

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24

Identification de travaux ou de procédés à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes

Expertise relative aux travaux exposant aux fumées de soudage

Saisine n°2017-SA-0237 « Procédés cancérogènes »

**RAPPORT
d'expertise collective**

« Comité d'experts spécialisés Valeurs Sanitaires de référence »

« Groupe de travail Procédés cancérogènes »

Juillet 2021

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28

Mots clés

Fumées de soudage, procédé de soudage, cancérogène, travaux, expositions professionnelles

Welding fumes, welding process, carcinogen, work, occupational exposures

1 Présentation des intervenants

2 **PRÉAMBULE** : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou
3 désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas
4 leur organisme d'appartenance.

5 GROUPE DE TRAVAIL

6 **Président**

7 Jean-François DORE – Directeur de recherche émérite à l'Institut national de la santé et de la
8 recherche médicale à l'Inserm – Compétences : cancérologie, rayonnements UV

9 **Membres**

10 M. Marc BARIL – Professeur associé à l'Université de Montréal – Compétences : chimiste
11 toxicologue, hygiène industrielle

12 M. Matthew BURBANK – Pharmacien toxicologue, évaluateur non clinique à l'ANSM –
13 Compétences : toxicologie non-clinique, oncologie

14 Mme Alice DESBIOLLES - Médecin de santé publique à l'INCA - Compétences : facteurs de
15 risques environnementaux et professionnels des cancers

16 Mme Patricia FAURE – Ingénieur en prévention des risques professionnels au service de santé au
17 travail du Haut-Vivarais – Compétences : hygiène du travail, évaluation du risque chimique,
18 connaissances ces procédés industriels – Arrivée dans le GT en mai 2021

19 M. Robert GARNIER – Médecin toxicologue, Centre antipoison de Paris - Compétences :
20 toxicologie médicale, médecine du travail

21 Mme Martine GOLIRO – Ingénieur conseil à la CARSAT Midy-Pyrénées – Compétences :
22 substitution des CMR en milieu professionnel, évaluation des risques professionnels

23 M. Pascal GUENEL - Directeur de recherche à l'INSERM - Compétences : épidémiologie des
24 cancers

25 Mme Agnès KARINTHI – DOYON – Chargée de projets en risque chimique à l'AST Grand Lyon –
26 Compétences : hygiène du travail, substitution des CMR en milieu professionnel, évaluation des
27 risques professionnels – Démission du GT en mai 2020

28 M. Hubert MONNIER - Chercheur, responsable d'études à l'INRS Nancy – Compétences :
29 procédés de traitement thermique de surface qui génèrent des HAP, génie des procédés

30 Mme Corinne PILORGET - Chargée de projets scientifiques à Santé Publique France /
31 UMRESTTE Université Claude Bernard Lyon 1 – Compétences : matrices emploi-exposition en
32 milieu professionnel, évaluation des expositions professionnelles – Démission du GT en janvier
33 2021

34 M. Raymond VINCENT - Retraité (anciennement Chargé de mission à la Direction Déléguée aux
35 Applications (INRS)) – Compétences : chimie, métrologie des polluants, évaluation des risques
36 professionnels

37

1

2 COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

3 Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- 4 ■ « Valeurs sanitaires de référence » (CES VSR) (2021-2023)

5 **Président**

6 M. Fabrice MICHIELS – Médecin du travail / toxicologue à l'Association Interentreprises pour la
7 Santé au Travail Corrèze – Compétences : Médecine du travail, toxicologie

8 **Vice-président**

9 Mme Anne MAITRE – Professeur des Universités – Praticien Hospitalier (PU-PH) au Laboratoire
10 de Toxicologie Professionnelle et Environnementale, CHU de Grenoble ; Responsable de l'équipe
11 « Environnement et prédiction de la santé des populations », Laboratoire TIMC, Université
12 Grenoble Alpes – Compétences : médecine, toxicologie, IBE, métrologie des polluants, hygiène
13 industrielle

14 **Membres**

15 M. Luc BELZUNCES – Directeur de Recherche et Directeur du Laboratoire de Toxicologie
16 Environnementale à l'INRAE – Compétences : Toxicologie générale, Neurotoxicologie,
17 Écotoxicologie, chimie analytique, évaluation des risques

18 Mme Michèle BISSON – Toxicologue Responsable d'étude à l'INERIS – Compétences :
19 Pharmacien toxicologue, VTR, évaluation des risques sanitaires

20 Mme Céline BOTINEAU - Ingénieur de prévention du risque chimique au CEA – Compétences :
21 Hygiène industrielle, chimie, évaluation des risques

22 Mme Anne CHEVALIER – Retraitée de l'Institut de Veille Sanitaire - Compétences : épidémiologie

23 M. François CLINARD - Épidémiologiste à l'Agence Santé Publique France – Compétences :
24 Pharmacien toxicologue, épidémiologie, évaluation des risques sanitaires

25 Mme Fatiha EL-GHISSASSI – Scientifique, Programme des Monographies. Evidence Synthesis
26 and Classification Branch. Centre International de Recherche sur le Cancer - Compétences :
27 biochimie spécialiste en cancérogénèse et génotoxicité

28 M. Claude EMOND – Professeur associé - École de santé publique, Université de Montréal -
29 Département de santé environnementale et santé au travail. – Compétences : Toxicologie, modèle
30 PBPK, toxicocinétique, nanotoxicologie, perturbateurs endocriniens

31 M. Robert GARNIER – Médecin toxicologue, Centre antipoison de Paris - Compétences :
32 Toxicologie médicale, Santé au travail - Santé environnementale

33 Mme Perrine HOET – Professeur à l'Université Catholique de Louvain. IREC – Compétences :
34 médecine du travail, toxicologie professionnelle et environnementale

35 M. Kevin HOGEVEEN – Toxicologue, Anses – Fougères, Toxicologie des Contaminants –
36 Compétences : Toxicologie, génotoxicité, hépatotoxicité, toxicologie *in vitro*

37 Mme Yuriko IWATSUBO – Médecin épidémiologiste à Santé publique France – Compétences :
38 épidémiologie des risques professionnels

- 1 M. Frédéric LIRUSSI – Professeur des Universités– Praticien Hospitalier (PU-PH) à l'UFR des
2 Sciences de Santé & CHRU de Besançon - Compétences : Toxicologie Clinique, Toxicologie
3 analytique, Immunité Innée, Reprotoxicité
- 4 M. Luc MULTIGNER – Directeur de recherche, INSERM U1085 - IRSET – Compétences :
5 Épidémiologie, Perturbateurs Endocriniens, Pathologies des fonctions et des organes de la
6 reproduction
- 7 Mme Nadia NIKOLOVA-PAVAGEAU – Conseiller médical à l'INRS – Compétences : Médecine du
8 travail, toxicologie médicale, IBE
- 9 M. Benoît OURY – Responsable d'études à l'INRS – Compétences : Métrologie atmosphérique,
10 Air des lieux de travail, évaluation expositions professionnelles
- 11 M. Henri SCHROEDER – Professeur associé à la Faculté des Sciences et Technologies de
12 l'Université de Lorraine– Laboratoire CALBINOTOX, EA 7488 - Pharmacien neurobiologiste -
13 Compétences : Neurotoxicité, polluants environnementaux, comportement animal, développement
14 cérébral, exposition périnatale
- 15 M. Olivier SORG – Chef de groupe de recherche à l'Université de Genève - Compétences :
16 Docteur es science en biochimie, toxicologie expérimentale, dermatotoxicologie
- 17 M. Jérôme THIREAU – PhD, Chargé de recherche au CNRS - Compétences : Physiologie
18 animale, électrophysiologie, biologie cellulaire, cardiotoxicité
- 19 Mme Maeva WENDREMAIRE – Maître de conférences à l'Université de Bourgogne –
20 Compétences : Toxicologie, reprotoxicité, pharmacologie, toxicologie analytique

21

22 **PARTICIPATION ANSES**

23 **Coordination scientifique**

24 Mme Lauranne VERINES-JOUIN – Coordinateur d'expertises scientifiques– Anses

25

26 **Contribution scientifique**

27 Mme Dominique BRUNET – Adjointe à la cheffe de l'unité Evaluation des Substances chimiques –
28 Anses

29 Mme Sandrine CHARLES – Coordinateur d'expertises scientifiques – Anses

30 Mme Lauranne VERINES-JOUIN – Coordinateur d'expertises scientifiques– Anses

31 **Secrétariat administratif**

32 Mme Patricia RAHYR – Anses

33 **CONTRIBUTIONS EXTÉRIEURES AU(X) COLLECTIF(S)**

34 Extraction des données de la base COLCHIC (COLlecte des données CHImiques des Carsat) de
35 l'INRS

- 1 Données relatives à divers procédés de soudage transmises par M. Scandella de l'Institut de
- 2 Soudure.
- 3

DOCUMENT POUR CONSULTATION

1	SOMMAIRE	
2	Présentation des intervenants	3
3	Sigles et abréviations	10
4	Liste des tableaux	11
5	Liste des figures	12
6	1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise	13
7	1.1 Contexte	13
8	1.2 Objet de la saisine	14
9	1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation	16
10	1.3.1 Moyens mis en œuvre et organisation.....	16
11	1.3.2 Autres moyens mis en œuvre et organisation	17
12	1.4 Champ d'expertise de l'étude	17
13	1.5 Prévention des risques de conflits d'intérêts.	18
14	2 Les travaux exposant aux fumées de soudage	19
15	2.1 Historique et évolution des techniques	19
16	2.2 Principes d'assemblage à chaud	19
17	2.3 Les différents procédés de soudage	19
18	2.3.1 Soudage à la flamme (soudage oxyacétylénique) (Procédé 311 de la norme NF EN ISO 4063)	20
19	2.3.2 Soudage à l'arc électrique	21
20	2.3.2.1 Soudage manuel à l'arc avec électrode enrobée (Procédé n°111 de la norme NF EN ISO 4063).....	21
21	2.3.2.2 Soudage à l'arc sous protection gazeuse.....	22
22	2.3.2.2.1 <i>Metal Inert Gas ou soudage sous protection de gaz inerte (MIG) (procédé 131 de la norme NF EN ISO 4063) et Metal Active Gas ou soudage sous protection de gaz actif (MAG) (procédé 135 de la norme NF EN ISO 4063)</i>	22
23	2.3.2.2.2 <i>Soudage avec fil fourré (Flux Cored Arc Welding (FCAW))</i>	23
24	2.3.2.2.3 <i>Tungsten Inert Gas ou soudage sous protection de gaz inerte avec électrode de tungstène (TIG) (procédé 141 de la norme NF EN ISO 4063)</i>	24
25	2.3.2.3 Soudage à l'arc sous flux en poudre (procédés 121, 122 de la norme NF EN ISO 4063).....	25
26	2.3.3 Soudage par faisceau laser (procédé 751 de la norme NF EN ISO 4063)	26
27	2.3.4 Soudage par jet de plasma (procédé 15 de la norme NF EN ISO 4063)	27
28	2.3.5 Soudage hybride	28
29	2.3.6 Autres procédés de soudage.....	28
30	2.3.6.1 Soudage électrique par résistance	28
31	2.3.6.2 Soudage par pression ou à l'état solide :	29
32	2.3.6.3 Autres procédés	30
33	2.4 Techniques connexes	30
34	2.4.1 Les procédés de brasage (procédé 9 de la norme NF EN ISO 4063)	30
35	2.4.1.1 Brasage tendre (température < 450°C)	31
36	2.4.1.2 Brasage fort (température > 450°C)	31
37	2.4.1.3 Soudo-brasage fort.....	32
38	2.4.2 Projection thermique	32
39	2.4.3 Coupage (procédé 8 de la norme NF EN ISO 4063).....	35
40	2.4.4 Gougeage (procédé 8 de la norme NF EN ISO 4063)	36
41	2.4.5 Rechargement	37

1	2.5	Influence des différents paramètres sur l'émissivité.....	38
2	3	Données d'exposition	40
3	3.1	Typologie des populations exposées	40
4	3.2	Nature des expositions	41
5	3.2.1	Données de composition des fumées de soudage.....	41
6	3.2.1.1	Composition des fumées de soudage	42
7	3.2.1.2	Composition des fumées émises par les techniques connexes	44
8	3.2.1.2.1	<i>Brasage</i>	44
9	3.2.1.2.2	<i>Coupage, Gougeage</i>	44
10	3.2.1.2.3	<i>La projection thermique</i>	45
11	3.2.2	Evaluations des expositions	46
12	3.2.2.1	Données du CIRC	47
13	3.2.2.2	Données bibliographiques publiées après la monographie du CIRC	51
14	4	Le caractère cancérogène des travaux exposant aux fumées de	
15		soudage	56
16	4.1	Organismes évaluant les propriétés de cancérogénicité.....	56
17	4.2	Evaluation par le CIRC.....	56
18	4.2.1	Données épidémiologiques.....	58
19	4.2.1.1	Cancer du poumon.....	58
20	4.2.1.2	Cancer du rein.....	59
21	4.2.1.3	Cancers de la tête et du cou.....	59
22	4.2.1.4	Autres cancers	60
23	4.2.1.4.1	<i>Leucémies</i>	60
24	4.2.1.4.2	<i>Lymphomes non-Hodgkiniens</i>	60
25	4.2.1.4.3	<i>Cancer de la vessie</i>	61
26	4.2.1.4.4	<i>Cancer du cerveau</i>	61
27	4.2.1.4.5	<i>Autres sites de cancers</i>	61
28	4.2.2	Données expérimentales et mécanistiques.....	61
29	4.3	Données épidémiologiques récentes	62
30	4.3.1	Méthodologie	62
31	4.3.2	Analyse des données.....	63
32	4.3.2.1	Cancer du poumon.....	63
33	4.3.2.2	Cancer du rein et du bassinnet.....	64
34	4.3.2.3	Cancer des voies urinaires.....	64
35	4.3.2.4	Gliomes.....	65
36	4.3.2.5	Cancer du sein.....	65
37	4.3.2.6	Cancers des voies aéro-digestives supérieures.....	65
38	4.3.3	Synthèse des résultats.....	67
39	4.4	Caractère cancérogène des fumées émises par d'autres procédés que les	
40		procédés de soudage	69
41	4.4.1	Cancer du sein.....	69
42	4.4.2	Synthèse des résultats.....	70
43	5	Conclusion	71
44	6	Recommandations	75
45	7	Bibliographie.....	77

1 **ANNEXES 81**

2 **Annexe 1 : Lettre de saisine.....82**

3 **Annexe 2 : Composés identifiés à l'émission dans les fumées de soudage par**

4 **l'extraction de la base de données COLCHIC85**

5 **Annexe 3 : Définition des fractions granulométriques et nomenclature des fractions**

6 **inhalable et alvéolaire en anglais.....86**

7 **Annexe 4: Cancer et exposition aux fumées de soudage ou aux fumées émises par les**

8 **techniques connexes. Etudes de cohorte88**

9 **Annexe 5 : Cancer et exposition aux fumées de soudage. Etudes cas-témoins.....90**

10 **Annexe 6 : Présentation des positions d'abstention.....99**

11 **Annexe 7 : Suivi des actualisations du rapport.....101**

12 **Notes.....102**

13

14

15

16

17

18

19

20

21

DOCUMENT POUR CONSULTATION

1

2 **Sigles et abréviations**

- 3 ACGIH®: American Conference of Governmental Industrial Hygienists
- 4 ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail
- 5 AST : Appui scientifique et technique
- 6 Carsat : Caisses d'assurance retraite et sécurité au travail
- 7 CAS : Chemical Abstracts Service
- 8 CES : Comité d'experts spécialisés
- 9 CE : Communauté Européenne
- 10 CER : Comité d'évaluation des risques (ou Risk Assessment Committee (RAC) en anglais)
- 11 CIRC : Centre international de recherche sur le cancer (ou IARC en anglais)
- 12 CLP : Classification, Labelling, Packaging (classification, étiquetage, emballage)
- 13 CMR: Cancérogène, mutagène, reprotoxique
- 14 CNAM : Caisse nationale d'assurance maladie
- 15 COLCHIC : Collecte des données chimiques des caisses d'assurances retraite et de la santé au
16 travail
- 17 CRRMP: Comité régional de reconnaissance des maladies professionnelles
- 18 DFG: German Research Foundation (fondation allemande pour la recherche)
- 19 DGT : Direction générale du travail
- 20 ECHA : European Chemicals Agency (agence européenne des produits chimiques)
- 21 GT : Groupe de travail
- 22 HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques
- 23 INRS : Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et
24 des maladies professionnelles
- 25 IRIS: Integrated Risk Information System
- 26 LNH : Lymphomes non hodgkiniens
- 27 MAG: Metal Active Gas (ou soudage sous protection de gaz actif)
- 28 MEGA: Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz (données de mesures
29 des expositions à des substances dangereuses sur le lieu de travail)
- 30 MIG: Metal Inert Gas (ou soudage sous protection de gaz inerte)
- 31 mRR : méta-risque relatif
- 32 NF: Norme française
- 33 NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health (Etats-Unis)

