi-automatic welding lead to high fume emissions. Such emissions being classified as Group 2B, "possibly carcinogenic" by the IARC, prompts implementation of local collection systems. The fume extraction torch, in which suction is integrated into

the tool, is the most attractive solution, but its capture efficiency is often disappointing in practice. The main parameters affecting fume capture efficiency were studied (extracted flow rate, positions of suction openings, torch angle of inclination, deposition rate, etc.). These results provide guidance in

fume extraction torch design and data for setting resource objectives. The theoretical velocity induced by suction is estimated from the extracted flow rate and the suction opening position; it is the main design parameter and its value should never be less than 0.25 m/s.

également l'exposition. Problème: ils n'évitent pas la pollution de l'atelier, exposant d'autres salariés, voire le soudeur lui-même pendant les nombreuses phases où il effectue d'autres tâches sans son masque (ajustement, pointage, manutention...).

Dans ce contexte, les solutions de captage des fumées à la source demeurent incontournables. La torche aspirante (Cf. Figure 1), dispositif d'aspiration intégré à la torche, est souvent la seule solution envisageable dès que l'une des dimensions des pièces à assembler dépasse un mètre. Ce dispositif ne fait toutefois pas l'unanimité. Certains utilisateurs critiquent la rigidité du faisceau, le manque d'efficacité du captage, l'encombrement de la buse et le surpoids de la torche entraînant des troubles musculosquelettiques (TMS) et une baisse de productivité. D'autres soulèvent, lors du captage, les problèmes liés à l'aspiration du gaz de protection qui crée des défauts dans les soudures.

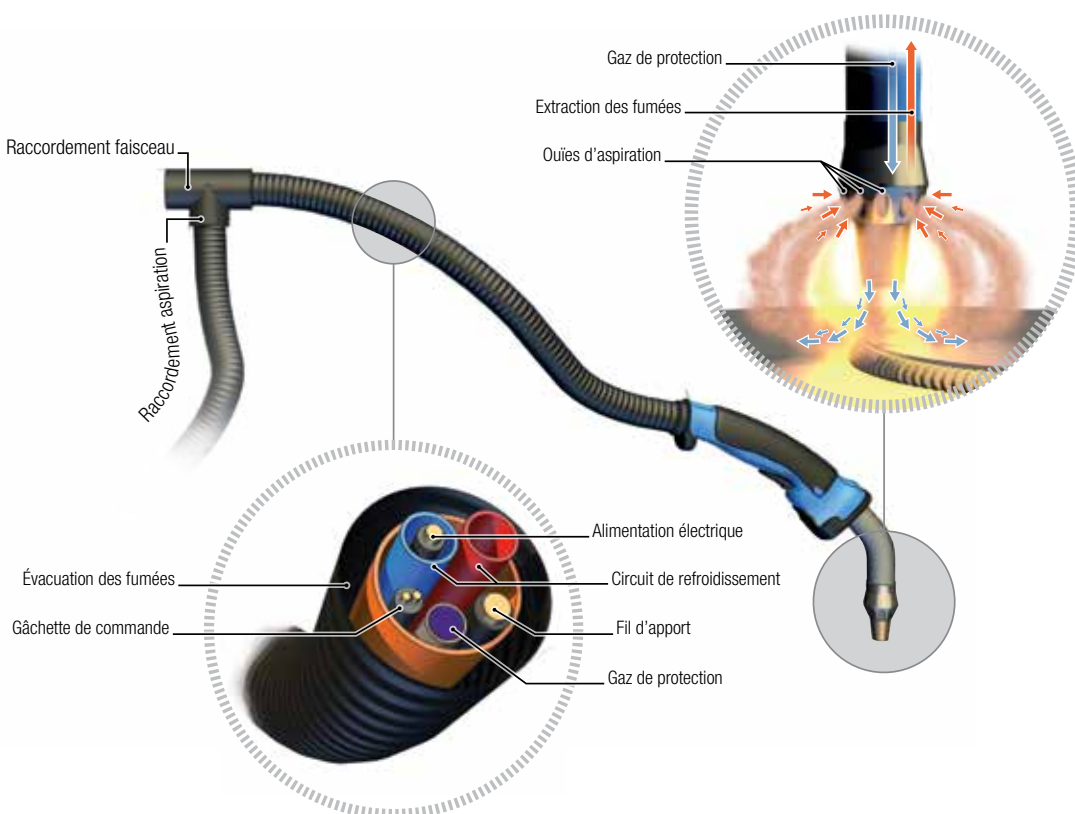
Indépendamment des questions liées à l'ergonomie et à la qualité de la soudure, les connaissances sur les paramètres conditionnant l'efficacité de captage sont limitées. En effet, la multiplicité des modèles commerciaux de torche, des débits de captage associés et surtout des configurations de soudage (géométries des pièces, mode de transfert, longueur de fil libre, débit et nature du gaz de protection...) masquent les contributions individuelles des paramètres et freinent l'émergence de recommandations à caractère générique.

