

Base Colchic

La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques Colchic regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées sur les lieux de travail par les huit laboratoires interrégionaux de chimie (LIC) des Carsat/Cramif et les laboratoires de l'INRS. Elle est gérée par l'INRS et a été créée en 1987 à l'initiative de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam).

À ce jour, Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 agents chimiques.

PORTRAIT RÉTROSPECTIF DES EXPOSITIONS AUX FUMÉES DE SOUDAGE DES MÉTAUX DE 2000 À 2020

Cet article présente un portrait rétrospectif des expositions aux fumées de soudage des métaux en France entre les années 2000 et 2020. Depuis 2018, les fumées de soudage sont classées cancérigènes pour l'homme (groupe 1) par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ).

BARBARA
SAVARY,
ANDREA
EMILI
INRS,
département
Métrologie
des polluants

Le soudage est un procédé permettant d'assembler, par chauffage ou par fusion, deux éléments métalliques (ou plastiques) pour assurer la continuité entre les parties assemblées. Le choix du procédé va dépendre du métal de base, de l'épaisseur soudable à atteindre, de la position de soudage, du lieu où se déroule l'opération de soudage (en atelier ou sur chantier), de l'aspect économique et de la mécanisation ou de l'automatisation de la technique. Les procédés de soudage peuvent être classés en fonction de la source d'énergie mise en œuvre : thermochimique, électrochimique, mécanique ou focalisée (Cf. Figure 1) [1, 2].

En France, les procédés à l'arc électrique à électrode fusible (*metal inert gas* - MIG et *metal active gas* - MAG) et à électrode réfractaire (*tungsten inert gas* - TIG) sont les plus utilisés [3]. La consommation en métal d'apport pour ces trois procédés représente 80 % de la consommation globale en

matériaux d'apport pour l'ensemble des procédés de soudage [4].

Lors de la mise en œuvre d'un procédé de soudage, les salariés sont exposés à un mélange d'aérosols et de gaz, appelé « fumées de soudage », dont la composition dépend principalement du matériau d'apport et de la technique utilisés. De manière générale, elles sont constituées [5, 6] :

- à 95 % environ, de poussières de métaux ou d'oxydes métalliques (fer, aluminium, béryllium, zinc, cobalt, nickel...), de composés du chrome VI ou de fluorures ;
- de poussières issues de la décomposition du flux et de l'enrobage ;
- de gaz de protection comme l'argon ou l'hélium ;
- de gaz émis par le procédé comme le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote ou l'ozone ;
- de particules et de gaz émis par les peintures, les graisses, les lubrifiants, les décapants, les vernis, les solvants ou les salissures recouvrant les pièces

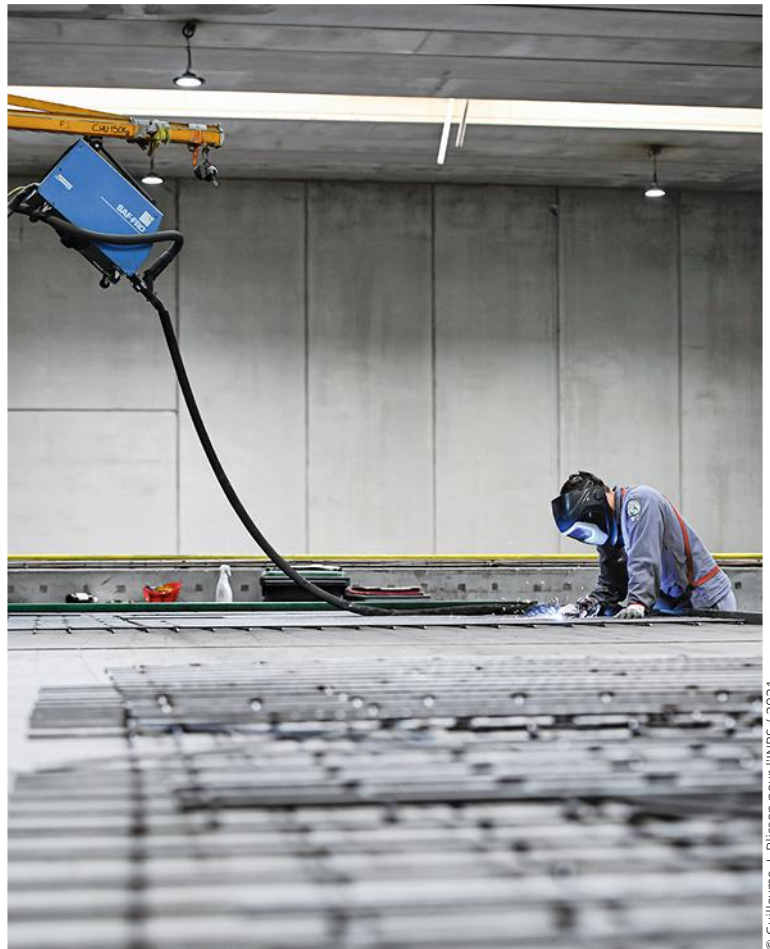
Un biais d'interprétation est susceptible d'être introduit lors de l'exploitation des bases de données nationales d'expositions professionnelles telles que Colchic. En effet, ces bases n'ont pas été conçues dans le but d'être représentatives de l'ensemble des travailleurs ou d'un secteur professionnel donné.