- 1 NTP: National Toxicology Program
- 2 OR : Odd Ratio
- 3 PM2.5 : Particules dont le diamètre est inférieur à 2.5 µm
- 4 PM10 : Particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm
- 5 PME : Petite et moyenne entreprise
- 6 PRT: Pathologie en relation avec le travail
- 7 PTA : Plasma à arc transféré
- 8 PUF : Particules ultrafines
- 9 RAHC: Reasonably anticipated human carcinogen
- 10 RNV3P: Réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles
- 11 RoC : Report of Carcinogens
- 12 RR : Risque relatif
- 13 SGH : Système global harmonisé
- 14 SUMER : Surveillance médicale des risques professionnels
- 15 TIG : Tungsten Inert Gas (ou soudage sous protection de gaz inerte avec électrode de tungstène)
- 16 TPE : Très petite entreprise
- 17 UE : Union européenne
- 18 US EPA: United States Environmental Protection Agency
- 19 UV: Ultra-violet
- 20 VAS: Voies aérodigestives supérieures

21
22

23 Liste des tableaux

24	Tableau 1 : Consultations pour des pathologies cancéreuses dans les CCPPE (RNV3P : 2001-2019).....	15
25	Tableau 2 : Les trois types de brasage	30
26	Tableau 3 : Points de fusion selon le métal de base.....	32
27	Tableau 4 : Principales caractéristiques des différents procédés de projection thermique (INRS NT18, INRS	
28	NS 326).....	34
29	Tableau 5 : : Principales caractéristiques des différents procédés de coupage (INRS PR42).....	35
30	Tableau 6 : Description des points forts en fonction des techniques utilisées pour le rechargement	37
31	Tableau 7 : Principaux composés cancérogènes identifiés dans les fumées de soudage	42
32	Tableau 8 : Informations sur la composition des fumées selon le type de machine de coupage (INRS	
33	ED6132).....	45

1	Tableau 9 : estimation des moyennes géométriques des expositions professionnelles aux fumées de soudage pour les fractions inhalable et alvéolaire.....	53
2		
3	Tableau 10: résultat de la recherche bibliographique relative à la cancérogénicité des fumées de soudage	62
4	Tableau 11 : Résultats recherche bibliographique pour les autres procédés	69
5	Tableau 12 : Composés identifiés dans les fumées de soudage par l'extraction de la base de données COLCHIC.....	85
6		
7		
8		
9		

10 **Liste des figures**

11	Figure 1 : Soudage à la flamme	20
12	Figure 2 : Classification des procédés de soudage selon la nature de l'énergie utilisée pour réaliser l'assemblage (Paillard, 2014).....	21
13		
14	Figure 3 : Soudage à l'arc avec électrode enrobée (Annecy Santé au travail, 2009).....	22
15	Figure 4 : Soudage MAG fil plein (Annecy Santé au travail, 2009).....	23
16	Figure 5 : Electrode utilisée dans le soudage à fil fourré (Cazes, 2017).....	24
17	Figure 6 : Soudage TIG (Institut de soudure - procédé TIG).....	25
18	Figure 7 : Soudage à l'arc sous flux en poudre (Institut de soudure - le soudage sous flux en poudre)	26
19	Figure 8: Soudage plasma (Shigeta <i>et al.</i> , 2019).....	27
20	Figure 9 : Représentation schématique de procédés de soudage électrique par résistance (INRS ED 4219)	29
21		
22	Figure 10 : Opération de brasage tendre sur des circuits imprimés (INRS ED 6132)	31
23	Figure 11 : Principe de la projection thermique (INRS NS 326).....	35
24	Figure 12 : Exemple de gougeage (SYMOP)	36
25	Figure 13 : Les principaux polluants émis lors des différents procédés de projection thermique en fonction des matériaux à déposer (INRS ED 6132)	46
26		
27	Figure 14 : Les fractions conventionnelles sont représentées par les zones que délimitent les courbes ① : alvéolaire ; ① + ② : thoracique ; ① + ② + ③ : inhalable (INRS, 2016).....	86
28		
29		
30		
31		
32		

1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

Le code du travail définit, dans son article R4412-60, les agents chimiques cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) comme étant :

- toute substance ou mélange répondant aux critères de classification dans la catégorie 1A ou 1B des substances ou mélanges CMR définis à l'annexe I du règlement (CE) n°1272/2008 relatif à la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges (CLP) ;
- toute substance, tout mélange ou tout procédé inscrit dans **un arrêté conjoint des ministres chargés du travail et de l'agriculture fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes.**

Actuellement, la liste figurant dans cet arrêté¹ est essentiellement issue de la transposition de directives européennes (à l'exception du formaldéhyde pour lequel la décision a été prise au niveau national) et comporte les procédés suivants :

- fabrication d'auramine ;
- travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille ;
- travaux exposant aux poussières, fumées ou brouillards produits lors du grillage et de l'électroraffinage des mattes de nickel ;
- procédé à l'acide fort dans la fabrication d'alcool isopropylique ;
- travaux exposant aux poussières de bois inhalables ;
- travaux exposant au formaldéhyde ;
- travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail ;
- travaux entraînant une exposition cutanée à des huiles minérales qui ont été auparavant utilisées dans des moteurs à combustion interne pour lubrifier et refroidir les pièces mobiles du moteur ;
- travaux exposant aux émissions d'échappement de moteurs Diesel.

De ce classement découle l'application par les employeurs des dispositions réglementaires particulières applicables aux agents chimiques CMR, impliquant notamment une obligation de substitution dès que cela est techniquement possible.

¹ Il s'agit de l'arrêté du 03 mai 2021 modifiant l'arrêté du 26 octobre 2020 fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes au sens du code du travail

1.2 Objet de la saisine

Compte-tenu de l'actualité réglementaire européenne concernant la révision de la directive 2004/37/CE relative à la protection des travailleurs contre les risques liés aux cancérogènes ou mutagènes, la Direction générale du travail (DGT) a saisi l'Anses le 17 novembre 2017 afin d'apporter un avis sur les nouveaux procédés cancérogènes pouvant relever de cet arrêté. La saisine de la DGT se décline en deux temps.

Dans un premier temps, l'Anses a été saisie, via un appui scientifique et technique, afin de déterminer si quatre procédés identifiés par la DGT, pour lesquels il y a une forte suspicion du caractère cancérogène (sans qu'il existe de cadre réglementaire clair pour le définir) conjugué à une forte occurrence en milieu professionnel, peuvent relever de l'arrêté de 1993.

Les quatre procédés identifiés par la DGT étaient :

- les travaux exposant aux fumées de soudage ;
- les travaux exposant à la silice cristalline ;
- les travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ;
- les travaux exposant aux cytostatiques.

Il a également été demandé à l'Anses d'indiquer, le cas échéant, s'il existe des données de nature à mieux préciser et/ou restreindre le champ de ces quatre procédés pour le premier trimestre 2018.

Les travaux menés sur ces quatre procédés ont fait l'objet d'une note d'appui scientifique et technique (AST) publiée le 20 avril 2018 (Anses 2018).

Dans un second temps, il a été également demandé à l'Anses de proposer une méthode permettant de conclure à la classification d'un procédé cancérogène et de définir des critères de classification pour justifier de l'inclusion d'un procédé à l'arrêté. Ces travaux feront l'objet d'un avis de l'Anses ultérieurement.

Les travaux d'expertise décrits dans ce présent rapport consistent à évaluer le caractère cancérogène intrinsèque de procédés ou de travaux exposant aux fumées de soudage afin de pouvoir justifier leur éventuelle inclusion à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges ou procédés cancérogènes.

Dans sa note d'AST, l'Anses avait conclu, en ce qui concerne les travaux exposant aux fumées de soudage, à leur inclusion à la liste des travaux figurant à l'arrêté. Toutefois, dans la mesure où la monographie du centre international de recherche sur le cancer (CIRC) n'était pas publiée lors de la réalisation de cet appui scientifique et que le CIRC est le seul organisme (parmi les 5 considérés) à avoir évalué la cancérogénicité des fumées de soudage, l'Anses avait uniquement pu baser son analyse sur la publication de Guha et al. de 2017 présentant une synthèse de l'évaluation du CIRC. Il n'avait donc pas été possible d'examiner en détail s'il existait des données de nature à mieux préciser le champ proposé.

Par ailleurs, le CIRC a également classé les radiations UV (ultraviolets) émises par les travaux de soudage « cancérogènes pour l'Homme » (groupe 1) sur la base de « preuves suffisantes chez l'Homme » de l'induction de mélanomes oculaires. L'Anses a estimé dans sa note d'AST qu'il serait pertinent que les radiations UV émises par les travaux de soudage soient examinées de façon plus approfondie lors de la seconde phase des travaux afin de pouvoir se prononcer sur l'intérêt d'une inscription à la liste des travaux figurant à l'arrêté.

Il est à noter que le programme national de toxicologie américain (ou NTP) a également classé les expositions liées aux radiations UV à large spectre comme « Cancérogène connu pour l'Homme »

1 (« Known to be a human carcinogen ») dès 2002, en précisant que les soudeurs à l'arc électrique
2 étaient la plus importante population professionnelle exposée aux radiations UV artificielles à large
3 spectre.

4 Depuis la publication de la note d'AST, l'Anses a sollicité des extractions de la base de données
5 du réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (RNVP)
6 relatives aux consultations dans les Centres français de consultations de pathologies
7 professionnelles et de l'environnement (CCPPE), motivées par des pathologies cancéreuses
8 associées à des expositions professionnelles à des fumées de soudage. Les résultats de cette
9 enquête sont présentés dans le Tableau 1.

10 **Tableau 1 : Consultations pour des pathologies cancéreuses dans les CCPPE (RNVP : 2001-2019)**

Site ou type de cancer	Cas d'imputabilité moyenne ou forte (n)		Cas d'imputabilité faible (n)		Total (n)
	Mono- exposition	Poly- exposition	Mono- exposition	Poly- exposition	
Bronchopulmonaires	34	355	84	843	1316
Mésothéliome pleural		1		6	7
Nasosinusiens	2		1	5	8
Larynx		2	1	6	9
Oropharynx				8	8
Voies urinaires		10	10	64	84
Rein		3	2	7	12
Syndrome myélodysplasique ou Leucémie aigüe myéloïde (LAM)			2	1	3
Syndromes myéloprolifératifs			1	4	5
Lymphomes non-hodgkiniens		1		9	10
Lymphome de Hodgkin				1	1
Myélome			1		1
Autres ou non précisés				8	8
TOTAL	36	372	102	962	1472

11

12 Les tumeurs concernées sont essentiellement des cancers bronchopulmonaires (89,4 % des cas),
13 ce qui dénote seulement la fréquence de ces tumeurs et le biais de notoriété² concernant leur

² On parle de biais de notoriété, lorsque l'affection concernée est perçue par les intéressés, leur entourage ou leurs médecins, comme pouvant résulter de l'exposition à la nuisance impliquée

1 association avec l'exposition professionnelle aux fumées de soudage (la seule association pour
2 laquelle dans sa dernière évaluation, le CIRC a estimé qu'il y avait des preuves suffisantes de son
3 caractère causal) (IARC, 2018). De même, les autres tumeurs pour lesquelles le nombre de cas
4 dans la base de données du RNV3P est supérieur à 10 sont les cancers urothéliaux, les cancers
5 du rein et les cancers des voies aérodigestives supérieures³ (VAS). Ce sont toutes des tumeurs
6 fréquentes et/ou pour lesquelles une association positive avec l'exposition aux fumées de soudage
7 est rapportée. Les cas se répartissent dans une quinzaine de secteurs d'activités différents. Les
8 deux principaux postes de travail concernés sont ceux « soudeurs et oxycoupeurs » (environ 2 cas
9 sur 3) et de « tôliers-chaudronniers » (un peu moins de 10 % des cas).

10 Les données de reconnaissance en maladie professionnelle hors tableau des comités régionaux
11 de reconnaissance des maladies professionnelles (CRRMP)⁴ entre 2010 et 2020 ont été fournies
12 au groupe de travail, à sa demande, par la Caisse nationale d'assurance maladie (CNAM) pour les
13 cas de cancers chez des soudeurs. Les données transmises ne prennent pas en compte les cas
14 de cancers de soudeurs qui ont été reconnus dans le cadre de l'application d'un tableau de
15 maladie professionnelle. Au total, entre 2010 et 2020, 132 cas de cancers ont été examinés par les
16 CRRMP, parmi lesquels presque 1/3 (32%) ont été reconnus comme maladie professionnelle
17 (42/132). Sur ces 132 cas, les demandes concernaient majoritairement des cancers de la vessie
18 (45), des cancers bronchopulmonaires (32), des cancers des VAS (12), des cancers du colon (9)
19 et des cancers du larynx (7). De même que les données issues du RNV3P, celles fournies par la
20 CNAM et concernant l'activité des CRRMP ne constituent pas des indicateurs de l'incidence de
21 pathologies professionnelles. Elles reflètent plutôt la fréquence des tumeurs concernées et/ou la
22 notoriété de leur association avec les activités de soudage.

23

24 **1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation**

25 **1.3.1 Moyens mis en œuvre et organisation**

26 L'Anses a mis en place le groupe de travail (GT) « Procédés cancérogènes » le 29 mars 2019.
27 L'Anses a confié au GT « Procédés cancérogènes », rattaché au comité d'experts spécialisé
28 (CES) « Valeurs sanitaires de référence » l'instruction de cette saisine.

29 Les travaux d'expertise relatifs aux travaux exposant aux fumées de soudage en vue d'une
30 identification en tant que travaux ou procédés cancérogènes, objet du présent rapport, ont été
31 suivis et présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques les 04 février et
32 01 juillet 2021.

³ Les voies aérodigestives supérieures regroupent un ensemble de voies et de cavités situées dans la partie haute des appareils digestifs et respiratoires : d'une part, la bouche (comprenant les lèvres et la langue), le pharynx, couramment appelé gorge, et l'œsophage (voies digestives supérieures) et d'autre part les fosses nasales, le nasopharynx, les sinus, les cavités de l'oreille moyenne, le larynx et la trachée (voies aériennes supérieures). (<https://www.e-cancer.fr/Patients-et-proches/Les-cancers/Cancers-de-la-sphere-ORL-voies-aerodigestives-superieures/Les-points-cles>)

⁴ En application des dispositions de l'alinéa 7 de l'article L 461-1 du Code de la sécurité sociale, les CRRMP interviennent pour décider de l'éventuelle indemnisation de pathologies graves (entraînant une incapacité permanente partielle au moins égale à 25 %), en particulier de pathologies cancéreuses, quand elles ne sont pas indemnisables en application des dispositions d'un tableau de maladie professionnelle. Pour que la pathologie soit indemnisable, les CRRMP doivent, alors être en capacité d'établir qu'il existe un lien direct et essentiel, entre une ou des expositions professionnelles de l'intéressé et la pathologie concernée.

1 Le rapport d'expertise collective a été validé pour mise en consultation publique par le CES VSR le
2 01 juillet 2021. Deux experts se sont abstenus. Leurs positions sont détaillées en annexe 6 du
3 rapport.

4 Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

5 L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise –
6 prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

7 **1.3.2 Autres moyens mis en œuvre et organisation**

8 Extraction de la base de données COLCHIC

10 La base de données COLCHIC a été mise en place en 1987 par l'INRS. Elle collecte les données
11 sur les expositions professionnelles aux agents chimiques (mesures d'exposition individuelle ou
12 d'ambiance) en France effectuées par les laboratoires des caisses d'assurance retraite et sécurité
13 au travail (Carsat) et de l'INRS. Elle contient des informations sur les conditions de réalisation des
14 prélèvements (technique de prélèvement, volume, durée, méthode, etc.), des données sur
15 l'entreprise (secteur d'activité économique, localisation, etc.), des informations sur les travailleurs
16 (fréquence d'exposition, profession, type de tâches effectuées, etc.) et des indications sur
17 l'environnement de travail (protection collective et équipement de protection individuelle mis en
18 œuvre).

19 Une extraction des données de la base COLCHIC a été réalisée par l'INRS sur la période 2002-
20 2018 afin d'identifier tout d'abord, la liste des agents chimiques mesurés dans le cadre de travaux
21 de soudage, puis les postes de travail pouvant conduire à une exposition similaire à celle
22 engendrée par des travaux exposant aux fumées de soudage.

23 Les résultats de ces extractions sont présentés dans la partie 3 relative aux données d'exposition.

24 **1.4 Champ d'expertise de l'étude**

25 Ces travaux visent à déterminer la pertinence de recommander l'inclusion des travaux exposant
26 aux fumées de soudage à la liste des substances, mélanges ou procédés cancérogènes annexée
27 à l'arrêté conjoint des ministres chargés du travail et de l'agriculture fixant la liste des substances,
28 mélanges et procédés cancérogènes. Ils s'intègrent dans le cadre de la saisine 2017-SA-0237.

29 L'expertise du présent rapport concerne les travaux exposant aux fumées de soudage. Les
30 activités, procédés étudiés sont uniquement les procédés de soudage définis dans la norme NF
31 EN ISO 4063 de février 2011 ainsi que les techniques connexes (telles que le brasage, le
32 coupage, le gougeage, la projection thermique, le rechargement) émettant des fumées
33 métalliques. L'enquête SUMER 2017⁵ définit par « fumées de soudage d'éléments métalliques »
34 les fumées dégagées lors d'opérations de soudage d'éléments métalliques quelle que soit la
35 nature du métal (acier inox⁶, acier, laiton, aluminium, plomb...) et du procédé utilisé (chalumeau,
36 arc électrique, procédés MIG, TIG, MAG...). Le groupe de travail a retenu cette définition et
37 l'emploi du terme « fumées de soudage » dans le reste du rapport fera référence à cette définition.