Ce constat a incité l'INRS à entreprendre des

ENCADRÉ 1 LES FUMÉES DE SOUDAGE

Du fait des hautes températures atteintes au point de fusion, les différents procédés de soudage émettent des fumées qui peuvent être inhalées par les opérateurs et les personnes travaillant à proximité. Ces fumées sont composées d'un mélange de gaz (gaz protecteurs tels que l'hélium, gaz émis par l'opération elle-même tels que le monoxyde de carbone ou l'ozone et gaz issus de la dégradation thermique ou photochimique de revêtements éventuellement présents sur les pièces tels que le phosgène ou le formaldéhyde) et de poussières métalliques (oxydes de cadmium, composés du chrome hexavalent, fluorures, oxydes de nickel, de cobalt et de béryllium, etc.). Les fumées peuvent selon leur composition, leur concentration et la durée d'exposition, présenter des effets néfastes pour la santé et être à l'origine de pathologies professionnelles.

travaux en vue, d'une part, de mettre à disposition des données permettant à terme une amélioration de ce dispositif de captage et, d'autre part, de définir un nouveau référentiel pour la conception des torches aspirantes pour le soudage MIG/MAG et leur installation. Des expérimentations ont ainsi été menées sur un banc de soudage permettant de collecter les informations relatives au procédé (intensité tension, vitesse de fil...) et celles relatives au captage (débit d'air extrait, débit d'émission de fumées, efficacité de captage...). Les essais ont été réalisés avec la configuration la plus communément



← FIGURE 1
Schéma de principe d'une torche aspirante.

**ENCADRÉ 2
L'AMÉNAGEMENT DU POSTE DE TRAVAIL**

Les contraintes supplémentaires apportées par l'intégration de l'aspiration à la torche doivent être prises en compte dans l'aménagement du poste de travail. L'étude de terrain a montré que l'installation de la torche aspirante ne modifie pas fondamentalement l'activité des soudeurs, mais la rend plus difficile du fait du poids et du manque de maniabilité de la torche. Ces contraintes obligent les soudeurs à s'adapter. Par exemple, on observe des postures identiques, mais davantage de recherche d'appui sur les avant-bras et plus de difficultés à garder longtemps une même position. Un aménagement des postes avec des potences fixes 3D ou des chariots

« girafe » permet de soulager un peu les soudeurs du poids du faisceau de la torche aspirante. Cependant, ces aménagements ajoutent une tâche supplémentaire de mise en œuvre. La potence fixe 3D, où l'ensemble dévidoir + faisceau de torche est embarqué sur un bras mobile, est la seule à recueillir la satisfaction générale des soudeurs. En particulier, le chariot « girafe » est problématique lors des déplacements en raison des câbles et du flexible d'aspiration traînant au sol. Le déplacement vers l'avant ne pose pas de réels problèmes, mais le retour en arrière nécessite de gérer les branchements afin qu'ils n'entravent pas le déplacement. Ce type de dispositif doit être

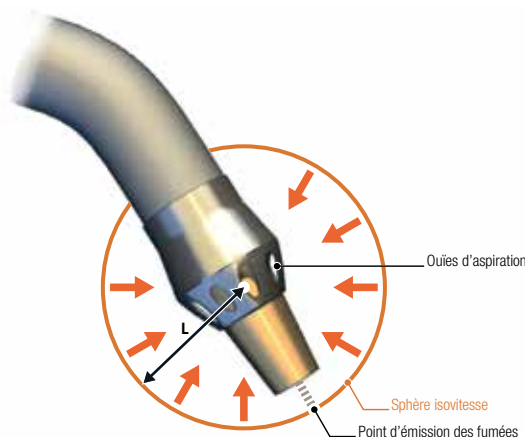
réservé à un usage à poste fixe ou à des déplacements de faible amplitude. Par ailleurs, l'inclinaison de la torche est un facteur très influent sur l'efficacité de captage. Le poste de travail doit être conçu de manière à favoriser une tenue de la torche où la buse est maintenue perpendiculairement à la surface à souder. Un poste de travail à hauteur variable ou l'utilisation d'une estrade y concourent, tout en apportant un confort supplémentaire à l'utilisateur. L'utilisation d'un positionneur ou d'un vireur permettant de déplacer la pièce par sa mise en rotation est une autre solution.