à souder (phosgène, formaldéhyde, cyanure ou chlorure d'hydrogène, composés organiques volatils, etc.).

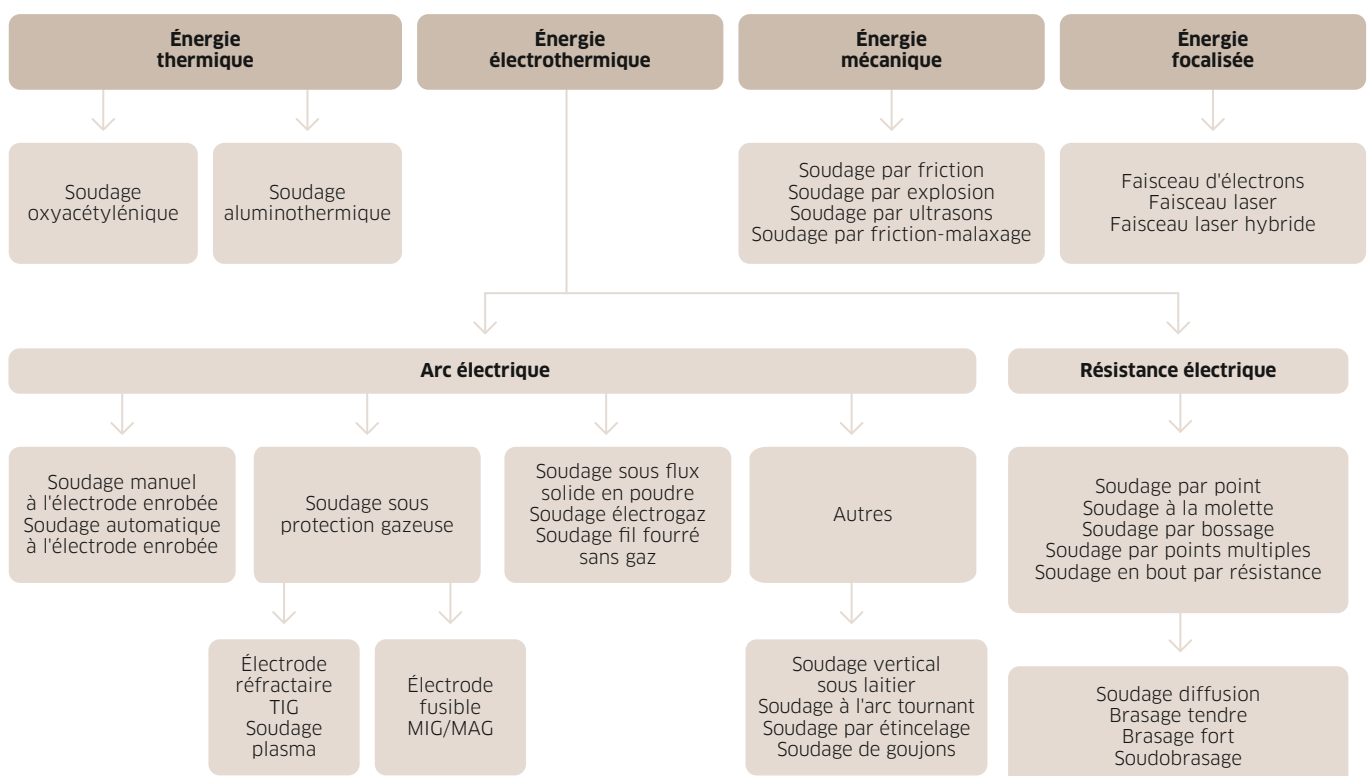
Selon l'enquête Sumer de 2017, 528 700 salariés français déclaraient être exposés aux fumées de soudage, soit 2,1 % de la population salariée, principalement dans de très petites, petites et moyennes entreprises (TPE et PME). 85 % des salariés affirmaient être exposés à au moins trois substances chimiques lors d'opérations de soudage [7].

Bien que de nombreuses pathologies soient associées à l'exposition aux fumées de soudage (atteintes des voies respiratoires, atteintes oculaires, pneumoconioses, cancers...), il n'existe pas de tableau de maladie professionnelle (TMP) spécifique. En revanche, les TMP du régime général n° 1 « Affections dues au plomb et à ses composés » et n° 61 « Maladies professionnelles provoquées par le cadmium et ses composés » permettent la reconnaissance de certaines pathologies liées à l'exposition aux fumées de soudage. D'autres TMP du régime général peuvent également être concernés, tels que les tableaux n°s 10, 12, 33, 37, 39, 44, 64, 65, 66... car les substances chimiques à l'origine des pathologies décrites dans ces tableaux sont présentes dans les atmosphères des ateliers où ont lieu des opérations de soudage [8].

Depuis 2018, les fumées de soudage sont classées cancérigènes pour l'homme (groupe 1 : effets avérés) par le Centre international de recherche sur le cancer



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS / 2021



↑ FIGURE 1 Classification des procédés de soudage en fonction de l'énergie utilisée [2].