⁵https://dares.travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/dares_expositions_risques_professionnels_produits_chimiques-2.pdf

⁶ L'acier inoxydable, dit inox, est un alliage de fer comportant plus de 10,5 % de chrome et moins de 1,2 % de carbone nécessaires pour garantir la formation d'une couche de surface auto-régénérante (couche passive) qui apporte la résistance à la corrosion. (https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_FR.pdf)

1 Ainsi, le soudage, le brasage, ou autres opérations sur des matières plastiques ne sont pas traités
2 dans cette expertise.

3 L'activité de soudage implique l'exposition à des fumées de différents métaux et d'oxydes
4 métalliques, à la silice cristalline, à des silicates, des fluorures, des oxydes, de carbone, des
5 oxydes d'azote, de l'ozone, à des rayonnements ionisants et non-ionisants ; elle est ou a été
6 associée à des co-expositions à divers solvants organiques, à des huiles et graisses minérales et
7 à leurs produits de dégradation thermique, etc. Ce rapport n'a pas pour but d'évaluer la toxicité
8 intrinsèque, en particulier la cancérogénicité, de chacun de ces divers agents associés à l'activité
9 de soudage. Dans le cadre de l'identification des dangers, il ne prend en compte que les études
10 expérimentales et épidémiologiques rapportant des effets sur la santé, associés à l'exposition à
11 des fumées de soudage sur des métaux et/ou à la profession de soudeur.

12 En ce qui concerne la problématique des rayonnements UV émis par les procédés de soudage, le
13 GT ne souhaite pas les traiter dans cette expertise qui fait référence aux expositions aux fumées
14 de soudage et non aux travaux de soudage. Les experts sont favorables à mener une réflexion
15 globale ultérieure sur les rayonnements UV (sources naturelles et industrielles).

16 **1.5 Prévention des risques de conflits d'intérêts.**

17 L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long
18 des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre
19 de l'expertise.

20 Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

2 Les travaux exposant aux fumées de soudage

2.1 Historique et évolution des techniques

L'origine du soudage remonte à environ 3000 ans avant JC. Différents procédés de soudage consistant à chauffer les métaux à souder ont été utilisés jusqu'au 19^{ème} siècle. Les premiers dispositifs de soudure à l'arc datent de la fin du 19^{ème} siècle. Puis de nouveaux procédés tels que le soudage oxyacétylénique, le soudage par aluminothermie et le soudage par résistance ont été largement utilisés dans l'industrie à partir début du 20^{ème} siècle et ont permis le développement de nombreux secteurs économiques comme ceux des constructions navale, automobile, ferroviaire et aéronautique. Ils sont toujours largement utilisés dans l'industrie.

Les techniques de soudage évoluent continuellement et peuvent être industrialisées et automatisées : soudage au laser, par faisceau d'électrons, aux ultra-sons, soudage par explosion, par diffusion.

Les innovations se poursuivent en ce qui concerne le matériel de soudage, les matériaux d'apport, la robotisation, les techniques de soudage hybride (Iarc 2018 ; WEMAN, 2020 ; Paillard, 2014 PAILLARD; INRS ED 6132).

2.2 Principes d'assemblage à chaud

L'assemblage à chaud des métaux est la technique la plus répandue exposant aux fumées de soudage. Elle regroupe différents procédés comme le soudage ou le brasage et se distingue des autres techniques d'assemblage comme le collage (par colles ou adhésifs) ou l'assemblage mécanique.

L'assemblage à chaud de pièces métalliques permet d'assurer la continuité métallique de la pièce et les propriétés physico-chimiques du métal telles que la résistance mécanique (il garantit des sollicitations élevées), les propriétés thermiques (la soudure est insensible aux variations de température et aux conditions climatiques), chimiques et électriques. Il permet de garantir l'étanchéité et confère à la soudure une durabilité équivalente au métal (Paillard, 2014).

L'utilisation d'un flux décapant est obligatoire pour l'assemblage ; il est souvent intégré au métal d'apport. La nature du flux à utiliser dépend de la température de fusion, du type d'alliage à assembler et de l'état de surface des pièces à assembler.

Les matériaux pouvant être soudés diffèrent selon le procédé mis en œuvre.

La norme NF EN ISO 4063 définit la nomenclature et numérote les différents procédés de soudage et les techniques connexes dont le brasage.

2.3 Les différents procédés de soudage

Le soudage consiste à assembler deux pièces métalliques par fusion de leurs bords avec un cordon de soudure. Le cordon de soudure se constitue par le métal support et un métal d'apport.

Il faut distinguer le soudage homogène quand les pièces et le métal d'apport du joint ont des compositions chimiques identiques ou voisines et le soudage hétérogène dans les autres cas. La technique de soudage mise en œuvre est choisie selon les caractéristiques des matériaux à

1 souder, la qualité finale et les propriétés de soudage désirées. Rares sont les soudeurs qui
2 n'utilisent qu'une seule technique de soudage durant leur carrière professionnelle (Paillard, 2014).

3 Il existe deux catégories de procédés de soudage selon la source d'énergie utilisée :

- 4 ➤ le soudage utilisant une source d'énergie extérieure à la pièce : flamme, arc électrique,
5 faisceau d'électrons, faisceau laser, jet de plasma...
- 6 ➤ le soudage utilisant une source d'énergie interne (ou endogène) aux pièces : soudage
7 électrique par résistance, soudage par friction, soudage par diffusion, soudage par
8 explosion, soudage par ultrasons...

9 Le soudage à l'arc électrique est actuellement le procédé le plus utilisé pour le soudage des aciers et
10 des autres métaux et alliages. Il existe plusieurs types de procédés de soudage à l'arc :

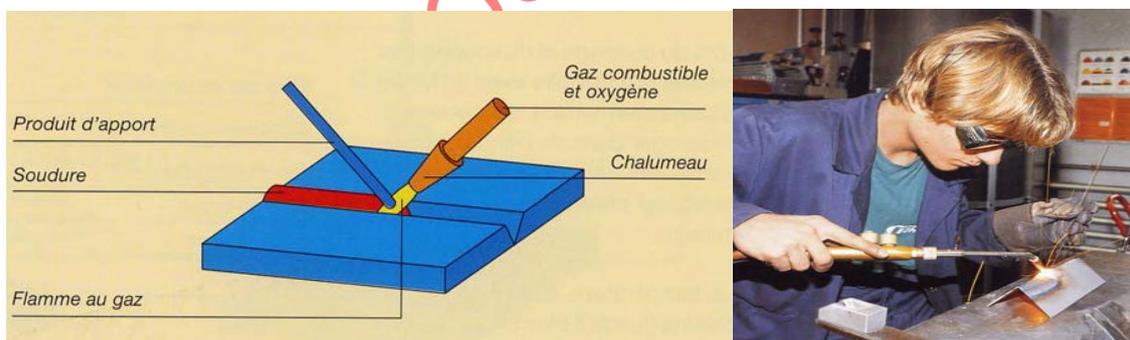
- 11 ➤ à électrode enrobée ;
- 12 ➤ à fil-électrode fusible : Metal Inert Gaz (MIG), Metal Active Gaz (MAG) ;
- 13 ➤ à électrode infusible : Tungsten Inert Gaz (TIG).

14 2.3.1 Soudage à la flamme (soudage oxyacétylénique) (Procédé 311 de la norme NF 15 EN ISO 4063)

16 Ce procédé utilise le principe de la combustion de l'oxygène en présence d'un gaz combustible
17 type acétylène, méthylacétylène-propadiène, propane, hydrogène ou propylène. Le choix de la
18 nature du gaz permet de faire varier la température de la flamme et de pouvoir chauffer les pièces
19 métalliques à des températures plus élevées.

20 Un métal d'apport complémentaire peut être utilisé (sous forme de baguette du même métal) mais
21 ce n'est pas systématique. (Annecy Santé au travail, 2009 ; Vignardet, 1993)

22



23
24 **Figure 1 : Soudage à la flamme**

25
26

27 Les bouteilles de gaz (gaz combustible et oxygène) se trouvent reliées et à proximité du poste de
28 soudage.

29 Plusieurs paramètres sont à régler sur le poste de soudage afin d'assurer un soudage de qualité :

- 30 ➤ utilisation de chalumeaux haute ou basse pression ;
- 31 ➤ réglage des flux d'oxygène et de gaz combustible ;
- 32 ➤ sens du soudage.

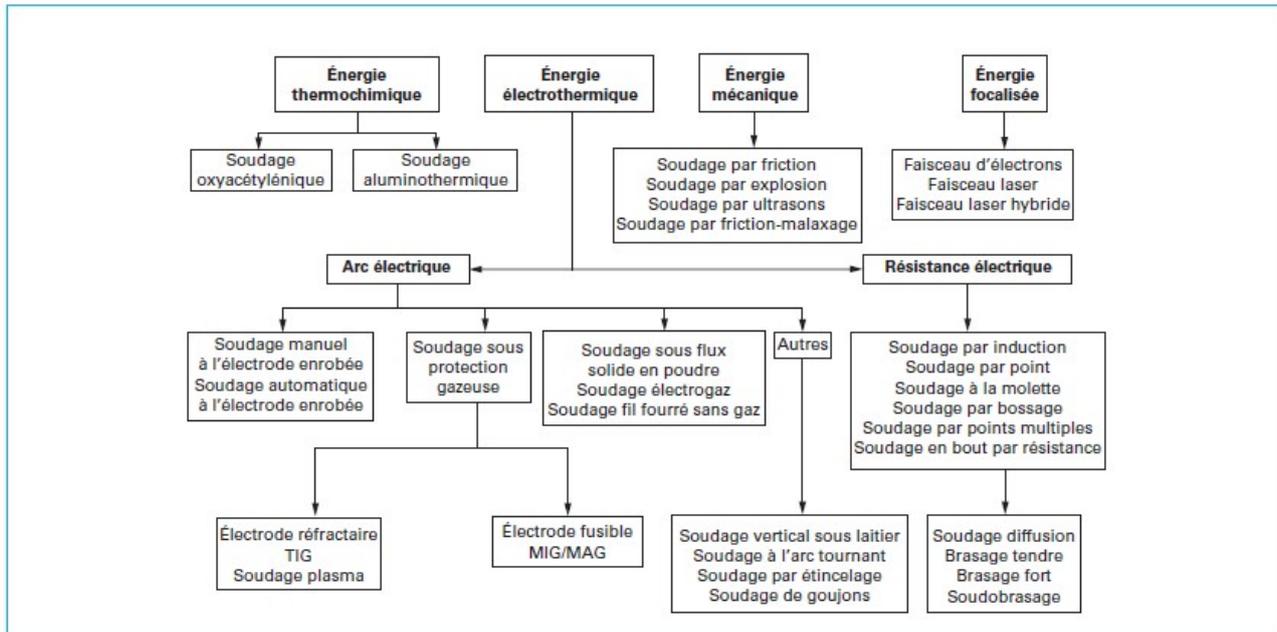
33 Le soudage à la flamme utilise un dispositif facilement transportable et il est très employé dans
34 toute l'industrie métallurgique, en particulier pour des travaux de maintenance et de réparation sur

1 des plaques ou des feuilles de métaux, pour solidariser des éléments métalliques avant leur
 2 soudage à l'arc et dans tous les sites/chantiers où l'électricité n'est pas disponible.

3
 4 **2.3.2 Soudage à l'arc électrique**

5 Il existe de nombreuses techniques de soudage à l'arc électrique.

6 Manuelles ou partiellement / entièrement automatisées, elles utilisent la chaleur fournie par un arc
 7 électrique pour permettre l'assemblage de deux pièces métalliques.



9
 10 **Figure 2 : Classification des procédés de soudage selon la nature de l'énergie utilisée pour réaliser**
 11 **l'assemblage (Paillard, 2014)**

12
 13 Un descriptif des principales techniques est présenté ci-dessous.

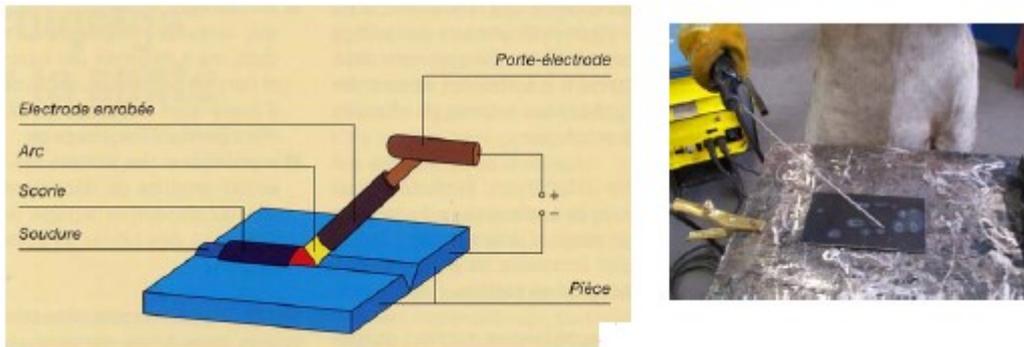
14 **2.3.2.1 Soudage manuel à l'arc avec électrode enrobée (Procédé n°111 de la norme NF**
 15 **EN ISO 4063)**

16 Ce procédé de soudage est couramment utilisé pour souder des feuilles et des plaques d'acier
 17 (doux, peu ou fortement allié, ou sous certaines conditions des alliages aluminium ou cuivre), en
 18 particulier, dans le secteur de la construction.

19 Il utilise la chaleur générée par un arc électrique entre une électrode métallique sous protection de
 20 gaz et les deux pièces de métal à souder pour faire fondre le métal de l'électrode et assembler les
 21 deux pièces métalliques. Généralement le métal d'apport est de composition voisine de celle du
 22 métal soudé.

23 L'enrobage autour de l'âme métallique protège l'arc électrique et la soudure de l'air ambiant
 24 (quand le métal d'apport fond, le flux est volatilisé et sert de gaz inerte, pour protéger la soudure
 25 de l'air ambiant). Les flux sont de composition variable ; ils contiennent souvent du dioxyde de
 26 titane rutile, du fluorure de calcium, de la cellulose et du fer (Cazes, 2017 ; Paillard, 2019).

- 1 Les électrodes enrobées ont une durée d'utilisation de quelques minutes. Chaque tâche nécessite
2 l'emploi de plusieurs électrodes.



3
4 **Figure 3 : Soudage à l'arc avec électrode enrobée (Annecy Santé au travail, 2009)**

5
6 Au cours de la fusion du métal de l'électrode, des fumées, des particules incandescentes, du laitier
7 en fusion et des rayonnements optiques de l'arc sont émis (INRS ED 83). Leur importance dépend
8 des conditions de soudage, notamment :

- 9 ➤ du revêtement éventuel des pièces à souder (peintures, graisses...);
10 ➤ de la nature de l'enrobage de l'électrode (flux acide, basique, cellulosique...).

11

12 2.3.2.2 Soudage à l'arc sous protection gazeuse

13 Le soudage à l'arc sous protection gazeuse est particulièrement émissif à l'exception du TIG. La
14 composition et le débit des fumées émises dépendent du procédé utilisé (Cazes, 2017; Benoit,
15 2015; Paillard 2017).

16 Quelques exemples de paramètres qui influent sur la composition et le débit des fumées
17 émises sont cités ci-dessous :

- 18 ➤ procédé de soudage : type, paramètres (intensité, longueur d'onde, etc.), débit du gaz
19 propulseur ;
20 ➤ fil ou électrode de soudage : diamètre, composition et épaisseur de l'enrobage ;
21 ➤ composition des pièces à souder : composition métallique et revêtements ;
22 ➤ positionnement du pistolet de soudage pendant l'opération (INRS ED 668).

23

24 2.3.2.2.1 *Metal Inert Gas ou soudage sous protection de gaz inerte (MIG) (procédé 131 de la* 25 *norme NF EN ISO 4063) et Metal Active Gas ou soudage sous protection de gaz actif* 26 *(MAG) (procédé 135 de la norme NF EN ISO 4063)*

27 Ces deux techniques de soudage, semi-automatiques, sont les procédés de soudage à l'arc
28 électrique les plus communément utilisés dans l'industrie.

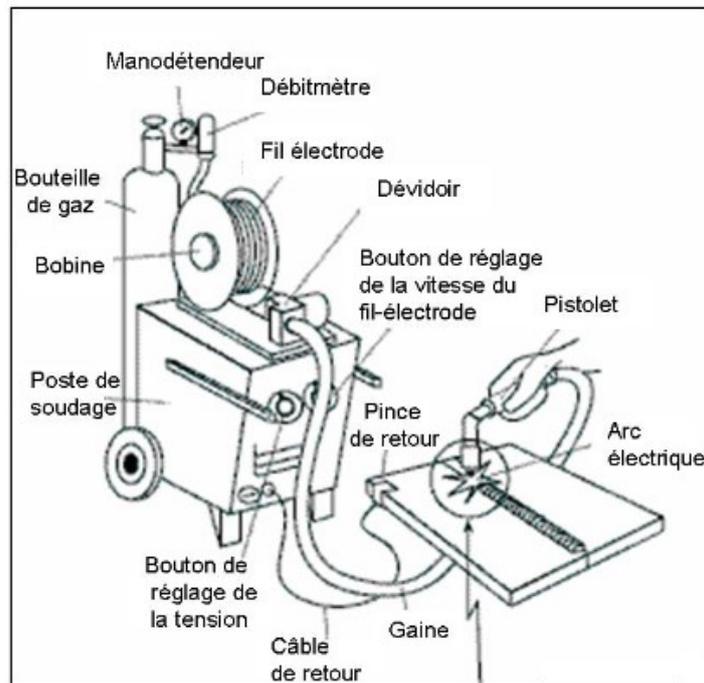
29 Leur popularité est due à la souplesse de leur utilisation, leur rapidité de mise en œuvre, leur coût
30 et leur robotisation possible. Ils peuvent s'appliquer à de nombreux métaux : aluminium, cuivre,
31 acier noir ou inoxydable, etc.