rencontrée: soudage avec fil massif (G3Si1) sur acier C-Mn avec un gaz de protection M21 (82% argon - 18% CO₂), mais la plupart des conclusions sont transposables à d'autres configurations. Ces essais ont été complétés par des études sur sites, notamment sur les aménagements des postes (Cf. Encadré 2). Pour rappel, le développement des torches aspirantes a été initié dans les années 1970. La difficulté de leur conception consiste à ajouter l'aspiration aux nombreux flux déjà présents dans le diamètre de passage limité qu'offre la torche au niveau de la poignée (alimentation électrique, fil d'apport, gaz de protection, système de refroidissement à eau, extraction des fumées, commande de la gâchette). Des études réalisées à partir de 1985 [4] sur les torches disponibles concluaient qu'un débit d'air extrait de l'ordre de 100 m³/h permettait de capter efficacement les fumées. Cette valeur a été retenue en France comme « objectif de moyen »

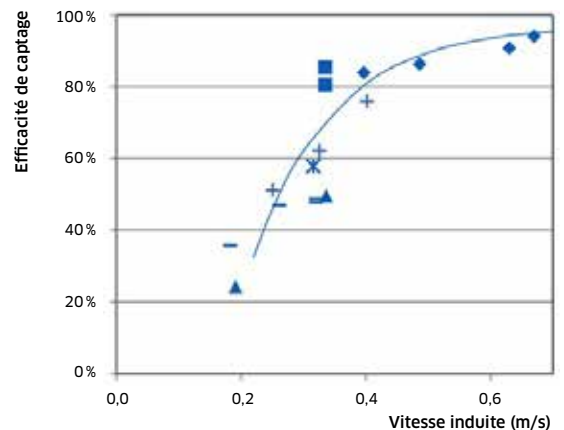
en prévention. Est-elle pour autant fiable? L'efficacité de captage³ traduit la part de l'émission de fumées qui est captée par l'aspiration. Sa valeur est liée à la capacité de la torche à induire une vitesse d'aspiration suffisante pour compenser les mouvements des fumées. Ces mouvements dépendent de différents phénomènes physiques: vitesse du gaz de protection, mouvement convectif induit par le panache de fumées, accélération des gaz dans l'arc électrique, courant d'air perturbateur, etc. Plus précisément, l'extraction d'air induit une sphère d'isovitesse centrée sur les ouïes d'aspiration (Cf. Figure 2). Le débit extrait, rapporté à la surface de la sphère d'isovitesse, permet d'estimer une vitesse théorique de captage à la distance L. Les essais réalisés montrent le fort impact de la position des ouïes sur la vitesse induite et ce pour différents débits d'air extraits. Si on double la distance L, le débit doit être multiplié par 4 pour

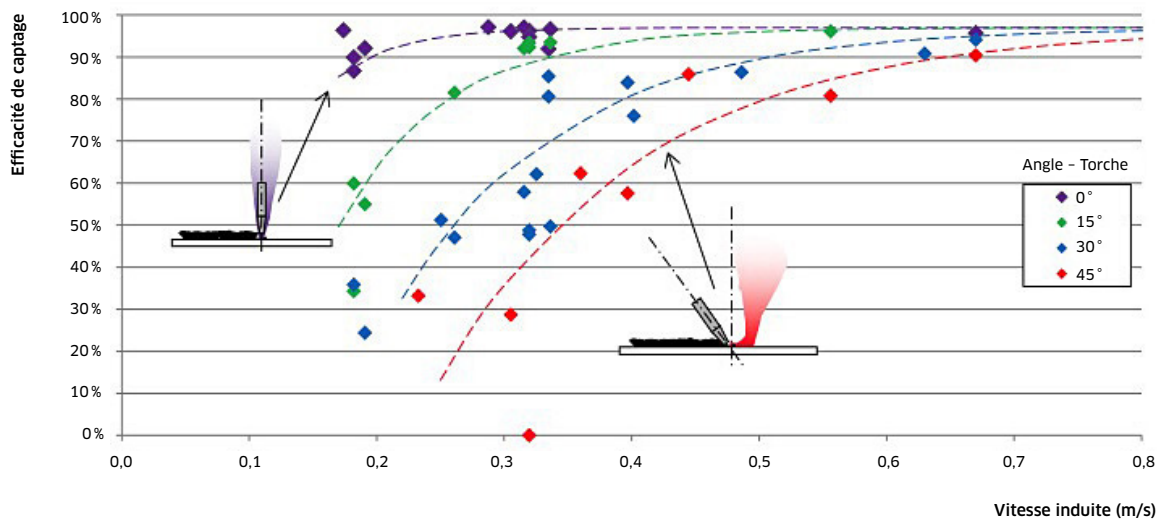
FIGURE 2
(à gauche) →
La surface isovitesse créée par l'aspiration.