TABLEAU 1 →
Classification CMR
et PE de certains
composés pouvant
être présents
dans les fumées
de soudage
[9-11].

SUBSTANCE	CLASSIFICATION CMR		CLASSIFICATION PE
	CIRC ¹	CLP ²	ANSES ³
Fumées de soudage	1	/	/
Béryllium	1	1B (par inhalation)	/
Cadmium	1	1B	I
Chrome (métal), chrome III	/	/	II
Chrome VI et ses composés	1	1A* 1B**	II
Cobalt et composés	2B	1B	/
Dioxyde de titane	2B	/	II
Formaldéhyde	1	1B	II
Manganèse	/	/	II
Composés du nickel (oxyde de nickel, trioxyde de nickel)	1	1A (par inhalation)	/
Plomb	2B (métal) 2A (dérivés inorganiques)	/	II
Pentoxyde de vanadium	2B	/	/

1- Groupe 1 : agent cancérigène (cancérigène avéré ou cancérigène certain) ; Groupe 2A : agent probablement cancérigène ; Groupe 2B : agent peut-être cancérigène (cancérigène possible).
2- 1A : effets cancérigènes avérés ; 1B : effets cancérigènes présumés.
3- I : substances ayant des effets PE confirmés in vivo chez l'homme ; II : substances « soupçonnées » avec des effets PE confirmés in vivo chez les rongeurs.
*Trioxyde de chrome ; **Autres composés du Cr(VI).

(Circ). Au niveau européen, elles ne sont pas classées « agent cancérigène, mutagène ou reprotoxique » (CMR, selon la réglementation de l'UE), bien qu'elles contiennent certaines substances (plomb, cadmium, composés du chrome VI...) classées CMR dans l'annexe VI du règlement (CE) n°1272/2008 modifié (dit règlement CLP) relatif à la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges [9,10]. L'Anses a récemment recommandé d'inclure les travaux exposant aux fumées de soudage et aux fumées métalliques de procédés connexes à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes au sens du Code du travail [3]. De plus, certains constituants des fumées de soudage sont présents dans la liste, publiée par l'Anses en 2021, des 906 substances chimiques d'intérêt, en raison de leur activité endocrinienne potentielle [11]. Le *Tableau 1* synthétise les informations disponibles relatives à la classification CMR et de perturbateurs endocriniens (PE) des substances susceptibles d'être présentes dans les fumées de soudage. Une valeur limite définie sur 8 heures (VLEP-8h) de 5 mg/m³ a été établie en 1987 par circulaire pour les fumées de soudage à partir des valeurs limites de l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH) [12]. Les activités de soudage s'exercent dans des locaux dits « à pollution spécifique » et suivent la réglementation sur les locaux à pollution spécifique décrite dans les articles R4222-10 à R4222-17 du Code du travail. Suite à la parution du décret n°2021-1763 du 23 décembre 2021, la concentration moyenne en poussières

totales de l'atmosphère inhalée par un travailleur à ne pas dépasser sur une période de 8 heures dans les locaux à pollution spécifique, actuellement de 7 mg/m³, sera abaissée à 4 mg/m³ au 1^{er} juillet 2023. Cette future concentration sera alors à prendre en considération lors de l'évaluation des niveaux d'exposition au cours d'opérations de soudage. En complément, certains constituants des fumées de soudage sont aussi à évaluer, puisqu'ils possèdent une VLEP-8h et une VLEP-CT (court terme, définie sur 15 minutes) qui peuvent être réglementaires (*Cf. Tableau 2*) [13-15]. Étant donnée la complexité de la composition des fumées de soudage, il est nécessaire de procéder à différents prélèvements et analyses spécifiques aux différentes substances chimiques présentes. Pour mesurer la fraction inhalable des fumées de soudage dans leur globalité, les méthodes MétroPol¹ M-264 et M-274 proposent un prélèvement actif (à l'aide d'un dispositif Cathia-Inhalable ; ou bien, sur membrane PVC 5 µm déposée sur un tampon cellulosique contenu dans une cassette 37 mm, avec un orifice de 4 mm pour le prélèvement de la fraction inhalable). L'analyse se fait par gravimétrie. L'analyse par spectrométrie des particules présentes sur la membrane permet de connaître leur composition en métaux. Pour le chrome VI et ses composés, le prélèvement se fait sur un filtre de quartz, imprégné d'une solution de carbonate de sodium, placé dans une cassette porte-filtre ; il est suivi d'une analyse par chromatographie ionique couplée à un détecteur UV. Pour les gaz (formaldéhyde,