32 Dans les deux cas, le métal d'apport, sous forme de bobine de fil métallique, se dévide dans un
33 pistolet de soudure. Un arc électrique se forme entre ce métal d'apport et les pièces métalliques à

1 souder. L'échauffement créé par la résistivité des métaux parcourus par l'électricité élève la
2 température au point de soudure jusqu'à celle requise pour la fusion du métal.

3 Un gaz est délivré via le pistolet de soudage pour protéger la soudure de l'exposition à l'air. En
4 fonction de la méthode de soudage choisie, le gaz peut être :

- 5 ➤ inerte : cas du procédé MIG. Le gaz propulsé est principalement l'argon ou l'hélium ;
- 6 ➤ actif : le gaz propulsé participe à la qualité finale de la soudure. En fonction des métaux à
7 souder, le gaz actif sera généralement composé d'un mélange d'argon et de dioxyde de
8 carbone, ou d'argon et d'oxygène.



9
10 **Figure 4 : Soudage MAG fil plein (Annecy Santé au travail, 2009)**

11 En raison de la nécessité d'apporter un gaz de protection, le soudage MIG ou MAG est complexe
12 à utiliser en extérieur et d'une manière générale dans des conditions de fort courant d'air.

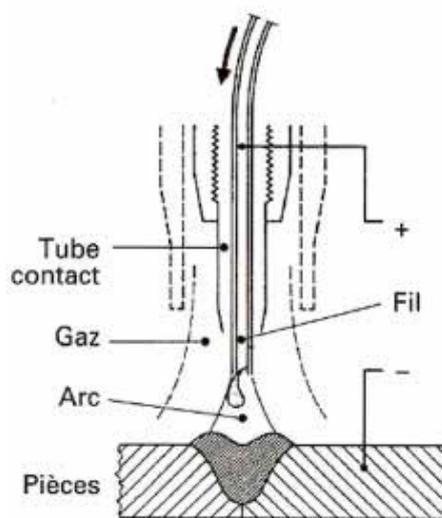
13 Il est à noter la robotisation possible de ces techniques qui facilite le captage des fumées et
14 éloigne le soudeur de son poste de travail. En cas d'impossibilité, de nombreuses solutions de
15 captage à la source des fumées sont proposées sur le marché, en particulier une large gamme de
16 torches aspirantes (Annecy Santé au travail, 2009 ; INRS, 2020a ; Cazes, 2017 ; Benoit, 2015).

17 2.3.2.2 Soudage avec fil fourré (Flux Cored Arc Welding (FCAW))

18 Le soudage avec fil fourré (flux cored arc welding) s'apparente au soudage MAG dont il se
19 distingue par la nature de l'électrode qu'il met en œuvre. L'électrode (Figure 5) se présente sous la
20 forme d'un feuillard enroulé sur lui-même pour contenir un flux solide afin d'obtenir des conditions
21 de soudage physico-chimiques similaires à celles obtenues en soudage à l'électrode enrobée et
22 une technologie similaire à celle du soudage MAG par la continuité de l'électrode, ce qui permet un
23 emploi semi-automatique ou automatique. Selon la composition du flux, le soudage avec fil fourré
24 doit s'accompagner ou non d'une protection gazeuse supplémentaire. Lorsqu'il est utilisé sans gaz
25 d'apport, sa mise en œuvre est donc aussi simple que celle du soudage manuel.

26 Un intérêt non moindre réside dans l'éventail très large de qualités d'électrodes qu'il est possible
27 de mettre en œuvre et dans les avantages qui en résultent, du point de vue métallurgique, en
28 comparaison avec le soudage MAG.

- 1 Employé automatiquement, on rejoint les avantages du soudage sous flux en poudre sans avoir
 2 les difficultés technologiques liées à la nature pulvérulente du flux, à son traitement et à son
 3 alimentation dans la zone de l'arc. Les conditions physiques de l'arc avec fil fourré donnent lieu à
 4 peu de projections de métal mais, en contrepartie, entraînent un dégagement important de fumées
 5 de soudage. Lorsque les fils fourrés nécessitent une protection gazeuse complémentaire, celle-ci
 6 est généralement du dioxyde de carbone.
- 7 Le soudage avec fil fourré est utilisé en mono- et multipasses pour obtenir des productivités ou des
 8 qualités métallurgiques supérieures, lorsque cela s'impose, au soudage MAG dans le cas
 9 d'épaisseurs élevées et/ou des facilités de mise en oeuvre par rapport au soudage sous flux.
- 10 Les matériaux soudables sont presque exclusivement les aciers au carbone alliés ou faiblement
 11 alliés. Les domaines d'emploi sont par suite la construction métallique et la mécano-soudure
 12 légère ou moyenne (Cazes, 2017).

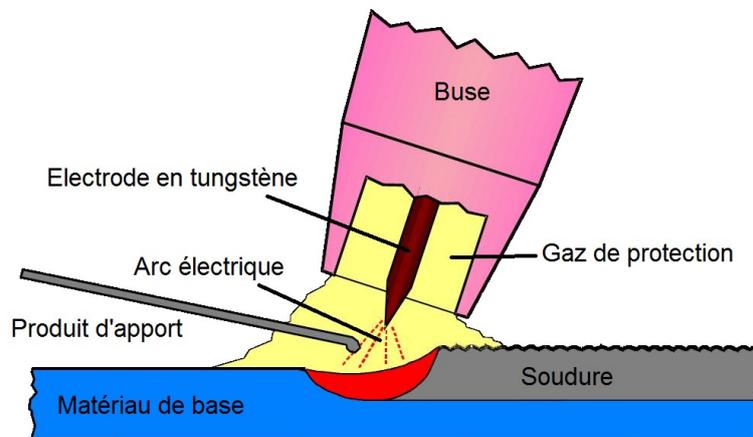


13
 14 **Figure 5 : Electrode utilisée dans le soudage à fil fourré (Cazes, 2017)**

- 15 **2.3.2.2.3 Tungsten Inert Gas ou soudage sous protection de gaz inerte avec électrode de**
 16 **tungstène (TIG) (procédé 141 de la norme NF EN ISO 4063)**
- 17 Le procédé TIG correspond à une autre technique de soudage à l'arc sous protection gazeuse. Il
 18 s'agit d'un procédé de soudage par fusion dont la source de chaleur est un arc électrique qui est
 19 établi entre une électrode de tungstène non fusible et les pièces à souder.
- 20 L'électrode est obligatoirement à base de tungstène, éventuellement additionné de divers oxydes
 21 métalliques (NF EN ISO 6848). Son point de fusion étant particulièrement élevé, l'électrode ne
 22 fond pas pendant le soudage et ne sert que de vecteur à l'arc électrique. Une baguette métallique
 23 est appliquée à la zone de soudage et sert de liant entre les deux pièces.
- 24 Le gaz de protection délivré au cours de l'opération de soudage est un gaz inerte composé d'argon
 25 ou d'hélium ou d'un mélange des deux. Il est utilisé afin de protéger l'électrode, le bain de fusion et
 26 ses abords de l'oxydation.
- 27 Les deux métaux principalement soudés à l'aide du procédé TIG sont l'aluminium et l'acier
 28 inoxydable (mais le procédé peut être employé sur la plupart des métaux, excepté le zinc). Les
 29 métaux d'apport sont très divers, en fonction du support.
- 30 Cette technique de soudage, d'un résultat de haute qualité, exige un niveau de compétence
 31 particulier. Le procédé TIG est présent certainement dans tous les secteurs industriels réalisant
 32 des assemblages soudés : quand il n'est pas utilisé comme moyen d'assemblage principal, il est
 33 mis à profit pour réaliser le pointage de pièces car les points TIG sont aisément refondus pendant

1 l'opération de soudage. Ce procédé se retrouve beaucoup en tôlerie, chaudronnerie ou tuyauterie
 2 dans les secteurs de l'agro-alimentaire, de la pharmacie, de la chimie, de l'énergie (notamment
 3 gaz et nucléaire), de l'aéronautique et du spatial (Article STC procédé TIG).

4



5

6

Figure 6 : Soudage TIG (Institut de soudure - procédé TIG)

7 Il existe aussi des variantes au procédé TIG « classique » qui permettent d'augmenter la
 8 productivité ou la pénétration comme le TIG avec fil fourré, le TIG par point, le TIG avec apport de
 9 fil froid ou chaud, le TIG double flux, le procédé plasma, ...

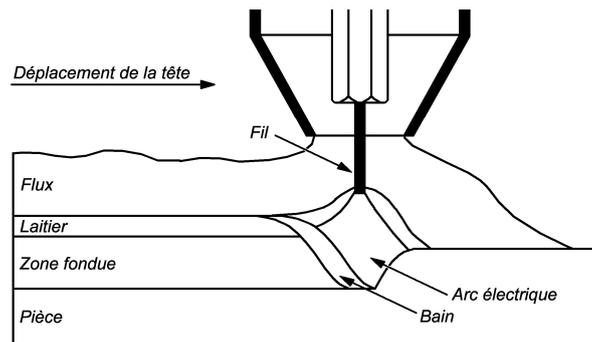
10 Le procédé TIG produit peu de fumées de soudage à condition que l'on soude des pièces propres
 11 et exemptes de revêtements à bas point de fusion. Cela résulte de la stabilité de l'arc électrique,
 12 qui est elle-même liée au fait que l'arc électrique et le produit d'apport sont dissociés. Ainsi, on
 13 peut le mettre en œuvre sans produit d'apport pour assembler des pièces dont l'épaisseur
 14 n'excède pas environ 5 mm. L'émission des fumées de soudage, tant dans le débit d'émission que
 15 dans sa composition, dépend de la composition des métaux à assembler (émission de chrome (VI)
 16 lors d'assemblage de pièces en acier inoxydable, par exemple) (Annecy santé au travail, 2009 ;
 17 Institut de soudure - procédé TIG ; Cazes, 2017 ; Paillard, 2017).

18

19 2.3.2.3 Soudage à l'arc sous flux en poudre (procédés 121, 122 de la norme NF EN ISO 20 4063)

21 Le procédé de soudage à l'arc sous flux en poudre est apparu en 1935 avec l'utilisation simultanée
 22 de flux sous la forme de granulés et d'électrodes nues. La particularité du procédé de soudage
 23 sous flux en poudre est l'ajout séparé de poudre céramique (flux) au produit d'apport pour former
 24 un laitier permettant de protéger le bain de métal liquide. En effet, les procédés de soudage à l'arc
 25 font, soit appel à un gaz pour assurer cette fonction, soit, quand ils utilisent également de la
 26 poudre céramique, celle-ci est déjà présente à l'intérieur ou à l'extérieur du consommable. La
 27 pièce à souder et l'électrode sont recouvertes du flux. Un arc électrique est amorcé et fait fondre
 28 une partie du flux. Le flux non fondu est récupéré et réutilisé. Le flux contient typiquement de la
 29 poudre céramique de granulométrie très fine, qui peut être agglomérée avec un liant, être enrichie
 30 en manganèse pour le soudage d'alliages à base de nickel ou fondue. Cette technique de
 31 soudage s'utilise en soudage à plat voire en corniche ; elle est généralement automatisée.

32 (Assurance Maladie 2015, Iarc 2018; SYMOP ; Institut de soudure – le soudage sous flux en
 33 poudre ; Cazes, 2017 ; Cazes, 1990).



1
2 **Figure 7 : Soudage à l'arc sous flux en poudre (Institut de soudure - le soudage sous flux en poudre)**

3
4 Dans ce procédé, les fumées de soudage sont très fortement réduites (Institut de soudure – le
5 soudage sous flux en poudre).

6 Cette technique est adaptée pour des soudures longues et fines (Iarc 2018).

8 **2.3.3 Soudage par faisceau laser (procédé 751 de la norme NF EN ISO 4063)**

9 Le soudage par faisceau laser est basé sur la capacité du procédé à créer une zone fondue via un
10 « keyhole » (trou de serrure) ou capillaire de vapeur grâce à une très forte densité de puissance.
11 Une source de lumière d'un faisceau laser produit l'intensité qui provoque la fusion et la
12 vaporisation des pièces de métal à souder (INRS ED 6132 ; Institut de soudure – Le soudage
13 laser). La température obtenue est plus précise que celle du soudage à la flamme ou à l'arc
14 électrique (SYMOP ; Cazes, 2001).

15 Le matériau d'apport, pour le soudage laser, se présente soit sous forme de fil, soit sous forme de
16 poudre (INRS ED 6132). Le faisceau laser porte le métal jusqu'à son point de fusion. Après le
17 passage du faisceau, il se solidifie à nouveau et assure ainsi la soudure entre les deux pièces
18 métalliques, d'une manière invisible à l'œil nu (Institut de soudure – Le soudage laser).

19 Il existe trois types de soudage laser :

- 20 ➤ le soudage laser à gaz CO₂ ;
- 21 ➤ le soudage laser à solide Nd-YAG (Yttrium Aluminium Garnet ou grenat d'yttrium aluminium
22 dopé au néodyme) ;
- 23 ➤ les diodes laser : technologie issue de l'électronique avec un semi-conducteur.

24 Les vitesses de soudage, dans le deuxième cas, sont plus faibles que dans le premier. En
25 revanche, dans le cas de paramètres de soudage optimisés, les débits d'émission de polluants
26 sont plus faibles (INRS ED 6132).

27 Le principal avantage du procédé de soudage par faisceau laser est sa possibilité de souder à de
28 grandes vitesses. En comparaison avec des procédés de soudage conventionnels pour lesquels la
29 vitesse se compte généralement en dizaines de centimètres par minute, les vitesses de soudage
30 laser se comptent en mètres par minute, soit une augmentation par un facteur 10 (Institut de
31 soudure – Le soudage laser).

32 Le soudage par faisceau laser est en forte progression au niveau industriel et les applications sont
33 très variées, notamment dans l'industrie automobile qui utilise le soudage pour des pièces
34 mécaniques, des renforts, des éléments de carrosserie ou des capteurs chez les équipementiers,

1 ou encore dans l'industrie aéronautique où les raidisseurs sont réalisées par soudage par faisceau
2 laser (Institut de soudure – Le soudage laser; Cazes, 2001).

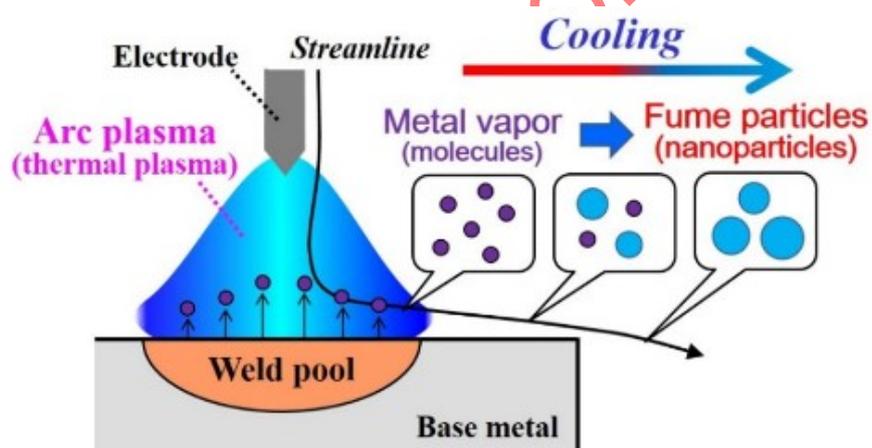
3 2.3.4 Soudage par jet de plasma (procédé 15 de la norme NF EN ISO 4063)

4 Le procédé de soudage par jet de plasma est une évolution du procédé TIG, la caractéristique
5 principale qui différencie les deux procédés étant la densité de puissance bien plus élevée dans le
6 cas du plasma. Par rapport au procédé TIG, le plasma réduit fortement le temps de soudage (par
7 la réduction du nombre de passes ou l'augmentation de la vitesse de soudage) et les déformations
8 (Institut de soudure – Le soudage plasma). Dans ces types de soudures, l'augmentation de
9 l'intensité du courant permet d'augmenter la quantité de métal en fusion, mais en même temps,
10 augmente la température de ce dernier avec un risque de diminution de la qualité intrinsèque de la
11 soudure (Dong et al., 2019).

12 Une torche de soudage plasma est constituée, dans son axe de révolution, d'une électrode de
13 tungstène (la cathode) autour de laquelle se trouve une buse en alliage base cuivre (l'anode),
14 refroidie par de l'eau. Entre les deux transite un gaz plasmagène, lequel est ionisé par l'arc
15 électrique établi entre l'anode et la cathode. Il en résulte un plasma qui est un gaz ionisé. Cette
16 ionisation peut être obtenue en soumettant le gaz à un fort chauffage ou à un fort champ électrique
17 (Institut de soudure – Le soudage plasma; École Polytechnique, 2010).