FIGURE 3
(à droite) →
L'efficacité de captage en fonction de la vitesse induite pour 6 modèles de torches aspirantes (■, +, -, etc.).



© 3 Ziegler pour l'INRS





← FIGURE 4
Influence de l'angle
d'inclinaison
de la torche sur
l'efficacité de
captage.

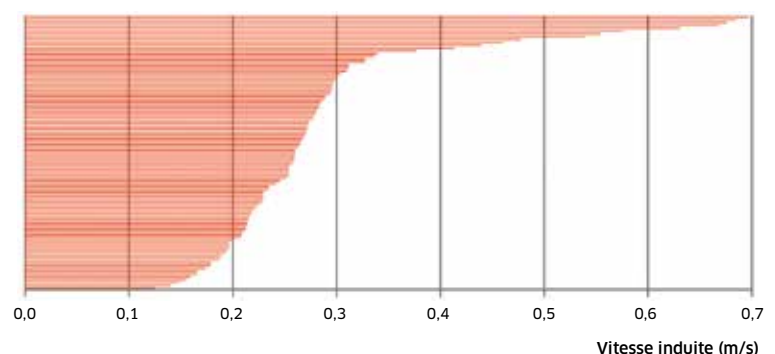
obtenir les mêmes conditions. La figure 3 illustre, pour une même configuration de soudage, l'évolution de l'efficacité pour six modèles de torche utilisés à différents débits (la distance L varie de 55 à 97 mm). La cohérence dans le positionnement des points confirme que le modèle de torche peut être réduit au seul paramètre « distance des ouïes - point d'émission des fumées ».

La figure 4 montre pour sa part l'influence de l'inclinaison de la torche pour une configuration de soudage à taux de dépôt (masse de fil d'apport consommé) de 0,85 g/s. On constate que pour un angle de 0° (torche perpendiculaire à la surface à souder), l'efficacité est supérieure à 90%, même avec des vitesses induites faibles (inférieures à 0,2 m/s). Ensuite, avec l'inclinaison de la torche, l'efficacité baisse. Pour atteindre 90%, il faut respectivement 0,33, 0,50 et 0,65 m/s de vitesse induite pour les angles 15, 30 et 45°. L'allure des courbes trouve une double explication. Tout d'abord, l'inclinaison de la torche fait que les ouïes d'aspiration s'écartent de la verticale et donc du cheminement naturel des fumées mues par la convection. Toujours du fait de cette inclinaison, le gaz de protection injecté au niveau de la buse génère des fumées dont la vitesse est tangentielle à la surface. La figure 5 donne des éléments de comparaison par rapport aux valeurs de vitesses induites rencontrées sur site. Cet histogramme (97 mesures) donne une vision plutôt optimiste dans la mesure où les installations ont été vérifiées et remises en état lorsque cela était nécessaire. La médiane se situe à 0,26 m/s et seulement 17% des valeurs sont supérieures à 0,33 m/s.