PRINCIPAUX CONSTITUANTS DES FUMÉES DE SOUDAGE	VALEUR LIMITE D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE (MG/M ³)	
	VLEP-8H	VLEP-CT
Aluminium (fumées de soudage)	5	-
Alumine (Al ₂ O ₃)	10	-
Dioxyde d'azote	0,96*	1,91*
Monoxyde d'azote	2,5*	-
Baryum (composés solubles), en Ba	0,5*	-
Béryllium et ses composés (fraction inhalable)	0,0006*	-
Cadmium et ses composés inorganiques (fraction inhalable)	0,004*	-
Chrome VI (composés)	0,001*	0,005*
Chrome (métal), composés de chrome inorganiques (II) et composés de chrome inorganiques (insolubles) (III)	2*	-
Cuivre (fumées)	0,2	-
Dioxyde de titane, en Ti	10	-
Fer (Fe ₂ O ₃ , fumée), en Fe	5	-
Formaldéhyde	0,37*	0,74*
Manganèse et ses composés (fraction alvéolaire), en Mn	0,05*	-
Manganèse et ses composés (fraction inhalable), en Mn	0,20*	-
Monoxyde de carbone	23*	117*
Nickel et oxydes de nickel (NiO et Ni ₂ O ₃), en Ni	1	-
Ozone	0,2	0,4
Phosgène	0,08*	0,4*
Plomb (métallique et composés), en Pb	0,1*	-
Vanadium (poussières et fumées), en V ₂ O ₅	0,05	-
Zinc (oxyde de, fumées)	5	-

* Valeur réglementaire.

← TABLEAU 2
Valeurs limites d'exposition professionnelle pour les principaux composés des fumées de soudage [13-15].

SUBSTANCE CHIMIQUE	N	MIN	MAX	MOYENNE	MÉDIANE	C 95	% > VLEP-8H
Fumées de soudage	6 474	< 0,01	291	4,98	2,54	16,53	26 %

n = nombre de mesures ; min = minimum ; max = maximum ; moyenne = moyenne arithmétique ; C 95 = 95^e centile ; % > VLEP-8h = pourcentage de mesures supérieures à la VLEP de 5 mg/m³. Concentrations exprimées en mg/m³.

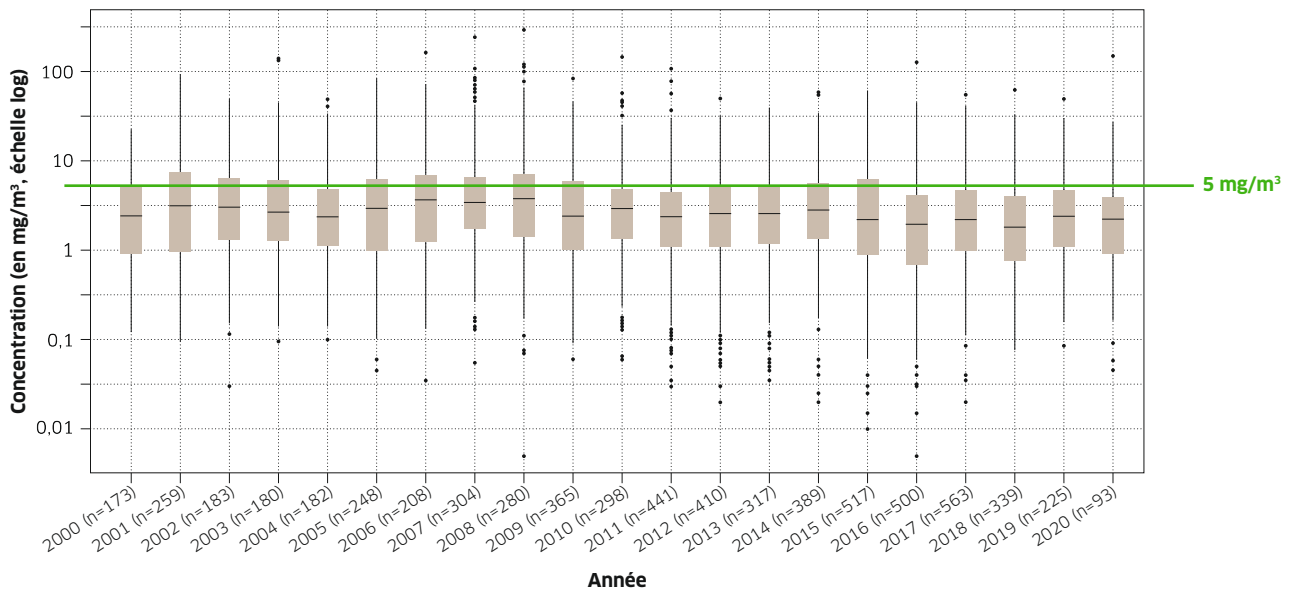
↑ TABLEAU 3 Principaux descripteurs statistiques des niveaux d'exposition aux fumées de soudage.

COV, phosgène...), d'autres méthodes de prélèvement et d'analyse sont préconisées par l'INRS dans la base MétroPol [16]. L'exposition des salariés aux fumées de soudage peut également être évaluée par biométrie, en l'occurrence par l'analyse d'indicateurs biologiques présents dans les urines et le sang des travailleurs [17].