18 Il est possible de schématiser la technique de la manière suivante :

19



20

21 **Figure 8: Soudage plasma (Shigeta et al., 2019)**

22 Le procédé plasma est une bonne alternative au procédé TIG, notamment lorsque l'épaisseur des
23 pièces fait que le procédé TIG ne permet pas de réaliser l'assemblage en une passe. Le procédé
24 plasma est bien accepté pour des applications où le procédé TIG est utilisé, par exemple dans les
25 secteurs nucléaire ou aérospatial. Le soudage plasma se retrouve dans beaucoup d'applications
26 de soudage de viroles. Il est également très populaire dans le secteur de la maintenance pour
27 réaliser des opérations de réparation ou de revêtement : aéronautique (aubes, carters...) ou
28 encore pétrole et gaz (revêtement de sièges de vannes, revêtements durs contenant des carbures
29 de tungstène, etc.) (Institut de soudure – Le soudage plasma).

30 Sa variante appelée microplasma permet au contraire de souder des pièces extrêmement fines (de
31 l'ordre du dixième de mm) grâce à la stabilité de la colonne de plasma (Institut de soudure – Le
32 soudage plasma; Cazes, 1985).

33

1 2.3.5 Soudage hybride

2 Le soudage hybride consiste à combiner deux procédés (INRS ED 6132). Le principe est de plus
3 en plus utilisé. Il a comme avantage d'obtenir des performances en matière de fusion du métal et
4 de vitesse de progression supérieures à celles de chaque procédé pris séparément.

5 Les hybridations les plus connues sont les suivantes :

- 6 ➤ laser + MIG
- 7 ➤ laser + TIG
- 8 ➤ plasma + MIG
- 9 ➤ plasma + TIG
- 10 ➤ laser + plasma

11

12 2.3.6 Autres procédés de soudage

13 La nomenclature des procédés de soudage figurant dans la norme NF EN ISO 6947 liste tous les
14 types de soudage, certains n'étant utilisés que dans des applications très spécifiques (norme EN
15 ISO 4063 ; Weman 2012).

16

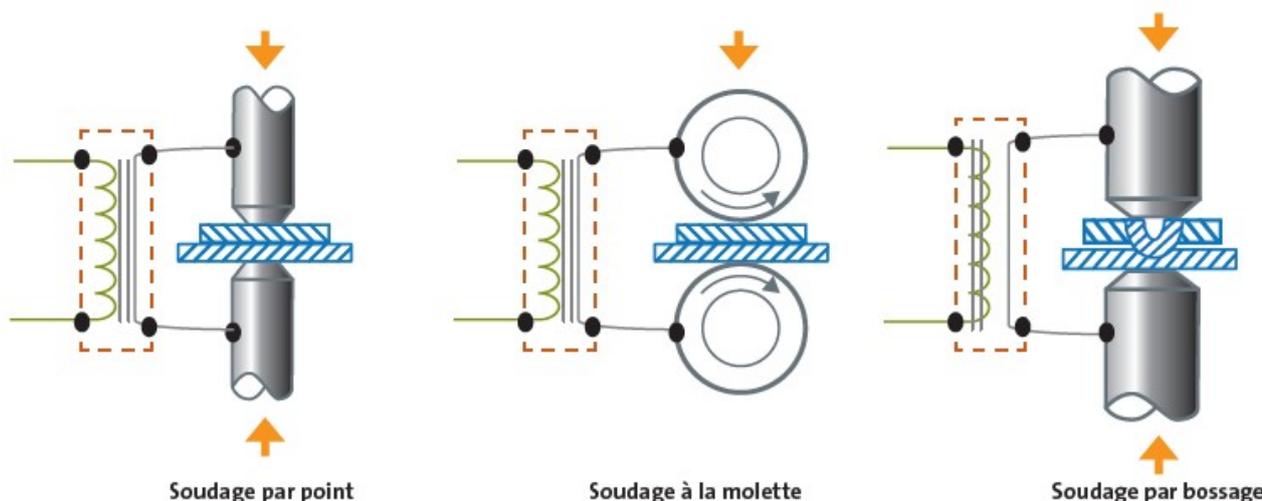
17 2.3.6.1 Soudage électrique par résistance

18 Le soudage électrique par résistance ne nécessite pas de métal d'apport. Les pièces à souder
19 sont reliées à un courant électrique qui provoque une forte élévation de la température (INRS, ED
20 4219). Selon le type de pièces à souder et la longueur de soudage souhaitée, la technique de
21 soudage électrique par résistance peut être choisie parmi une vingtaine de techniques dont les
22 plus fréquemment utilisées sont :

- 23 ➤ soudage par résistance par points (procédé 21 de la norme NF EN ISO 4063);
- 24 ➤ soudage à la molette (procédé 22 de la norme NF EN ISO 4063) ;
- 25 ➤ soudage par bossage (procédé 23 de la norme NF EN ISO 4063) ;
- 26 ➤ soudage par étincelage (procédé 24 de la norme NF EN ISO 4063) ;
- 27 ➤ soudage par forgeage (annexe A (procédé n°43) de la norme NF EN ISO 4063).

28

29



1
2 **Figure 9 : Représentation schématique de procédés de soudage électrique par résistance (INRS ED**
3 **4219)**

4 Cette technique de soudage est surtout utilisée pour souder de fines épaisseurs (Iarc, 2018). Dans
5 le cas de tôles fines, elle permet même de souder trois à quatre épaisseurs en même temps (INRS
6 ED 4219). Elle est la plupart du temps automatisée ; l'opérateur ne doit assurer que la conduite du
7 matériel. Cette technique est fréquemment retrouvée dans l'industrie automobile (Iarc, 2018),
8 l'aérospatiale, l'industrie nucléaire ou la métallurgie (Hong et al., 2018 ; Cazes, 1993).

9 2.3.6.2 Soudage par pression ou à l'état solide :

- 10
- 11 ➤ soudage par friction (procédé 42 de la norme NF EN ISO 4063), friction-malaxage
12 (procédé 43 de la norme NF EN ISO 4063), friction par point : ce sont des procédés
13 de soudage qui utilisent la chaleur produite par la friction métal-métal. Ces procédés
14 sont automatisés et peu générateurs de fumées (source : <https://bil-ibs.be/fr/soudage-par-friction> ; Roland Cazes-Soudage par friction-malaxage
15 TECHNIQUES DE L'INGENIEUR - BM7746) ;
 - 16 ➤ soudage par ultrasons (procédé 41 de la norme NF EN ISO 4063) : procédé de
17 soudage utilisant une énergie vibratoire à haute fréquence, les matériaux ne
18 subissent pas de fusion ;
 - 19 ➤ soudage par induction (procédé 74 de la norme NF EN ISO 4063) ;
 - 20 ➤ soudage par explosion (procédé 441 de la norme NF EN ISO 4063) : l'assemblage
21 de deux pièces est réalisé à l'aide d'une explosion contrôlée : un explosif recouvre la
22 surface de la pièce à souder au métal support, l'énergie de l'explosion provoque un
23 assemblage intermétallique grâce à la déformation plastique sous forme de vague
24 (source : <https://www.rocdacier.com/soudage-par-explosion/>) ;
 - 25 ➤ soudage par diffusion (procédé 45 de la norme NF EN ISO 4063) : ce type de
26 soudure est réalisé dans une enceinte sous vide, les pièces à assembler sont mises
27 sous pression ; il en résulte une diffusion atomique et la continuité de la matière est
28 assurée (source : <https://www.soudeurs.com/site/qu-est-ce-que-le-soudage-par-diffusion-procede-45-373/>) ;
 - 29 ➤ soudage par pression à froid (procédé 48 de la norme NF EN ISO 4063).
 - 30
 - 31

2.3.6.3 Autres procédés

- soudage sous laitier (procédé 72 de la norme NF EN ISO 4063) : procédé de soudage dans lequel la chaleur est générée par un courant électrique entre l'électrode consommable et la pièce à souder à travers un laitier fondu recouvrant la surface de soudure (source : <https://www.soudeurs.com/site/qu-est-ce-que-le-soudage-vertical-sous-laitier-procede-72-348/>) ;
- soudage par aluminothermie (procédé 71 de la norme NF EN ISO 4063) : procédé de soudage utilisant la chaleur générée par la réaction exothermique entre un mélange d'oxyde métallique et de l'aluminium en poudre. Le métal fondu, produit par la réaction joue le rôle de matériau de remplissage reliant les pièces. Ce procédé est utilisé pour le soudage des rails de chemin de fer (source : <https://www.soudeurs.com/site/aluminothermie-qu-est-ce-que-le-soudage-aluminothermique-procede-71-349/>) ;
- soudage par radiation lumineuse (procédé 75 de la norme NF EN ISO 4063) ;
- soudage par infrarouge (procédé 753 de la norme NF EN ISO 4063) ;
- soudage par faisceau d'électrons (procédé 51 de la norme NF EN ISO 4063) ;
- soudage des goujons (procédé 78 de la norme NF EN ISO 4063) ;
- soudage électrique avec percussion (annexe A (procédé n°77) de la norme NF EN ISO 4063).

2.4 Techniques connexes

2.4.1 Les procédés de brasage (procédé 9 de la norme NF EN ISO 4063)

La technique du brasage consiste à assembler deux pièces métalliques avec un métal d'apport dont la température de fusion est inférieure à celle des pièces à assembler. Ainsi, le métal d'apport atteint sa température de fusion et migre par capillarité entre les deux pièces à assembler.

On distingue le brasage tendre (soudure à l'étain) du brasage fort dont le métal d'apport est à base de cuivre/phosphore ou cuivre/zinc/argent et du soudo-brasage dont le métal d'apport est le laiton.

L'intérêt du brasage est de permettre l'assemblage de deux métaux de nature différente (Iarc, 2018). Il est cependant à noter que le joint issu du brasage est moins solide que celui issu du soudage. Il est à distinguer le brasage tendre et le brasage fort selon que la température du métal d'apport est respectivement inférieure à 450°C ou supérieure à 450°C (INRS ED 6132 ; Iarc, 2018 ; Bienvenu, 2010 ; Noël, 1984).

Trois types de brasage sont à distinguer. Les informations renseignées dans le tableau ci-dessous n'ont pas vocation à être exhaustives :

Tableau 2 : Les trois types de brasage

Brasage			
Type de brasage	Brasage tendre	Brasage fort	Soudo-brasage fort
Métal d'apport	Alliages à base d'étain	Alliages à base de cuivre/phosphore ou	Laiton

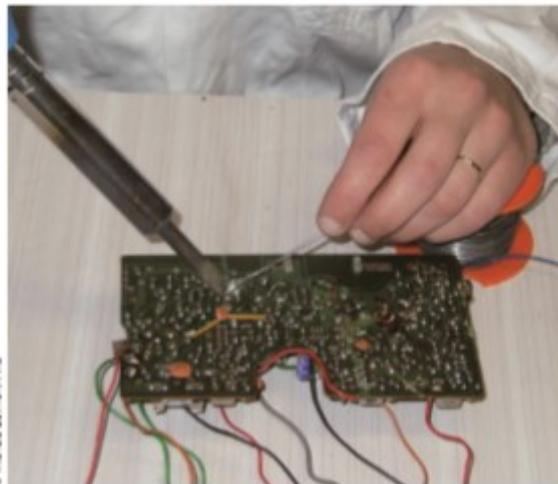
		cuivre/zinc/argent	
Matériaux à assembler	Presque tous	Tous sauf zinc, plomb, étain	Acier, inox, fonte, cuivre
T° à atteindre	200-450°C	450-850°C	850-920°C
Outils	Chalumeau, fer à souder	Chalumeau monogaz ou bi gaz	Chalumeau bi gaz

1

2 **2.4.1.1 Brasage tendre (température < 450°C)**

3 Cette technique, fréquemment observée en plomberie ou dans l'industrie électronique (cartes
4 imprimées), met en général en jeu un fer à braser, un flux et un fil ou une baguette de brasage
5 principalement à base d'étain. Le flux peut être indépendant de la baguette ou intégré à celle-ci. La
6 température opérationnelle du brasage tendre est voisine des points de fusion des métaux à
7 assembler et inférieure à 450°C. Ainsi les fumées de brasage tendre contiennent peu de métal.

8



9

10 **Figure 10 : Opération de brasage tendre sur des circuits imprimés (INRS ED 6132)**

11 Le flux de brasage est un additif indispensable pour, entre autres, éviter l'oxydation au cours de
12 l'opération. Sa composition dépend essentiellement de la nature des pièces à braser.

13 Les flux peuvent être de plusieurs types (INRS ED 122) :

- 14 ➤ à base de colophane avec ou sans amine aliphatique ;
- 15 ➤ à base d'alcools ou de solvants organiques ;
- 16 ➤ à base de composés inorganiques (chlorures, fluorures, borates...).

17 Les fumées de brasage tendre contiennent surtout des résidus de flux. En conséquence, leur
18 toxicité est liée à celle des flux (corrosifs ou allergisants, pour certains d'entre eux).

19

20 **2.4.1.2 Brasage fort (température > 450°C)**

21 Du fait de la température de fusion plus élevée, à l'exception de quelques métaux comme le
22 plomb, le zinc ou l'étain, l'assemblage des pièces métalliques offre une meilleure résistance
23 qu'avec le brasage tendre.

1 La température de brasage est à adapter en fonction du métal de base et de son point de fusion.

2 **Tableau 3 : Points de fusion selon le métal de base**

Métal de base (exemples)	Point de fusion
Cuivre	1100 °C
Laiton (cuivre + zinc)	940 °C
Bronze (cuivre + étain)	900 °C
Aluminium	660 °C
Argent	960 °C

3

4 Le poste à souder requiert divers équipements :

- 5 ➤ bouteilles de gaz : oxygène et acétylène, avec les équipements indispensables qui les complètent ;
- 6
- 7 ➤ chalumeau de soudage (à distinguer du chalumeau de découpe) et sa buse de réglage de
- 8 la température ;
- 9 ➤ chariot oxyacétylénique ;
- 10 ➤ baguette de brasage et son flux. Comme dans le cas du brasage tendre, le flux peut être
- 11 soit indépendant du métal d'apport (sous forme de pâte, de liquide ou de poudre), soit
- 12 enrobé sur la baguette du métal d'apport.

13

14 Le métal d'apport dépend des métaux à assembler. Essentiellement sous forme d'alliage, il peut

15 être à base de cuivre (éventuellement additionné de phosphore), de laiton, d'argent ou

16 d'aluminium ; dans le passé, il a pu contenir du cadmium (SYMOP; Vignardet 1993).

17

18 2.4.1.3 Soudo-brasage fort

19 La technique est similaire à celle du brasage fort, à la différence que l'assemblage des métaux ne

20 se fait pas par capillarité comme dans le brasage fort, mais par accroche pelliculaire.

21 Dans le cas du soudo-brasage, le métal à assembler est porté à une température légèrement

22 inférieure à sa température de fusion.

23 La tenue mécanique du soudo-brasage est excellente, en revanche le joint n'est pas étanche. La

24 pratique du soudo-brasage fort dépend donc du résultat souhaité (SYMOP).

25

26 2.4.2 Projection thermique

27 La projection thermique est un traitement de surface qui consiste à projeter un matériau d'apport

28 chauffé à haute température. Un gaz vecteur ou de l'air comprimé sert à transporter les fines

29 particules ; il permet aussi de chauffer les particules jusqu'à leur point de fusion.

30 Les particules s'écrasent sur le support pour former le revêtement désiré. Les liaisons entre le

31 métal support et le métal d'apport sont purement mécaniques.

- 1 En effet, cette technique est utilisée pour conférer au support initial des propriétés anti-corrosion,
- 2 anti-usure, isolation ou conductibilité électrique, thermique, rechargement de matière, etc.
- 3 Elle est utilisée dans des secteurs d'activités variés (revêtement des métaux, aéronautique,
- 4 ferroviaire, verre...) principalement chez des sous-traitants et des TPE-PME.
- 5 Des composés métalliques à effets cancérogènes tels que ceux à base de chrome, de nickel,
- 6 d'aluminium sont utilisés en projection thermique (Proner, 1999).

DOCUMENT POUR CONSULTATION

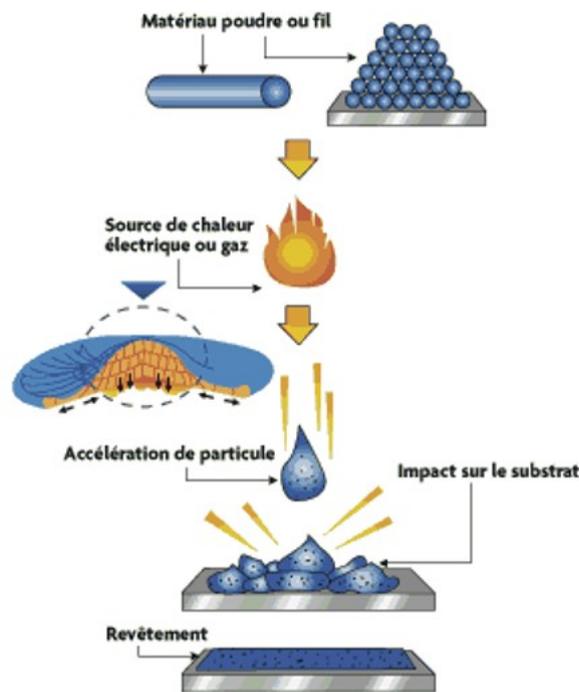
1

Tableau 4 : Principales caractéristiques des différents procédés de projection thermique (INRS NT18, INRS NS 326)

Projection						
Caractéristiques	Flamme-poudre	Flamme-fil	Arc électrique	Plasma	High Velocity Oxygen Fuel (HVOF)	Canon à détonation
Source de chaleur	Flamme oxyacétylénique	Flamme oxyacétylénique	Arc électrique	Plasma	Flamme oxyacétylénique	Flamme oxyacétylénique
Température de flamme (°C)	3000	3000	6000	12000	3000	3000
Transport des particules	Gaz flamme	Air comprimé	Air comprimé	Gaz flamme	Gaz flamme	Gaz flamme
Vitesse des particules (m/s)	40	150	250	200	700	950
Rendement moyen (%)	50	70	80	70	70	70
Produit d'apport	Poudre	Fil-cordon	Fil	Poudre	Poudre	Poudre
Exemples de matériaux d'apport	Métaux, céramiques, carbures dans une matrice métallique	Métaux, céramiques, carbures dans une matrice métallique	Métaux	Métaux, céramiques, carbures	Métaux, carbures	Carbures, céramiques
Secteurs d'activité et/ou techniques concernés	Résolution de problèmes d'abrasion, corrosion, usure, isolation thermique ou électrique.	Secteurs : aéronautique, automobile, papeterie, aciérie, sidérurgie, construction d'infrastructures Résolution de problèmes d'abrasion, corrosion, usure, isolation thermique ou électrique	Secteurs : automobile, aéronautique	Secteurs : automobile, aéronautique Résolution de problèmes d'usure, corrosion, barrière thermique, frottement ou oxydation	Secteurs : aéronautique, aciérie et papeterie Résolution de problèmes d'anticorrosion	Secteurs : textile, sidérurgie, aéronautique et chimie.