Les caractéristiques de l'émission de fumées constituent un autre facteur influent de l'efficacité de captage. La vitesse de dévidage du produit d'apport et son diamètre, de par la puissance nécessaire à la fusion, imposent en partie le point de fonctionnement [tension U, intensité I]. Pour un gaz de protection donné, et en fonction de ce couple [U, I], le produit d'apport se dépose suivant différents modes

de transfert [5]. À faible puissance, le mode de transfert est de type court-circuit : le fil vient au contact des pièces à souder, créant un court-circuit qui va l'échauffer jusqu'à la striction du fil. Une goutte de produit d'apport se détache et l'arc apparaît jusqu'à ce que l'avance du fil referme le circuit et initie un nouveau cycle. À forte puissance, le mode de transfert est de type pulvérisation axiale: il n'y a pas de contact du fil avec les pièces, mais création d'un arc stable dans lequel l'extrémité du fil fond de manière continue. Les forces électrique et magnétique, qui assurent la projection des gouttelettes de produit d'apport dans le bain de fusion, sont à l'origine d'une forte accélération des gaz dans la zone de l'arc électrique [6]. Le mode intermédiaire, dit globulaire ou grosses gouttes, génère des gouttes d'un diamètre équivalent à plusieurs fois le diamètre de fil dont le détachement erratique crée des projections et un fort dégagement de fumées.

L'augmentation du taux de dépôt s'accompagne globalement d'une augmentation de la quantité de fumées produite et d'un renforcement des effets convectifs liés à la puissance nécessaire à la fusion du fil. Partiellement corrélés aux taux de dépôt, les effets imputables aux modes de transfert viennent s'ajouter. Dans une approche simplifiée, la figure 6 agrège, par classe de taux de dépôt, les efficacités de captage acquises avec une inclinaison de la torche de 30° pour différents diamètres de fil et modèles



↓ FIGURE 5
Échantillon
de 97 mesures
de vitesses
induites relevées
sur site (source
Carsat Bretagne
et Carsat Midi-
Pyrénées).

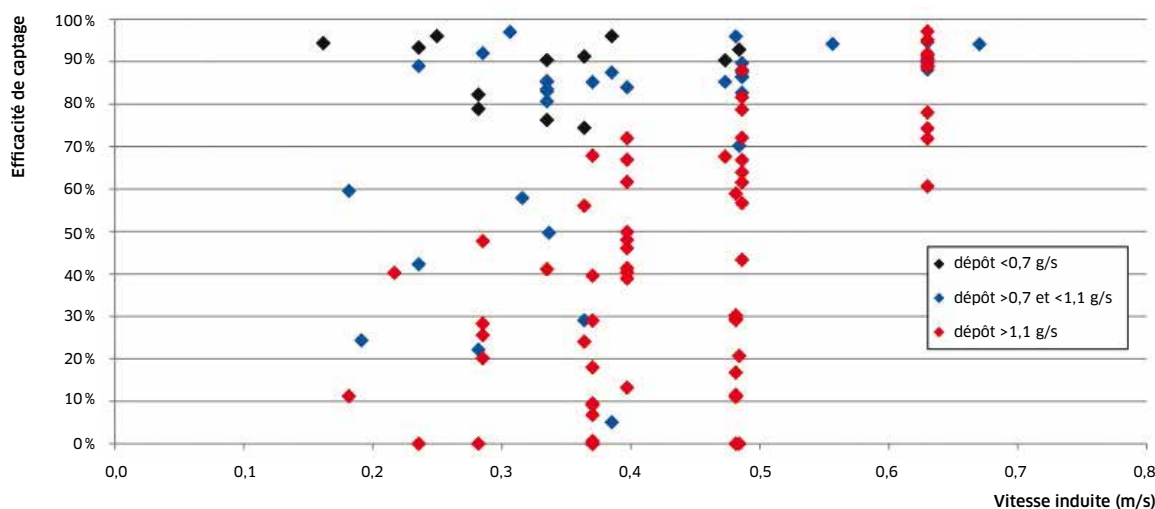


FIGURE 6 → Influence du taux de dépôt sur l'efficacité de captage.

de torche. Pour les taux de dépôt inférieurs à 0,7 g/s (mode court-circuit pour les fils de diamètre 0,8 à 1,2 mm), les efficacités sont élevées. À l'inverse, pour les taux de dépôt supérieurs à 1,1 g/s (majoritairement en mode pulvérisation axiale), les efficacités sont faibles.

À l'issue de ces travaux, plusieurs constats peuvent être faits. Tout d'abord, l'inclinaison de la torche par rapport à la perpendiculaire aux pièces à souder induit une baisse de l'efficacité de captage. Dans la mesure du possible, le poste de travail devrait être aménagé pour favoriser des positions de soudage où la torche est tenue perpendiculairement à la surface. En outre, la vitesse induite par l'aspiration au point d'émission des fumées est une des variables explicatives de l'efficacité de captage. En considérant des inclinaisons maximales de 30° de la torche, cette vitesse induite ne devrait pas être inférieure à 0,25 m/s pour que le captage ait une utilité (50% d'efficacité). Un protocole de mesure de cette vitesse est proposé (Cf. Focus sur... p. 57).