Cet article propose un portrait des expositions aux fumées de soudage des métaux enregistrées de 2000 à 2020. Les données exploitées concernent des mesures individuelles de la fraction inhalable, prélevées pendant une durée comprise entre 1 et 8 heures. Ce portrait est construit en faisant référence à la VLEP-8h de 5 mg/m³ pour les fumées de soudage et à la future concentration sur 8 heures de 4 mg/m³ pour les poussières totales de l'atmosphère inhalée par un travailleur dans les locaux à pollution spécifique, qui entrera en vigueur au 1^{er} juillet

2023. Le *Tableau 3* reprend les différents descripteurs statistiques des données exploitées, ainsi que le pourcentage de dépassement de la VLEP-8h des fumées de soudage. La *Figure 2* montre la distribution annuelle des niveaux d'exposition aux fumées de soudage sur la période étudiée. La *Figure 3* propose les niveaux d'exposition aux fumées par procédé de soudage avec le nombre de mesures (n) et la distribution des indices d'exposition (notés IE = rapports concentration/VLEP-8h) en comparaison avec la VLEP-8h des fumées de soudage, de 5 mg/m³ (à gauche) et la future concentration sur 8 heures des poussières totales de l'atmosphère inhalée par un travailleur dans les locaux à pollution spécifique, de 4 mg/m³ (à droite). Les IE sont classés en trois catégories : inférieur à 0,1 (correspondant à 10 %) en vert ; compris entre 0,1 et 1 en bleu ; et supérieur à 1 (dépassement de la VLEP-8h ou de la concentration sur 8h)





↑ FIGURE 2 Distribution annuelle des niveaux d'exposition aux fumées de soudage.

FIGURE 3 → Fumées de soudage : distribution des IE par tâche/procédé calculés pour la VLEP-8h actuelle pour les fumées de soudage (5 mg/m³) et la concentration sur 8 heures pour les poussières totales de l'atmosphère inhalée par un travailleur dans les locaux à pollution spécifique à partir de juillet 2023 (4 mg/m³) pour un nombre de mesures n ≥ 10.

	IE < 0,1			0,1 ≤ IE < 1			IE ≥ 1		
	VLEP-8h Fumées de soudage			Concentration sur 8h en poussières inhalables (2023)					
Soudage à l'arc électrique - fil fourré (n=314)	4	45	51	3	39	58			
Soudage à l'arc électrique (n=39)	5	57	38	5	54	41			
Soudage à l'arc électrique - fil plein (n=203)	5	60	35	3	54	43			
Soudage à l'arc électrique - procédé MIG (metal inert gas) (n=2254)	4	63	33	3	55	42			
Soudage à l'arc électrique - électrode fusible enrobée (n=378)	10	60	30	7	55	38			
Soudage à l'arc électrique - procédé MAG (metal activ gas) (n=1750)	5	66	29	3	56	41			
Soudage par jet de plasma d'arc (n=29)	17	55	28	10	62	28			
Techniques de soudage : autres tâches non codifiées par ailleurs (n=11)	9	64	27	9	55	36			
Techniques de soudage à l'arc électrique : autres tâches non codifiées par ailleurs (n=63)	17	67	16	13	65	22			
Soudage sous flux électroconducteur (n=43)	28	60	12	21	63	16			
Soudage par d'autres techniques : ultra-sons, laser, faisceau d'électrons (n=57)	33	55	12	23	58	19			
Autres (n=9)	56	33	11	44	45	11			
Soudage ou brasage aux gaz (n=312)	38	52	10	32	56	12			
Soudage à l'arc électrique - procédé TIG (tungsten inert gas) (n=792)	30	65	5	23	70	7			
Soudage par résistance électrique (par points...) (n=123)	63	35	2	56	42	2			
Brasage au fer électrique (soudure étain/plomb dans l'industrie électronique) (n=97)	89	11		85	15				

en orange. Sur le même principe de présentation, les Figures 4 à 6 illustrent les niveaux d'exposition aux substances chimiques composant les fumées de soudage pour les procédés MIG, MAG et TIG, respectivement, en comparaison uniquement avec la VLEP-8h.

État des lieux des données dans Colchic

Sur la période 2000-2020, la base Colchic contient 6474 mesures relatives aux fumées de soudage : le Tableau 3 synthétise les principaux indicateurs statistiques relatifs aux niveaux d'exposition et la Figure 2 présente la tendance annuelle des niveaux d'exposition, en comparaison avec la VLEP-8h de 5 mg/m³ (représentée par la ligne verte).