1

2 Le principe de la projection thermique est décrit dans le schéma ci-dessous :



3

4

Figure 11 : Principe de la projection thermique (INRS NS 326)

5 **2.4.3 Coupage (procédé 8 de la norme NF EN ISO 4063)**

6 Les techniques de coupage indiquées ci-dessous dérivent toutes de la technique du soudage, en
7 ceci qu'elles procèdent en une fusion locale du métal.

8 Dans le cas du coupage, chauffer localement le métal jusqu'au point de fusion permet de séparer
9 la pièce en deux ; le métal fondu est expulsé sous forme de gouttelettes ou microparticules par
10 l'action du gaz sous pression nécessaire à la découpe (INRS PR 42).

11 On distingue 3 procédés de découpe de métal :

- 12 ➤ laser ;
- 13 ➤ oxycoupage ;
- 14 ➤ plasma.

15

16

Tableau 5 : : Principales caractéristiques des différents procédés de coupage (INRS PR42)

	Machines de découpe par		
	Oxycoupage (ou coupage à la flamme)	Plasma	Laser
Gaz	Acétylène - oxygène	Air comprimé	-
	Chalumeau	Arc électrique	-
Type de pièces	Grandes dimensions épaisseur, largeur, longueur	Pièces de dimensions intermédiaires	Petites dimensions épaisseur, largeur,

			longueur
Métaux coupés :	Tous types de métal*	Tous types de métal*	Tous types de métal*
Aciers (inox, spéciaux, non ou faiblement alliés)	X	X	X

1 *Deux cas particuliers : l'aluminium est principalement découpé par laser, de temps en temps par plasma et
2 exceptionnellement par oxycoupage. Le titane est découpé uniquement par laser

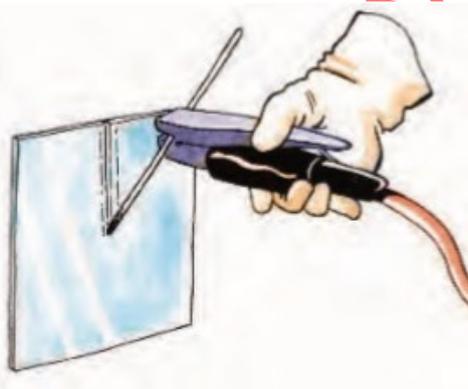
3

4 La fusion du métal et les réactions chimiques associées engendrent l'émission de particules et de
5 gaz. L'émission de ces polluants dépend de la technique de coupe utilisée, de la vitesse de coupe,
6 de la pression et de la composition du gaz de découpe. Les polluants particuliers émis dépendent
7 du matériau de base (INRS ED6132, ED668, PR42).

8 2.4.4 Gougeage (procédé 8 de la norme NF EN ISO 4063)

9 Le gougeage est une opération qui consiste à enlever de la matière sur une pièce métallique.

10 Il est utilisé pour creuser un sillon destiné à recevoir un cordon de soudure ou pour éliminer un
11 cordon de soudure, par exemple, pour réparer un cordon de soudure défectueux.



Exemple de gougeage :
Creusage manuel pour faire un sillon
de préparation pour la soudure

12
13 **Figure 12 : Exemple de gougeage (SYMOP)**

14

15 Le gougeage peut être réalisé par des procédés mécaniques (burinage ou meulage) mais le plus
16 souvent par un procédé thermique tels que le gougeage à l'arc-air, à l'arc plasma ou l'oxycoupage.

17 L'arc formé entre deux électrodes produit de la chaleur qui fait fondre localement le métal et le jet
18 de gaz souffle le matériau fondu.

19 Le gougeage arc-air se réalise avec une électrode spécifique, une torche de gougeage et un jet
20 d'air comprimé pour éjecter le métal en fusion. Cette technique est simple et rapide à mettre en
21 œuvre mais il s'agit d'une opération très polluante et très bruyante, réalisée généralement en
22 cabine insonorisée avec l'opérateur équipé d'une cagoule ventilée (INRS ED668).

23 Le gougeage à jet plasma se réalise dans les ateliers disposant déjà d'une installation de coupage
24 arc-plasma ; il requiert des accessoires spécifiques au gougeage tel qu'une tuyère de gougeage
25 adaptée au travail à effectuer. Cette technique est moins bruyante que le gougeage arc-air.

1 Le gougeage par oxycoupage est utilisé uniquement pour des pièces en acier au carbone. Il
 2 nécessite un chalumeau avec une tête de coupe spécifique au gougeage voulu de la pièce (sillon
 3 en V, en U, etc.). La vitesse d'avance détermine la profondeur du sillon.

4 **2.4.5 Rechargement**

5 Le rechargement est une opération consistant à apporter de la matière sur une pièce métallique
 6 par fusion. Cette opération peut être utilisée pour réaliser des réparations sur des pièces usées ou
 7 pour déposer un revêtement spécifique sur une pièce métallique de qualité moindre ; on parle
 8 alors de rechargement dur. Il peut être réalisé avec un métal de même nature que le support
 9 (rechargement homogène) ou de nature différente (rechargement hétérogène).

10 Les principales techniques utilisées pour le rechargement sont la projection thermique (voir 2.4.2),
 11 le soudage par explosion pour les grandes surfaces (voir 2.3.6.2) et le soudage à la flamme (voir
 12 2.3.1), à l'arc électrique (voir 2.3.2) ou laser (voir 2.3.3) pour le rechargement local.

13 Dans les techniques de rechargement, comme pour le soudage, le métal d'apport est déposé par
 14 un bain de fusion et il permet de réaliser des dépôts épais.

15 Par exemple, il permet de déposer un métal très dur à l'usure sur un acier ordinaire, de protéger
 16 un métal contre la corrosion, de réparer des dents d'engrenage, de rattraper des épaisseurs sur
 17 des aiguillages de voies ferrées, sur des arbres de rotation ou de recharger des outils de coupe.

18 La technique utilisée dépend de la forme de la pièce, des contraintes mécaniques, de la
 19 composition du métal support, des considérations technico-économiques (Rocdacier, 2017).

20 **Tableau 6 : Description des points forts en fonction des techniques utilisées pour le rechargement**

Procédé	Points forts
Chalumeau	Coût d'investissement très faible Adapté pour revêtir des pièces de forme complexe Préservation des carbures (dépôts composites avec carbure de tungstène (WC))
Electrode enrobée	Coût d'investissement très faible Idéal pour des travaux ponctuels sur site
MIG-MAG	Procédé très polyvalent
Sous flux en poudre	Taux de dépôt élevé
Soudage sous laitier/soudage électrogaz	Applications particulières (ex. rechargement « alvéolaire ») Taux de dépôt très élevé Taux de dilution faible
Plasma à arc transféré (PTA)	Taux de dilution faible Préservation des carbures (dépôts composites avec WC)
Laser (poudre ou fil)	Taux de dilution très faible (surtout en laser-poudre) Qualité des dépôts, microstructures très fines Préservation des carbures (dépôts composites avec WC)

21

1 Le rechargement dur est utilisé pour combattre notamment l'usure par abrasion à 3 corps mais
 2 aussi l'érosion et des mécanismes d'usure combinés, ce qui est souvent le cas avec des
 3 équipements industriels dans :

- 4 ➤ les cimenteries, l'industrie céramique ;
- 5 ➤ le secteur minier, les fonderies ;
- 6 ➤ les centrales thermiques, pour le secteur pétrolier ;
- 7 ➤ l'agro-alimentaire, le traitement des déchets ;
- 8 ➤ etc.

9 (Institut de soudure - Un tour d'horizon du rechargement dur)

10 2.5 Influence des différents paramètres sur l'émissivité

11 Du fait des hautes températures nécessaires pour l'assemblage avec l'atteinte du point de fusion
 12 du métal, des fumées et aérosols liés à la vaporisation des éléments en présence sont émis et
 13 peuvent être inhalés par les opérateurs et les personnels situés à proximité.

14 La nature des fumées (composition, concentration) peut varier selon la technique d'assemblage
 15 utilisée, la nature des pièces à assembler, les caractéristiques techniques de l'opération (ex :
 16 forme des pièces) et les paramètres de soudage mais également l'état des pièces à assembler
 17 (présence de résidus de peintures, de produits de décapage, etc.).

18 Parmi les paramètres influençant les émissions de fumées, on peut identifier :

- 19 ➤ l'intensité de soudage,
- 20 ➤ le régime d'arc,
- 21 ➤ la nature et le débit du gaz protecteur (taux de CO₂ et émission),
- 22 ➤ la nature du métal d'apport (diamètre du fil ou de l'électrode, rendement de l'électrode),
- 23 ➤ la composition et l'épaisseur de l'enrobage ou du flux (fils fourrés),
- 24 ➤ l'épaisseur et la position des pièces assemblées,
- 25 ➤ la nature et le revêtement des pièces soudées (revêtement contenant du zinc, plomb,
 26 cadmium, chrome, etc. ou des salissures comme des graisses, des peintures ou des traces
 27 de solvants),
- 28 ➤ la direction et le sens de déplacement de la torche (vitesse de déplacement),
- 29 ➤ la position du soudage (à plat, en angle, verticale, etc.),
- 30 ➤ la nature de l'opération de soudage (assemblage, rechargement, coupage...).

31

32 A noter que 95 % des constituants des fumées de soudage proviennent des produits d'apport, sauf
 33 en cas de soudage sur acier galvanisé où la couche de galva est volatilisée (ED6132 – ED 668 ;
 34 Descotes et al, 2009).

35 La fusion du métal et l'émission de particules métalliques sont aussi présentes dans les techniques
 36 connexes. L'émission de particules métalliques dépend des températures du procédé mis en
 37 œuvre et de fusion du métal d'apport pour le brasage, de la vitesse des gaz pour la projection
 38 thermique, de l'épaisseur du métal et de la présence de gaz pour le coupage. De plus, la présence
 39 de salissures, de revêtements sur le métal augmente les produits émis.

1

2 La suite du rapport d'expertise s'attache à décrire des données de composition des fumées de
3 soudage et à renseigner quelques données d'exposition. Le GT souligne que ces parties ont été
4 renseignées de façon globale car l'objectif ici n'est pas de détailler de façon exhaustive toutes les
5 données existantes pour chaque procédé. Plusieurs brochures et documents techniques existent
6 déjà. Néanmoins, il est important de noter que les données de composition, les expositions varient
7 selon le procédé mis en œuvre.

8

DOCUMENT POUR CONSULTATION

3 Données d'exposition

- 2 La saisine ne consiste pas à réaliser une évaluation des risques sanitaires ni à effectuer une étude
3 d'impact d'une éventuelle évolution réglementaire pour les professionnels potentiellement exposés.
4 La partie décrivant les expositions n'a donc pas vocation à être exhaustive.

3.1 Typologie des populations exposées

6 Selon l'enquête SUMER 2017⁷, 528 700 salariés, soit 2,1 % de l'ensemble des salariés français
7 sont exposés aux fumées de soudage d'éléments métalliques contre 597 600 (soit 2,8% de
8 l'ensemble des salariés) en 2010⁸. Les activités économiques ayant les plus grands nombres de
9 salariés exposés, en terme d'effectifs, sont : la construction, le commerce (réparation
10 d'automobiles et de motos), les autres industries manufacturières (réparation et installation de
11 machines et d'équipements), les activités de services administratifs et de soutien rendus aux
12 entreprises⁹ (fabrication de machines et équipements, d'équipements électriques, de produits
13 informatiques, électroniques et optiques, industries de l'habillement, du cuir et de la chaussure,
14 industrie pharmaceutique...), la métallurgie et la fabrication de produits métalliques, à l'exception
15 des machines et des équipements. En 2017, les familles professionnelles ayant les plus grands
16 nombres de travailleurs exposés aux fumées de soudage d'éléments métalliques étaient les
17 suivantes : ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal, ouvriers qualifiés de la réparation
18 automobile, ouvriers qualifiés du second oeuvre du bâtiment, techniciens et agents de maîtrise de
19 la maintenance, ouvriers qualifiés de la maintenance, ouvriers qualifiés du gros oeuvre du
20 bâtiment, ouvriers qualifiés travaillant par enlèvement de métal, ouvriers de la mécanique (qualifiés
21 ou non). Néanmoins, le nombre de professionnels exposés est probablement sous-estimé par
22 l'enquête SUMER. En effet, seules les activités et expositions des 15 jours précédant la réponse
23 au questionnaire de l'enquête sont recensées. De plus, il est à noter que certains professionnels
24 peuvent être amenés à réaliser du soudage sans que cela soit leur activité principale. Ces
25 professionnels peuvent donc être exposés aux fumées de soudage, sans être comptabilisés dans
26 les professionnels exposés (Iarc 2018 ; Matinet *et al*, 2020).

27 Au niveau international, les auteurs de la monographie du CIRC (Iarc, 2018) soulignent la difficulté
28 d'appréhender le nombre de soudeurs exposés aux fumées de soudage du fait de la variabilité des
29 méthodes d'échantillonnage et de codage, des critères d'inclusion et d'exclusion, de l'année de
30 collecte des données et de la langue des résultats. Conscient de ces limites, le groupe de travail
31 du CIRC a utilisé le système de données « Integrated Public Use Microdata Series, International
32 (IPUMS-International) » pour rassembler les données brutes de 60 pays ayant effectué un
33 recensement professionnel entre 1973 et 2015 (Minnesota Population Center, 2015). Sur la base
34 de données compilées¹⁰, le groupe de travail du CIRC a calculé que le pourcentage moyen de
35 désignations d'emplois incluant le soudeur, représenté dans la population active, était de 0,31 %.
36 En appliquant ces pourcentages à l'estimation de la population économiquement active mondiale

⁷https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/pdf/dares_expositions_risques_professionnels_produits_chimiques-2.pdf

⁸<https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/pdf/2013-054-2.pdf>

⁹ incluant en particulier les salariés intérimaires

¹⁰ La liste des 60 pays inclus dans cette estimation est disponible dans le tableau 1.4 de la monographie du CIRC (Iarc, 2018)

1 de 2010 de l'Organisation internationale du travail (3,5 milliards), le groupe de travail du CIRC a
2 estimé qu'il pourrait y avoir 11 millions de soudeurs dans le monde (OIT, 2010, citée par Iarc
3 2018). En tenant compte d'autres professions dans lesquelles les travailleurs effectuent
4 couramment ou par intermittence des travaux de soudage, de l'enquête de suivi sur la santé
5 respiratoire de la Communauté européenne (ECRHS) (ECRHS II, 2017, citée par Iarc 2018) de la
6 matrice emplois-expositions de la population générale canadienne (CANJEM) (CANJEM, 2017,
7 citée par Iarc 2018) et des biais possibles, le groupe de travail du CIRC a estimé que le nombre de
8 personnes exposées aux fumées de soudage pourrait être 10 fois plus élevé que le nombre de
9 personnes ayant le titre professionnel de soudeur, approchant ainsi les 110 millions de travailleurs
10 soit 3 % de la population économiquement active mondiale (Iarc 2018).

11 Une extraction de la base de données COLCHIC de l'INRS a été effectuée sur une période
12 comprise entre 2002 et 2018. Le travail a consisté dans un premier temps à lister les agents
13 chimiques mesurés dans le cadre de travaux de soudage puis dans un second temps à identifier
14 les postes de travail, en plus des activités de soudage, concernés par une exposition aux
15 composés retenus comme étant des composants des fumées de soudage. Aucune donnée
16 quantitative relative aux niveaux des expositions n'a été demandée dans cette extraction qui avait
17 pour objectif une description qualitative des agents chimiques et des postes de travail concernés
18 par une exposition similaire aux fumées de soudage. Les mesures enregistrées dans COLCHIC ne
19 permettent toutefois pas de conclure quant à la représentativité des mesures par rapport à
20 l'ensemble des situations d'exposition. Au total, 43 métiers ont été identifiés, parmi lesquels, les «
21 opérateurs / opératrices sur machine à découper au laser avec commande numérique » (n = 55),
22 « chauffagistes » (n=27) et « guillotineurs/guillotineuses » (n = 26) étaient les plus fréquents. De
23 plus, il a été démontré, par Kirichenko et al., une dispersion atmosphérique des particules dont le
24 diamètre est inférieur à 10 µm (PM10) jusqu'à des distances pouvant aller jusqu'à cinq mètres de
25 la source d'émission. Cela met en évidence une exposition potentielle de personnels n'effectuant
26 pas de soudage mais présents à proximité d'opérations de soudage. Ainsi, de nombreux autres
27 professionnels peuvent être exposés aux fumées de soudage via ces expositions indirectes
28 (Kirichenko et al., 2018).