Sans que leurs contributions respectives soient clairement identifiées, la puissance et le mode de transfert forment également un facteur influent sur l'efficacité. En simplifiant, on peut considérer que les configurations permettant des taux de dépôt supérieurs à 1,1 g/s rendent le captage difficile et nécessitent des vitesses induites supérieures à 0,5 m/s. L'examen des torches présentes sur le marché européen montre que 50% n'atteignent pas 0,25 m/s, même raccordées à des groupes individuels d'aspiration de 4 kW. Certaines le permettent au prix de capteurs mobiles surajoutés qui réduisent artificiellement la distance « ouïes - point d'émission des fumées ». Sur le terrain, on constate que ces capteurs additionnels sont rapidement démontés en raison de la gêne qu'ils occasionnent. Augmenter les débits d'air extraits pour atteindre ces vitesses induites ne semble pas non plus être la bonne approche, car des travaux complémentaires en cours semblent montrer qu'un débit élevé crée un risque de non-qualité de soudure dans les coins. L'amélioration de l'efficacité des torches aspirantes passerait par la réduction des distances « ouïes - tube contact ». Une valeur maximale de 35 mm constitue un objectif réaliste. ●

BIBLIOGRAPHIE

[1] NF EN ISO 15011-4 - Hygiène et sécurité en soudage et techniques connexes - Méthode de laboratoire d'échantillonnage des fumées et des gaz - Partie 4: fiches d'information sur les fumées, Afnor, mars 2009.

[2] COSTA L. - Correlation between the welding process and the development of fumes: characterization, analysis and risk management. *Welding International*, Volume 28, Issue 9, 2014.

[3] ROULY G., MALTRUD F., JUBIN L. - Réduire les poussières émises lors du soudage à l'arc, 2014, Lavoisier SAS.

[4] CORNU J.-C., MULLER J.-P., GUÉLIN J.-C. - Torches aspirantes de soudage MIG/MAG. Méthode de mesure de l'efficacité de captage. Étude de paramètres d'influence. INRS, Note documentaire, ND 1852, 1991.

[5] KOU S. - *Welding Metallurgy (second ed.)*, Wiley Interscience, New York, 263-295, 2002.

[6] DREHER M., FÜSSEL U. ET AL. - Numerical simulation of the shielding gas flow with GMA welding and options of validation by diagnostics, Int. Doctoral Semin. Proc., 2009, 427-437.

1. Ces fumées sont classées Groupe 2B «cancérogène possible» par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ). Dans les faits, on observe un excès de 30% à 50% de cancer broncho-pulmonaire chez les soudeurs. Ces derniers étant toutefois exposés à de nombreuses substances cancérogènes (dont l'amiante), il faut donc rester prudent quant à l'interprétation de ces résultats.

2. Voir le Tableau des maladies professionnelles n°44.

3. Une norme européenne (Pr EN ISO 15012-3) de caractérisation de l'efficacité des torches aspirantes est en cours de rédaction. Elle devrait, à terme, fournir à l'utilisateur final un outil de sélection des torches aspirantes.

Remerciements

Cette étude a été réalisée avec la coopération des agents des Carsat/Cram.

FOCUS SUR... Protocole de mesure de la vitesse induite par les torches aspirantes

La vitesse induite au point d'émission des fumées est la variable explicative principale de l'efficacité de captage. La méthode la plus robuste pour estimer cette vitesse est de considérer le débit extrait Q et la distance L séparant les ouïes d'aspiration du point d'émission. Les torches doivent être évaluées dans leur configuration de travail :

- présence d'un éventuel captage amovible/réglable: si pour des raisons d'accessibilité ou autres, la torche est utilisée habituellement sans l'élément amovible, c'est cette configuration qui sera retenue pour les calculs;
- si le groupe d'aspiration assure l'extraction sur plusieurs torches, la configuration retenue devra refléter le fonctionnement normal.

La protection gazeuse doit être hors service pendant la mesure. Les éléments concernant les capteurs amovibles et le foisonnement seront indiqués dans le dossier d'installation. Idéalement, ces éléments sont déjà indiqués dans le cahier des charges. Le système de mesure de débit doit permettre une mesure du débit dans une gamme 40-130 m³/h.