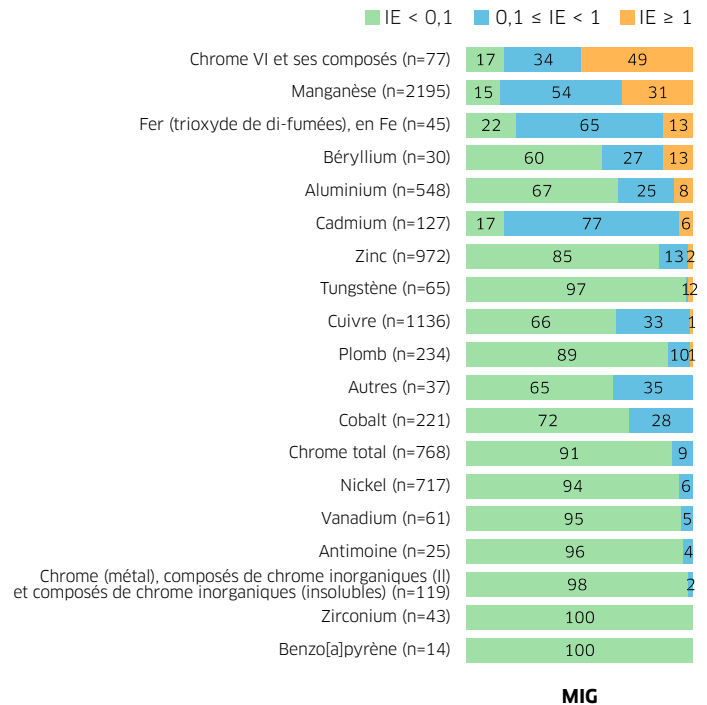
Les activités de soudage à l'arc électrique sont les plus investiguées, avec les procédés MIG, MAG et TIG qui constituent 74 % des mesures réalisées. Au total, 26 % des mesures dépassent la VLEP-8h pour les fumées de soudage. Le soudage au fil fourré est la tâche avec le pourcentage de dépassement le plus élevé (51 %). À l'inverse, aucun dépassement n'est relevé pour le brasage au fer électrique (Cf. Figure 3). Généralement, les procédés de soudage à l'arc électrique sont caractérisés par le plus grand nombre de dépassements de la VLEP-8h (entre 16 % et 51 %), à l'exception du procédé TIG, pour lequel ce pourcentage est de 5 %.

La Figure 3 compare la distribution des IE par tâche/procédé de soudage calculés par rapport

à la VLEP-8h actuelle pour les fumées de soudage (5 mg/m^3) et de la future concentration sur 8 h pour les poussières totales de l'atmosphère inhalée par un travailleur dans les locaux à pollution spécifique (4 mg/m^3) entrant en vigueur à compter du 1^{er} juillet 2023 [12]. Par rapport à cette nouvelle valeur, les pourcentages de dépassement calculés évoluent à la hausse : 34 % des mesures dépassent la concentration sur 8h, alors que 26 % dépassent l'actuelle VLEP-8h. Cette augmentation concernera en particulier les procédés MAG (+12 %) et MIG (+9 %).

Les Figures 4, 5 et 6 présentent la distribution des IE pour les substances mesurées lors des tâches de soudage avec les procédés MIG, MAG et TIG et soumises à une VLEP-8h. Pour ces trois procédés, le pourcentage global de dépassement de la VLEP-8h est de 2 %. Le manganèse, le cuivre, le nickel, le chrome (II et III), le zinc et l'aluminium sont les métaux le plus souvent mesurés ($n \geq 300$). Le chrome VI et ses composés ainsi que le manganèse présentent les pourcentages de dépassement les plus élevés pour les procédés MIG et MAG : 49 % ($n = 77$) et 35 % ($n = 99$) respectivement pour le chrome VI, 31 % ($n = 2195$ et $n = 1794$) pour le manganèse, quel que soit le procédé (Cf. Figures 4 et 5). Parmi les métaux moins investigués ($n < 50$), le béryllium est caractérisé par des niveaux d'exposition relativement

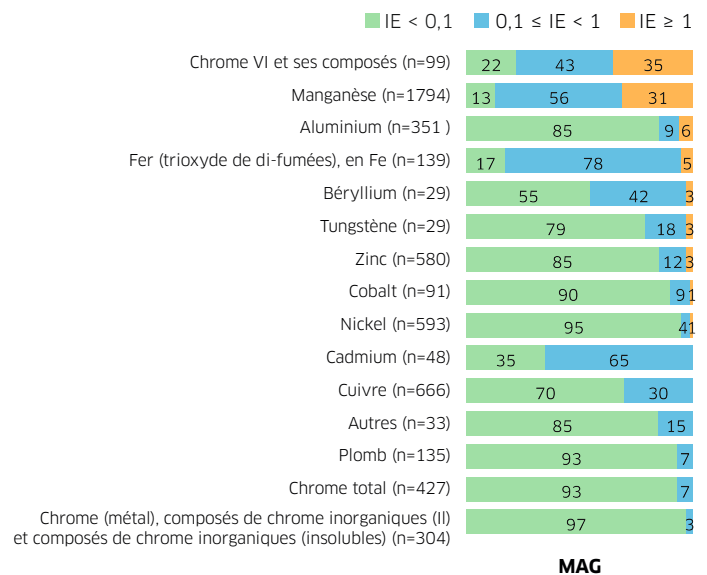
élevés, avec un pourcentage de dépassement de 35 % ($n = 23$) pour le procédé TIG, le pourcentage le plus élevé dans cette catégorie.



↑ FIGURE 4 Procédé MIG : distribution des IE par substance chimique ($n \geq 10$).