29

30 **3.2 Nature des expositions**

31 **3.2.1 Données de composition des fumées de soudage**

32 Les procédés de soudage et de brasage, exercés à haute température, émettent des fumées,
33 constituées d'une phase gazeuse et d'une phase particulaire (INRS ED6132). Les gaz peuvent
34 être de diverses natures : gaz protecteur, gaz émis par le procédé lui-même ou gaz issus de la
35 dégradation thermique ou photochimique de revêtements ou de solvants éventuellement présents
36 sur les pièces à assembler. Les fumées se composent également de particules (de métaux,
37 d'oxydes métalliques, de composants du flux, de produits de dégradation des revêtements, etc.)
38 qui peuvent être inhalées par les opérateurs. 95% des constituants des fumées de soudage
39 proviennent des produits d'apport et moins de 5% sont issus du matériau de base (INRS ED
40 6132 ; Paillard, 2014). La taille des particules dépend du type de procédé utilisé. Par exemple,
41 Ricelli et al. indiquent la génération de particules d'une taille d'environ 0,15 µm pour le soudage à
42 l'arc à l'électrode enrobée, 0,1 µm pour le procédé MAG, entre 0,1 et 0,15 µm pour les procédés
43 MIG et inférieur à 0,05 µm pour le procédé TIG. Les petites particules sont, pour la plupart, des
44 oxydes métalliques comparativement aux particules plus grosses qui contiennent des éléments
45 volatils (Ricelli et al. 2020).

46 Le GT a considéré comme composants des fumées de soudage, toutes les substances chimiques
47 présentes dans les phases particulaire et gazeuse mais uniquement celles émises lors de la mise
48 en œuvre de l'opération de soudage (fumées métalliques, produits de dégradation thermique,
49 adjuvants...). Les procédés de soudage et de brasage émettent des particules ultrafines (< 0,1

1 µm). Cette problématique spécifique n'est pas prise en compte en tant que telle dans ce rapport
 2 car il traite de la cancérigénicité des fumées de soudage dans leur globalité et non de leurs
 3 composants pris individuellement.

4 D'autres agents chimiques (fibres d'amiante, solvants de dégraissage...) peuvent être présents
 5 dans l'environnement de travail mais n'ont pas été considérés par le GT comme composants des
 6 fumées de soudage. **Le GT rappelle que certains de ces composés présents dans**
 7 **l'environnement de travail des soudeurs peuvent être cancérigènes. Les données**
 8 **épidémiologiques disponibles concernent généralement les activités de soudage et**
 9 **prennent en compte l'ensemble des nuisances professionnelles relatives à ces activités, en**
 10 **ajustant inconstamment sur les expositions spécifiques à certaines de ces nuisances dont**
 11 **le pouvoir cancérigène intrinsèque est avéré (par exemple, l'amiante).**

12 3.2.1.1 Composition des fumées de soudage

13
 14 La composition des fumées ainsi que la quantité de fumées émises diffèrent d'un procédé à un
 15 autre. En effet, de nombreux facteurs peuvent influencer sur la composition des fumées : le procédé,
 16 l'électrode (diamètre, fil, rendement), les paramètres de soudage (intensité, tension, etc.), la
 17 composition du métal de base, le débit et la composition du gaz protecteur, etc. (INRS ED 6132).

18
 19 La phase particulaire des fumées de soudage se compose principalement de métaux et d'oxydes
 20 métalliques ainsi que de silicates et de fluorures issus des flux (Iarc 2018). Elles peuvent aussi
 21 contenir de la silice, des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) (produits de dégradation
 22 des matières organiques déposées sur les surfaces traitées); dans le passé, elles ont pu
 23 également contenir de l'amiante (utilisée comme isolant thermique par les soudeurs).

24 Plusieurs de ces composants sont classés comme cancérigènes par le règlement CLP en
 25 catégories 1A (réunissant les substances dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est
 26 avéré) ou 1B (réunissant les substances dont le potentiel cancérigène pour l'être humain est
 27 supposé) ou par le CIRC en catégories 1 (cancérigène pour l'Homme) ou 2A (probablement
 28 cancérigène pour l'Homme). C'est en particulier le cas de certaines formes ou composés
 29 d'arsenic, du béryllium, du cadmium, du chrome (VI), du cobalt, du plomb, du nickel. Il est à noter
 30 que le pentaoxyde de vanadium a été classé par le Comité d'évaluation des risques (CER ou Risk
 31 Assessment Committee (RAC)) de l'ECHA (European Chemicals Agency) en tant que
 32 cancérigène de catégorie 1B selon le CLP en septembre 2020¹¹. De plus, les travaux exposant à
 33 la silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail sont classés comme procédés
 34 cancérigènes selon l'annexe I de la Directive 2017/2398, transposée en droit français par l'arrêté
 35 du 26 octobre 2020. D'autres composés peuvent également se retrouver dans cette phase
 36 particulaire : du dioxyde de titane, des métaux comme l'aluminium, l'antimoine, le baryum, le
 37 cuivre, l'étain, le magnésium, le manganèse, le molybdène, le zinc et leurs oxydes, des fluorures.
 38 Le tableau ci-dessous présente les principaux composés cancérigènes identifiés dans les fumées
 39 de soudage (Iarc 2018, INRS ED 6132).

40 **Tableau 7 : Principaux composés cancérigènes identifiés dans les fumées de soudage**

Composés	Classification CIRC	Classification selon le règlement CLP
Arsenic et ses oxydes	Groupe 1	<u>Trioxyde de diarsenic et pentaoxyde d'arsenic</u> : cancérigènes de catégorie 1A
Béryllium et ses oxydes	Groupe 1	Cancérigène de catégorie 1B

¹¹ C'est sur la base des avis du RAC que la Commission européenne décide de l'inclusion ou non du classement des substances à l'Annexe VI du règlement CLP.

Cadmium et ses oxydes	Groupe 1	<u>Cadmium non pyrophorique et ses oxydes</u> : Cancérogène de catégorie 1B
Composés du chrome VI	Groupe 1	<u>Trioxyde de chrome</u> : cancérogènes de catégorie 1A <u>Composés du chrome VI</u> : cancérogènes de catégorie 1B
Formaldéhyde	Groupe 1	Cancérogène de catégorie 1B
Nickel et oxydes de nickel	<u>Nickel</u> : groupe 2B <u>Oxydes de nickel</u> : Groupe 1	<u>Nickel</u> : cancérogène de catégorie 2 <u>Oxydes de nickel</u> : cancérogènes de catégorie 1A
Oxydes de fer	Groupe 1	Pas de classification sur la cancérogénicité à la date de l'expertise
Poussière de silice ou silice cristalline dont quartz et cristobalite	Groupe 1	Pas de classification harmonisée sur la cancérogénicité ; Les travaux exposant à travaux exposant à la poussière de silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail sont des procédés classés cancérogènes selon la directive (UE) 2017/2398
Composés inorganiques du plomb	Groupe 2A	Certains composés du plomb sont classés cancérogènes. Par exemple : hydrogéoarsénate de plomb : C1A ; jaune de sulfochromate de plomb : C1B ; rouge de chromate, de molybdate et de sulfate de plomb : C1B ; chromate de plomb C1B
Pentoxyde de vanadium	Groupe 2B	Classé par le RAC de l'ECHA en tant que cancérogène de catégorie 1B selon le CLP en septembre 2020

1

2

3 La phase gazeuse peut être composée de différents gaz tels que les oxydes d'azote (générés par
4 l'oxydation de l'azote de l'air), le monoxyde et le dioxyde de carbone (formés lors d'une
5 combustion), l'ozone (résultant de la photolyse de l'oxygène de l'air sous l'action de rayonnements
6 UV), le fluorure d'hydrogène produit par la dégradation des fluorures du flux (Iarc 2018, INRS ED
7 6132, extraction COLCHIC). L'emploi de dégraissants sur le support avant soudage peut entraîner
8 la production de produits de dégradation thermique de ces agents : en particulier, de chlorure
9 d'hydrogène et de phosgène, s'il s'agit d'hydrocarbures chlorés. La dégradation thermique de
10 peintures ou de vernis présents sur les supports traités peut, de même, libérer, divers agents
11 toxiques : en particulier des isocyanates, des nitriles et du cyanure d'hydrogène s'il s'agit de
12 polyuréthanes, de formaldéhyde s'il s'agit de résines phénoplastes ou aminoplastes...

13

14 Les données issues des différentes sources bibliographiques utilisées précédemment pour identifier
15 les composants des fumées de soudage sont confortées par les données obtenues par l'extraction
16 de la base de données COLCHIC de l'INRS sur une période allant de 2002 à 2018. En effet, au

1 total, 204 agents chimiques ont été mesurés dont les plus fréquents étaient le manganèse, le fer et
2 les poussières inhalables (environ 8 000 résultats chacun) suivis par le cuivre, le nickel, le zinc et
3 le chrome (VI) et ses composés. 985 « cocktails » d'agents chimiques ont été identifiés via les
4 données de l'INRS. Cependant, parmi tous les agents chimiques mesurés, il semble que certains
5 ne soient pas en lien avec l'émission de fumées de soudage mais davantage avec une pollution de
6 l'environnement de travail. Ainsi le GT a, sur la base du jugement d'experts, restreint cette liste de
7 204 à environ 44 agents chimiques regroupés par famille et jugés d'intérêt pour l'expertise. La liste
8 de ces agents est disponible en annexe 2.

9

10 3.2.1.2 Composition des fumées émises par les techniques connexes

11 3.2.1.2.1 *Brasage*

12 La quantité et la composition chimique des fumées de brasage dépendent des métaux et alliages
13 d'apport, des flux et des paramètres du procédé (température de brasage, durée de brasage et
14 durée du palier de brasage) (INRS ED 6132).

15 Concernant le brasage tendre, les fumées dégagées sont très pauvres en composés particuliers
16 métalliques compte-tenu des faibles températures atteintes, se situant entre 180°C et 250°C. Les
17 composés métalliques se volatilisent au-delà de ces températures expliquant ainsi la faible
18 quantité de composés particuliers dans les fumées de brasage tendre. Les fumées sont
19 constituées de produits de dégradation des flux (essentiellement des produits de dégradation
20 thermique de la colophane et des amines aliphatiques). En fonction du flux, des produits gazeux
21 tels que des fluorures et des chlorures peuvent également être présents dans ces fumées. Dans le
22 cas où de fortes températures seraient atteintes (supérieures à 250°C mais inférieures à 450°C),
23 des émissions minimales des métaux constitutifs de la brasure (plomb, cadmium, argent, étain...)
24 peuvent se produire (INRS ED 6132).

25 Concernant le brasage fort, les températures mises en œuvre sont supérieures à 450°C. Les
26 produits d'apport sont composés d'alliages cuivre-zinc pouvant inclure du nickel, de l'étain, de
27 l'argent ou du cadmium¹² et les flux sont composés de mélanges d'acides boriques, de fluorures,
28 d'oxyfluorures et de borax. Ainsi, les polluants particuliers susceptibles de se retrouver dans les
29 fumées sont les oxydes de cadmium, de cuivre, de zinc, d'argent, de bore, de nickel, d'antimoine
30 ou d'étain selon le type de métal d'apport ainsi que des fluorures, des chlorures et des silicates
31 selon le flux utilisé (INRS ED 6132).

32 3.2.1.2.2 *Coupage, Gougeage*

33 Les procédés de type coupage et gougeage génèrent également des fumées métalliques
34 composées d'une phase gazeuse et d'une phase particulière. Aucune information précise n'a été
35 retrouvée sur le gougeage dans la littérature. Du fait de la similitude des matrices impliquées et
36 des températures de mise en œuvre, il est raisonnablement prévisible que la composition des
37 fumées soit voisine de celles des fumées de soudage.

38 Les particules générées lors du coupage ont un diamètre généralement supérieur au diamètre de
39 celles générées pendant les travaux de soudage (INRS ED 6132).

¹² Le règlement (UE) n°494/2011 de la Commission du 20 mai 2011 indique l'entrée suivante : « les métaux d'apport pour le brasage fort ne peuvent être placés sur le marché si leur concentration en cadmium (exprimée en cadmium métal) est supérieure ou égale à 0,01% en poids. Par dérogation ce paragraphe n'est pas applicable aux métaux d'apport pour le brasage fort utilisés dans le secteur de la défense et les applications aérospatiales.

1 **Tableau 8 : Informations sur la composition des fumées selon le type de machine de coupage (INRS**
 2 **ED6132)**

Coupage			
Machine de découpe	Oxycoupage (ou coupage à la flamme)	Plasma	Laser
Composition des fumées	Oxydes de fer, oxydes d'azote	<p><u>Coupage acier non allié ou faiblement allié</u> : Oxydes de fer</p> <p><u>Coupage acier chrome-nickel</u> : Oxydes de nickel, composés du chrome (VI)</p> <p><u>Coupage de nickel et d'alliages à base de nickel</u> : oxydes de nickel</p> <p><u>Coupage de matériaux à base d'aluminium ou de matériaux réfléchissant</u> : ozone, oxydes d'aluminium</p> <p><i>Dans le cas où l'air comprimé ou l'azote est utilisé comme gaz plasmagène : émission de dioxyde d'azote</i></p>	<p><u>Coupage acier non allié ou faiblement allié</u> : Oxydes de fer</p> <p><u>Coupage acier chrome-nickel</u> : Oxydes de nickel, composés du chrome (VI)</p> <p><u>Coupage de nickel et d'alliages à base de nickel</u> : oxydes de nickel</p> <p><u>Coupage de matériaux à base d'aluminium ou de matériaux réfléchissant</u> : ozone, oxydes d'aluminium</p>

3

4 **3.2.1.2.3 La projection thermique**

5 La projection thermique génère également des fumées métalliques composées d'une phase
 6 gazeuse et d'une phase particulaire.

7 La projection thermique plasma semble être la technique la plus émettrice en raison d'une vitesse
 8 de projection plus élevée, suivie de la projection thermique à l'arc électrique et enfin la projection
 9 thermique à la flamme (INRS ED 6132).

10 Les polluants émis sont uniquement fonction du matériau à déposer. Le métal de base n'influe ni
 11 sur les quantités ni sur la composition des polluants générés (INRS ED 6132).

12 La figure ci-dessous décrit les principaux constituants des fumées en fonction du type de procédé
 13 de projection thermique. Il est toutefois à noter que cette liste n'est pas exhaustive et que d'autres
 14 métaux peuvent être concernés (molybdène, vanadium...).

Procédé	Matériau à déposer	Constituant(s) principal(aux) des fumées
Projection thermique à la flamme (métallisation)	Acier non ou faiblement allié (éléments d'alliage < 5 %)	Oxydes de fer Dioxyde d'azote
	Acier chrome-nickel (≤ 27 % Cr et ≤ 22 % Ni)	Oxyde de nickel Dioxyde d'azote
	Nickel et alliages de nickel (> 60 % Ni)	Oxyde de nickel Dioxyde d'azote
	Aluminium et alliages d'aluminium	Oxyde d'aluminium Dioxyde d'azote
	Alliages de plomb	Oxyde de plomb Dioxyde d'azote
	Cuivre et alliages de cuivre	Oxyde de cuivre Dioxyde d'azote
Projection thermique à l'arc électrique	Acier non ou faiblement allié (éléments d'alliage < 5 %)	Oxydes de fer
	Acier chrome-nickel (≤ 27 % Cr et ≤ 22 % Ni)	Oxyde de nickel
	Nickel et alliages de nickel (> 60 % Ni)	Oxyde de nickel
	Aluminium et alliages d'aluminium	Oxyde d'aluminium
	Cuivre et alliages de cuivre	Oxyde de cuivre
Projection thermique plasma	Alliages cuivre-aluminium et cuivre-étain	Oxyde de cuivre
	Acier chrome-nickel (≤ 27 % Cr et ≤ 22 % Ni)	Oxyde de nickel Ozone
	Nickel alliages de nickel (> 60 % Ni)	Oxyde de nickel
	Alliages à base de cobalt (> 50 % Co)	Oxyde de cobalt

Figure 13 : Les principaux polluants émis lors des différents procédés de projection thermique en fonction des matériaux à déposer (INRS ED 6132)

3.2.2 Evaluations des expositions

Ce paragraphe n'a pas pour objet de réaliser une évaluation des expositions des professionnels aux fumées de soudage mais de mettre en évidence les paramètres identifiés pouvant influencer les expositions aux fumées de soudage.

Il est à noter que l'exposition des travailleurs varie selon l'environnement de travail (espace confiné ou non, ventilation générale des locaux de travail), les moyens de protection mis en œuvre, en premier lieu via le captage à la source puis via les équipements de protection individuelle, mais également selon les procédés utilisés (INRS ED6132; INRS ED668).