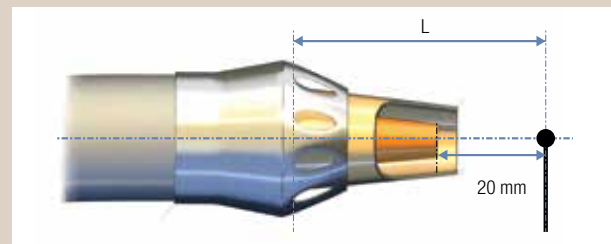
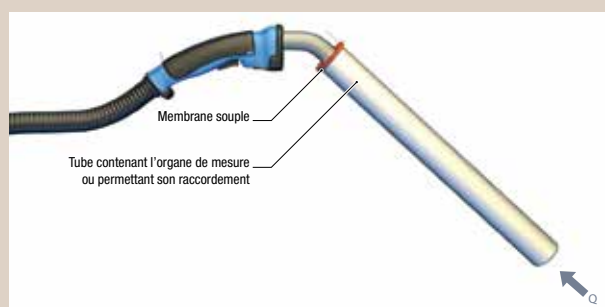
Plusieurs méthodes normalisées sont disponibles :

- normes ISO 5167-2 - Diaphragme;
- normes ISO 5167-4 - Venturi;
- norme ISO 3966 (ex-norme NF X 10-112) - Vitesses en conduit en plusieurs points;
- norme NF X 10-113 - Vitesse en conduit en un seul point.

La méthode par la norme NF X 10-113 (vitesse en conduit en un seul point) est détaillée ci-dessous. D'autres méthodes non normalisées sont utilisables, mais elles doivent être préalablement raccordées en débit.

La mesure nécessite de canaliser l'air aspiré aux ouïes de la torche sans pour autant les obturer. Par exemple, une pièce d'adaptation munie d'une membrane perforée souple permet d'assurer l'étanchéité autour du col de cygne.

La mesure de débit est réalisée en intégrant les paramètres acquis sur 30 secondes. Le débit d'air Q est

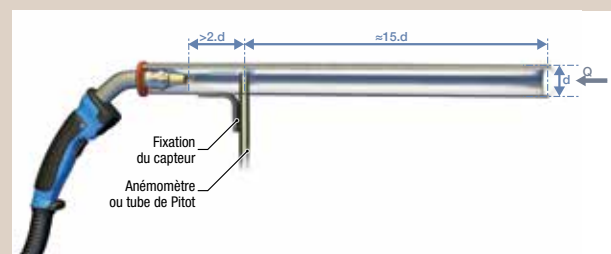


exprimé dans les conditions de pression et de température ambiantes.

La mesure de la distance L séparant les ouïes d'aspiration du point d'émission de fumées est réalisée en considérant le point le plus éloigné de l'extrémité de la buse. Le point théorique d'émission des fumées est placé à 20 mm de l'extrémité du tube contact.

La vitesse induite V est calculée à partir de l'expression $V=Q/4\pi L^2$. Avec Q en m³/s et L en m, la valeur obtenue est en m/s.

Une méthode de mesure du débit d'air selon la norme NF X 10-113 est ici proposée. Elle est accessible avec du matériel facilement disponible sur le marché. Telle que décrite dans la norme, elle nécessite d'être raccordée en débit par l'intermédiaire d'un facteur de conduit (*pipe factor*). Il permet, à partir de la connaissance de la vitesse au centre (V_c), de calculer



la vitesse moyenne de l'écoulement dans le conduit et d'en déterminer le débit. Les travaux menés par l'INRS (téléchargeables sur www.inrs.fr: HST PR49-227) permettent de s'affranchir de ce raccordement si la géométrie est proche de celle proposée ci-après. Le facteur de conduit est alors proche de 0,89. Le débit extrait est calculé à partir de la vitesse mesurée au centre par l'expression $Q=(\pi d^2/4) \cdot 0,89 \cdot V_c$. Avec d en m et V_c en m/s, la valeur obtenue est en m³/s.

Un conduit de diamètre de 50 à 60 mm constitue un bon compromis pour un ensemble facilement transportable (\approx 1m de long) tout en permettant un positionnement précis du capteur au centre. Il est nécessaire d'avoir un dispositif permettant de fixer le capteur dans l'axe de l'écoulement. Les ordres de grandeur des vitesses mesurées sont de 4 à 20 m/s, ce qui autorise l'emploi d'un anémomètre thermique ou d'un tube de Pitot.