© Patrick Delapierre pour l'INRS / 2019

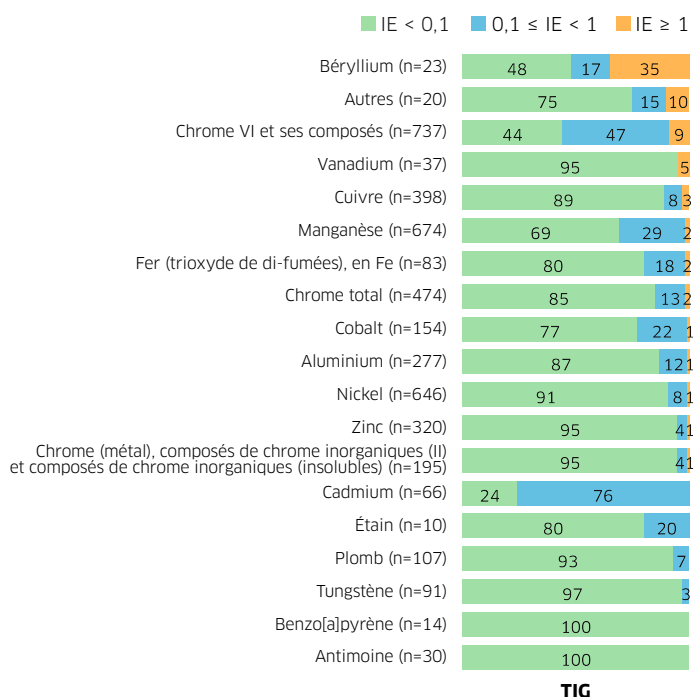


↑ FIGURE 5 Procédé MAG : distribution des IE par substance chimique ($n \geq 10$).

Discussion - conclusion

Les données enregistrées dans Colchic montrent que plus d'un quart des mesures d'exposition aux fumées de soudage dépassent la VLEP-8h de 5 mg/m^3 . De manière générale, les procédés de soudage à l'arc électrique présentent le plus grand nombre de dépassements de la valeur limite.





↑ FIGURE 6 Procédé TIG : distribution des IE par substance chimique (n ≥ 10).

Sur la période investiguée, c'est-à-dire vingt ans, il est à noter qu'aucune variation significative des niveaux d'exposition n'a été observée au travers des données enregistrées dans Colchic.

Dans le contexte des locaux à pollution spécifique, un tiers des expositions à la fraction inhalable des fumées de soudage sont plus élevées que la concentration limite de 4 mg/m³ applicable aux poussières totales de l'atmosphère inhalée par un travailleur applicable au 1^{er} juillet 2023.

Le chrome VI et ses composés présentent le plus grand nombre de dépassements de la VLEP-8h pour les procédés MIG et MAG, alors que pour le procédé TIG, le dépassement de la VLEP-8h est plus fréquemment rencontré pour le béryllium.

De nombreux composés constituant les fumées de soudage (cadmium, chrome...) ont des effets similaires sur la santé humaine, notamment des atteintes des voies respiratoires supérieures et inférieures. Il est nécessaire de tenir compte de la polyexposition dans l'évaluation de l'exposition professionnelle [18, 19].

Plusieurs substances identifiées dans les fumées de soudage ont des effets cancérigènes et/ou mutagènes. Alors qu'en France la réglementation ne considère pas les fumées de soudage comme cancérigènes, la présence d'agents CMR impose une vigilance particulière et la mise en place des moyens de prévention adaptés. De plus, certaines substances retrouvées dans les fumées de soudage sont incluses dans la liste des perturbateurs endocriniens potentiels établie par l'Anses (cadmium,

chrome, manganèse...). Bien qu'une évaluation approfondie soit nécessaire pour conclure sur le caractère PE d'une substance, ce danger potentiel doit être pris en compte lors de l'évaluation du risque, en particulier pour le manganèse et le chrome métal/chrome III, qui ne sont pas couverts par la classification CMR.

La mise en œuvre d'un procédé de soudage doit être précédée d'une réflexion sur la démarche de prévention à appliquer pour protéger le salarié manipulant le poste à souder, mais également les salariés effectuant d'autres tâches à proximité du poste de soudage. La première étape de cette démarche consiste à choisir le procédé de soudage le moins émissif possible par rapport à la tâche de soudage à effectuer ou les matériaux les moins dangereux pour la santé humaine; à limiter le nombre de salariés réalisant des opérations de soudage, mais également se trouvant à proximité des postes de soudage; et à réduire la durée des opérations. Dans un second temps, il est nécessaire de mettre en place un système de captage des fumées à la source, de type torche aspirante, gabarit aspirant ou table aspirante, ainsi qu'une

ENCADRÉ

L'ACTION « FUMÉES DE SOUDAGE EN CHAUDRONNERIE » DU PROGRAMME NATIONAL CMR (2014-2017)*

Le réseau Prévention de la Sécurité sociale a engagé en 2014, pour une période de quatre années, un programme d'actions national destiné à réduire l'exposition des salariés aux agents cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction (CMR). Les activités de soudage à l'arc électrique réalisées en France par environ 20 000 salariés en chaudronnerie ont été ciblées dans le cadre de ce programme. Cette action avait pour objectif de réduire l'exposition des soudeurs *via* la mise en œuvre de solutions techniques et organisationnelles visant principalement à diminuer les émissions de fumées en agissant sur les procédés (métal d'apport, mode de gestion de l'arc électrique, gaz de protection...) et sur les dispositifs de captage à la source.

* En savoir plus : Programme « CMR » 2014-2017 de l'Assurance maladie - Risques professionnels : bilan global. Hygiène & sécurité du travail, 2019, 255, NT 73, pp. 56-62. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2073>.

ventilation générale. Les locaux dans lesquels sont mis en œuvre les procédés de soudage sont considérés comme des locaux à pollution spécifique, ce qui induit l'obligation de captage des fumées au fur et à mesure de leur production et au plus près de la source d'émission. Si aucune solution de protection collective ne peut convenir, les salariés doivent avoir à disposition des appareils de protection respiratoire filtrants à ventilation libre ou assistée. Dans tous les cas, les salariés doivent être formés à la bonne utilisation des équipements de travail et des dispositifs de protection collective ou individuelle [5, 6].

Lors d'opérations de soudage, le risque chimique n'est pas le seul risque présent. Le risque d'anoxie va dépendre du taux d'oxygène présent dans l'air qui peut être abaissé par la présence des gaz de protection. Des projections de métal chaud et le chauffage des pièces peuvent engendrer des brûlures cutanées et oculaires. La présence de rayonnements optiques (UV ou lumière visible) peut provoquer des lésions oculaires. Le bruit émis par les procédés de soudage peut être à l'origine de lésions auditives. Des risques liés à l'électricité,

aux champs magnétiques ou au port de charges lourdes, des troubles musculosquelettiques ou des risques d'incendie/ explosion, ont également été identifiés [15]. ●

1. La base en ligne *MétoPol*, constituée par l'INRS, rassemble un grand nombre de méthodes pour réaliser la métrologie des polluants, notamment sur les lieux de travail [16].

Poste de soudage équipé d'un bras aspirant pour capter les fumées.



© Gael Kerbaol/INRS/2021

BIBLIOGRAPHIE

[1] **NORME NF EN ISO 6947** – Soudage et techniques connexes – Positions de soudage. Afnor, février 2020. Accessible sur : www.boutique.afnor.org/ (site payant).

[2] **PAILLARD P.** – Procédés de soudage – Introduction. *Techniques de l'ingénieur*, avril 2014.

[3] **ANSES** – Identification de travaux ou de procédés à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes – Expertise relative aux travaux exposant aux fumées de soudage. Avis et rapport d'expertise collective, février 2022. Accessible sur : <https://www.anses.fr/fr/system/files/VSR2017SA0237Ra-2.pdf>.

[4] **INRS** – Webinaire – Fumées de soudage : risques pour la santé et prévention, janvier 2020. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/footer/actes-evenements/webinaire-fumees-soudage.html> (consulté le 28/02/2022).

[5] **INRS** – ED 668 (Guide pratique de ventilation n° 7) – Opérations de soudage à l'arc et de coupure, 2014. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20668>.

[6] **INRS** – ED 6132 (Aide-mémoire technique) – Les fumées de soudage et des techniques connexes, 2018. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206132>.

[7] **MARINET B., ROSANKIS E., LEONARD M.** – Les expositions aux risques professionnels –

Les produits chimiques. *Synthèse. Stat.* n° 32, juillet 2020. Accessible sur : https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/pdf/dares_expositions_risques_professionnels_produits_chimiques-2.pdf.

[8] **INRS** – Tableaux des maladies professionnelles. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/mp.html> (consulté le 28/02/2022).

[9] **CIRC** – Les monographies du Circ – Volume 118 : Soudage, trioxyde de molybdène et oxyde d'indium-étain, 2018, pp.37-265.

[10] **ECHA** – Base de données de l'inventaire C&L – Accessible sur : <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/cl-inventory-database> (consulté le 23/02/2022).

[11] **ANSES** – Avis relatif à l'élaboration d'une liste de substances chimiques d'intérêt en raison de leur activité endocrine potentielle. *Méthode d'identification et stratégie de priorisation pour l'évaluation* (saisine 2019-SA-0179). Mars 2021. Accessible sur : www.anses.fr.

[12] **INRS** – ED 6443 (Moyens de prévention) – Les valeurs limites d'exposition professionnelles, 2021. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206443>.

[13] **DÉCRET N° 2021-1763** du 23 décembre 2021 portant modification des concentrations moyennes en poussières totales et alvéolaires dans les locaux à pollution spécifique. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr.

[14] **INRS** – Liste des VLEP Françaises. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil65> (consulté le 28/02/2022).

[15] **CNAM** – Risques professionnels – Recommandation R 443 du CTN de la métallurgie – Soudage à l'arc électrique et coupure – Prévention des risques chimiques, 2010. Accessible sur : www.ameli.fr/sites/default/files/Documents/31210/document/r443.pdf.

[16] **INRS** – Base de données MétoPol. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html> (consulté le 28/02/2022).

[17] **INRS** – Base de données Biotox. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html> (consulté le 28/02/2022).

[18] **INRS** – MixieFrance – Un logiciel pour évaluer les multiexpositions aux substances chimiques. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil45> (consulté le 14/03/2022).

[19] **CLERC F., LA ROCCA B.** – Des outils pour évaluer les polyexpositions. In : Dossier – Polyexpositions chimiques massives et diffuses : une réalité méconnue. *Hygiène & sécurité du travail*, 2020, 261, DO 31, pp. 72-74. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2031>.