L'exposition aux fumées de soudage se produit principalement par inhalation. Les fumées de soudage dans l'air sont généralement mesurées par échantillonnage de la fraction alvéolaire¹³ qui est, dans l'étude de Lehnert *et al.* fortement corrélée à l'échantillonnage de la fraction inhalable (Lehnert *et al.*, 2012). Les métaux présents dans les fumées de soudage, tels que le fer, le chrome, le cuivre, le nickel, le manganèse, l'aluminium, le titane, le molybdène et le zinc, sont

¹³ La norme NF EN 481 définit plusieurs fractions granulométriques des particules en suspension dans l'air en lien avec leur pénétration dans l'arbre respiratoire, ainsi que les conventions d'échantillonnage de ces fractions. Les trois principales fractions conventionnelles sont les fractions inhalable, thoracique et alvéolaire. Pour plus de détails, voir en Annexe 3.

1 souvent analysés individuellement. En plus des fumées métalliques, les gaz (tels que O₃, CO et
2 NOx) provenant des activités de soudage sont mesurés (Iarc, 2018).

3 La mise en évidence d'une exposition à des éléments métalliques spécifiques présents dans les
4 fumées de soudage peut également être déterminée *via* la mise en œuvre d'une biosurveillance
5 avec la réalisation de prélèvements urinaires et sanguins. La biosurveillance s'est principalement
6 concentrée sur le chrome et le nickel, mais d'autres métaux, notamment l'aluminium, le cadmium
7 et le manganèse, ont également été fréquemment mesurés (Iarc, 2018).

8 Parmi les différents procédés de soudage existants, le procédé MIG-MAG semble être en 2021
9 celui le plus utilisé en France, suivi de près par le procédé TIG et le procédé avec électrode
10 enrobée. Les procédés sous flux en poudre (plutôt en chaudronnerie) et le soudage par résistance
11 par points semblent être également régulièrement mis en œuvre en France mais de façon moins
12 importante que les procédés pré-cités. Le procédé TIG semble par ailleurs le procédé le moins
13 émissif ; en effet, le volume total de poussières est de 100 à 500 fois moindres que celui des
14 autres procédés. Des évolutions de certains procédés semblent émerger pour limiter l'émission de
15 fumées, comme ceux à l'électrode enrobée qui disposent de quelques produits à basse émission
16 de fumées, ou encore pour le procédé MIG-MAG, l'existence de mélanges gazeux moins émissifs
17 ou le développement de fils moins émissifs pour la technique du fil fourré (Source : communication
18 M. Scandella Institut de soudure ; Scandella et al 2020).

19 3.2.2.1 Données du CIRC

20 Le recensement des études épidémiologiques produites entre le 20^{ème} et le 21^{ème} siècle chez les
21 soudeurs a permis au groupe de travail du CIRC d'estimer l'occurrence des expositions aux
22 fumées de soudage.

23 Les déterminants de l'exposition doivent être enregistrés parallèlement à la mesure des
24 concentrations atmosphériques des composants des fumées de soudage, y compris les détails
25 relatifs aux techniques de soudage utilisées, au métal de base, à la durée des tâches de soudage
26 et aux activités connexes (préparation, nettoyage, pauses, etc.), la position du soudeur, la
27 présence d'une ventilation locale par aspiration ou d'une ventilation générale, ou encore l'utilisation
28 ou non d'un casque avec alimentation en air pur. Le niveau d'expérience des soudeurs peut
29 également influencer la génération de particules (Chang et al., 2013 ; Graczyk et al., 2016 citées
30 par Iarc, 2018).

31 Les mesures de l'exposition individuelle sont généralement effectuées au niveau des voies
32 respiratoires, afin de représenter au mieux l'exposition individuelle du travailleur. Le prélèvement
33 individuel doit donc être effectué derrière l'écran facial du soudeur et aussi près que possible de la
34 bouche (à moins de 10 cm) avec un équipement qui permet à l'échantillonneur de rester en
35 position pendant toute la période de prélèvement (ISO 10 882-2:2000 ; ISO 10 882-1:2011). La
36 concentration de particules à l'intérieur du panache est 10 à 100 fois plus élevée qu'à l'extérieur du
37 panache (Lidén & Surakka, 2009 citée par Iarc, 2018).

38 Pour les gaz, les échantillonneurs doivent également être placés dans la zone de respiration à une
39 distance maximale de 5 cm de la bouche (ISO 10 882-2:2000).

40 Expositions aux fumées de soudage

41 Les expositions professionnelles prises en compte par le groupe de travail du CIRC représentent
42 celles les plus couramment rencontrées (mélanges complexes d'une phase particulaire et d'une
43 phase gazeuse) chez les soudeurs ainsi que le type de soudage pour lequel ces expositions sont
44 les plus susceptibles de se produire. Bon nombre d'entre-elles ont déjà été évaluées dans les
45 monographies du CIRC.

46 Le groupe de travail du CIRC rapporte les expositions professionnelles aux fumées de soudage
47 générées par divers procédés de soudage sur acier inoxydable et sur acier doux. Les
48 concentrations en fumées de soudage sur l'acier inoxydable varient de moins de 1 mg/m³ à plus

1 de 25 mg/m³. Les concentrations moyennes les plus faibles sont générées par le soudage TIG
2 (deux études citées par la monographie du CIRC de 2018 (Knudsen *et al* 1992 ; Wallace *et al.*
3 2001)) avec des moyennes respectivement à 0,16 et 0,98 mg/m³ et les plus élevées par le
4 soudage manuel avec électrode enrobée (moyennes comprises entre 3,0-5,4 mg/m³). Les
5 concentrations en fumées de soudage sur l'acier doux varient de moins de 1 mg/m³ à plus de 50
6 mg/m³. La concentration moyenne la plus faible est rapportée pour des expositions relatives au
7 soudage MAG dans une étude sur des soudeurs en fabrication (moyenne à 0,51 mg/m³). Les
8 concentrations moyennes les plus élevées sont rapportées pour des expositions relatives au
9 soudage manuel avec électrode enrobée (moyennes comprises entre 0,63-11,9 mg/m³) et au
10 soudage à l'arc avec fil fourré (une étude : moyenne à 8,97 mg/m³ ; intervalle entre la
11 concentration la plus faible et la concentration la plus élevée, 1,17-55,4 mg/m³).

12 Une étude sur les apprentis soudeurs fait état de très faibles expositions lors d'opérations de
13 soudage au gaz oxyacétylénique, avec une moyenne arithmétique de 0,0052 mg/m³ (Baker *et al.*,
14 2016, citée par IARC, 2018) comparables aux expositions relatives au soudage TIG sur acier
15 inoxydable comme sur acier doux (moyenne arithmétique, 0,0055 mg/m³). Ces expositions sont
16 près de 7 fois inférieures au soudage manuel avec électrode enrobée sur acier doux (moyenne
17 arithmétique à 0,035 mg/m³) et 5,5 fois inférieures au soudage MAG sur acier doux (moyenne
18 arithmétique à 0,029 mg/m³) (Baker *et al.*, 2016, citée par IARC, 2018)¹⁴.

19 Comme pour toutes les particules, la toxicité des fumées de soudage ne dépend pas seulement de
20 la nature du matériau à souder et de la concentration en particules, mais aussi de la distribution de
21 la taille des particules et de leurs caractéristiques de surface ; celles-ci diffèrent selon le procédé
22 de soudage et le métal de base. Le groupe de travail du CIRC a rapporté les résultats de deux
23 études menées en laboratoire par Hewett (Hewett *et al.*, 1995a, Hewett *et al.*, 1995b citées par IARC,
24 2018). Ce dernier a estimé, compte tenu des différences de surface spécifique des particules entre
25 le soudage MAG et le soudage manuel avec électrode enrobée et du dépôt plus important lors du
26 soudage MAG, que celui-ci délivrait au système respiratoire le triple en superficie de particules par
27 rapport à celle du soudage manuel avec électrode enrobée.

28 Les études retenues par le groupe de travail du CIRC (Kromhout *et al.* 2004, Liu *et al.* 2011 citées
29 par IARC, 2018) montrent que la concentration en fumées de soudage à laquelle un soudeur est
30 exposé dépend de plusieurs facteurs, dont le procédé de soudage, le métal soudé, la présence de
31 revêtements, le temps d'arc, ainsi que les caractéristiques du lieu de travail et du personnel.
32 D'autres facteurs viennent compléter les sources de variabilité des expositions comme le pays
33 (niveaux d'exposition plus élevés en Finlande et aux États-Unis, et plus faibles au Canada, au
34 Royaume-Uni et en Nouvelle-Zélande), l'industrie (niveaux les plus élevés dans l'industrie
35 manufacturière et plus faibles dans l'industrie automobile), les métiers (expositions les plus
36 élevées chez les chaudronniers et les plus faibles chez les tuyauteurs et les soudeurs), le type de
37 ventilation (expositions les plus faibles avec la ventilation mécanique et la ventilation par aspiration
38 locale) et le type de procédé de soudage (expositions les plus élevées dans le soudage manuel
39 avec électrode enrobée, suivi du soudage MIG-MAG, TIG et soudage électrique par résistance
40 (ER)).

41 Creely *et al.* (Creely *et al.*, 2007 citée par IARC, 2018) ont analysé la base de données des fumées
42 de soudage décrite par Kromhout (Kromhout *et al.*, 2004 citée par IARC, 2018). L'analyse de 1258
43 mesures recueillies au cours de 10 enquêtes sur les fumées de soudage réalisées entre 1983 et
44 2003 aux Pays-Bas a révélé une diminution de 4 % de l'exposition par année pour cette période
45 (Kromhout *et al.*, 2004). Il a été noté que les expositions aux fumées de soudage avaient tendance

¹⁴ Le groupe de travail du CIRC a noté que les expositions dans cette école d'apprentis soudeurs sont plus faibles que celles mesurées dans l'industrie générale. Toutefois, comme il s'agissait de la seule évaluation de l'exposition qui pouvait être trouvée représentant uniquement le soudage oxyacétylénique, le groupe de travail a inclus cette étude

1 à diminuer plus faiblement que les autres expositions chimiques, probablement en raison de la
2 nature de la tâche liée au processus qui est restée inchangée pendant cette période.

3 Le procédé de soudage et le degré d'enclassement expliqueraient 76 % de la variabilité des
4 expositions moyennes aux particules des fumées de soudage (Hobson et al., 2011 citée par IARC,
5 2018). Les principaux déterminants de l'exposition aux fumées de soudage spécifiques à la taille
6 des particules constatés par Lehnert (Lehnert et al., 2012 citée par IARC, 2018), Hobson (Hobson et
7 al., 2011 citée par IARC, 2018), Liu (Liu et al., 2011 citée par IARC, 2018) et Kromhout (Kromhout et
8 al., 2004, citée par IARC, 2018), sont : le procédé de soudage, l'utilisation d'une ventilation et le
9 degré d'enclassement.

10 Lehnert et al. (Lehnert et al., 2012 citée par IARC, 2018) ont constaté que le soudage à l'arc avec fil
11 fourré générait la plus forte concentration de fumées de soudage, suivi du soudage MAG et du
12 soudage manuel avec électrode enrobée.

13 Bien que le soudage TIG ait généré la plus faible concentration de fumées de soudage, ce
14 procédé de soudage présentait le plus grand nombre de petites particules, notamment des
15 particules ultrafines (PUF) dont le diamètre est inférieur à 0,1 µm. Chez les soudeurs TIG, Graczyk
16 et al. (Graczyk et al., 2016 citée par IARC, 2018) ont constaté que 92 % du nombre de particules
17 étaient de type PUF.

18 L'utilisation des trois modèles d'exposition élaborés à partir de mesures des fumées de soudage
19 inhalables, totales et alvéolaires (Kromhout et al., 2004, Liu et al., 2011 et Lehnert et al., 2012
20 citées par IARC, 2018) par Suarathana et al. (Suarathana et al., 2014 citée par IARC, 2018) pour
21 estimer l'exposition aux PUF chez les apprentis soudeurs canadiens a montré qu'ils ont une
22 meilleure corrélation entre eux que n'importe lequel des trois modèles avec les concentrations
23 mesurées de PUF¹⁵.

24
25 Des études répertoriées par le groupe de travail du CIRC montrent que les gaz tels que le
26 monoxyde de carbone, les oxydes d'azote ou l'ozone sont également générés pendant les
27 procédés de soudage sur acier (Dryson & Rogers, 1991 ; Azari et al., 2011 ; Golbabaei et al., 2012
28 citées par IARC, 2018). Une seule étude (Dryson & Rogers, 1991, citée par IARC, 2018) quantifiant
29 les expositions aux gaz liées au soudage des aciers inoxydables a été identifiée. Chez les
30 soudeurs utilisant le procédé TIG, les expositions mesurées au dioxyde d'azote et à l'oxyde
31 d'azote étaient respectivement comprises dans un intervalle allant de moins de 0,3 à 21,2 ppm et
32 de moins de 0,04 à 13,8 ppm (Dryson & Rogers, 1991, citée par IARC, 2018).

33

34 Expositions au chrome et au nickel

35

36 La monographie du CIRC présente les données d'exposition atmosphériques au chrome
37 total suivantes dans le cadre du soudage sur acier inoxydable :

38 > les intervalles de concentration moyenne pour le soudage manuel avec électrode enrobée
39 et le soudage MAG étaient respectivement de 4 à 230 µg/m³ (Angerer et Lehnert, 1990 ;
40 Karlisen et al., 1994 ; Edmé et al., 1997 citées par IARC, 2018) et de 10 à 185 µg/m³
41 (Angerer et Lehnert, 1990 ; Knudsen et al., 1992 ; Edmé et al., 1997 citées par IARC, 2018) ;

¹⁵ Le groupe de travail du CIRC a noté que cela montre peut-être que la taille des particules et la nature du travail (apprenti soudeur ou soudeur qualifié) sont d'autres facteurs pertinents à prendre en considération lors de la caractérisation des expositions aux fumées de soudage.

- les concentrations moyennes de deux études sur le soudage à l'arc avec fil fourré étaient de 200 µg/m³ et 9 µg/m³ (Stridsklev et al., 2004 ; Ellingsen et al., 2006 citées par Iarc, 2018) ;
- les intervalles de concentration moyenne pour le soudage TIG étaient de 14,8 à 52 µg/m³ (Bonde, 1990 ; Knudsen et al., 1992 ; Edmé et al., 1997 citées par Iarc, 2018).

Les expositions au chrome (VI) avaient tendance à être les plus élevées pour les soudeurs utilisant le soudage manuel avec électrode enrobée (intervalle des moyennes : 50-140 µg/m³) (Matczak & Chmielnicka, 1993 ; Karlsen et al., 1994 ; Edmé et al., 1997 citées par Iarc, 2018).

En ne considérant à nouveau que les soudeurs sur acier inoxydable, les expositions au nickel étaient les plus faibles dans deux études sur le soudage TIG (moyennes à 15,2 et 1,57 µg/m³) (Knudsen et al., 1992 ; Wallace et al., 2001 citées par Iarc, 2018) et les concentrations étaient variables dans les études concernant :

- le soudage manuel avec électrode enrobée (intervalle des moyennes : 11- 440 µg/m³) (Åkesson & Skerfving, 1985 ; Karlsen et al., 1994 ; Ellingsen et al., 2006 citées par Iarc, 2018) ;
- le soudage à l'arc avec fil fourré (moyennes à 7 et 50,4 µg/m³) (Stridsklev et al., 2004 ; Ellingsen et al., 2006 citées par Iarc, 2018) ;
- le soudage MAG (intervalle des moyennes : 11,6-100 µg/m³) (Angerer & Lehnert, 1990 ; Knudsen et al., 1992 ; Wallace et al., 2001 ; Ellingsen et al., 2006 citées par Iarc, 2018).

Les expositions atmosphériques aux composés de chrome et de nickel pourraient être 10 fois plus faibles pour les procédés de soudage sur acier doux¹⁶ (Dryson & Rogers, 1991 ; Schoonover et al., 2011 citées par Iarc, 2018).

Dans l'étude WELDOX, menée en Allemagne de 2007 à 2009 auprès de 241 soudeurs, Weiss et al. (Weiss et al., 2013) ont caractérisé les déterminants de l'exposition au chrome et au nickel tant dans l'air que dans l'urine des professionnels selon différents procédés de soudage et dans différents secteurs d'activités. Ils ont constaté que la partie métallique des électrodes ou le matériau de base et le procédé de soudage expliquaient la majeure partie de la variabilité des mesures dans l'air ; le soudage sur acier inoxydable présentait des concentrations de chrome et de nickel dans l'air beaucoup plus élevées que le soudage sur acier doux. Dans l'urine, les concentrations de chrome et de nickel étaient plus élevées lorsque le soudage était effectué dans un espace confiné ou avec une mauvaise ventilation. L'utilisation d'une protection respiratoire était associée à une diminution des concentrations urinaires en chrome et en nickel.

Persoons et al. (Persoons et al., 2014) ont étudié les déterminants de l'exposition au chrome et au nickel, mesurés dans l'urine de soudeurs utilisant le procédé de soudage MAG sur acier inoxydable. Ils ont constaté que le soudage par les plus expérimentés, dans un espace confiné ou pendant une durée plus longue au cours de la semaine de travail précédente entraînait des concentrations plus élevées de chrome dans l'urine, tandis que le soudage sur acier doux (par opposition au soudage sur acier inoxydable) et l'utilisation d'une ventilation mécanique entraînaient des concentrations plus faibles de chrome urinaire. Les concentrations urinaires de nickel se sont

¹⁶ Ceci s'explique car la teneur en chrome dans les aciers doux est plafonnée à 0,3% (http://www.a3ms.fr/wp-content/uploads/2017/02/3-1-tableau_1.pdf)

1 avérées plus élevées chez les soudeurs ayant une plus grande expérience et ayant effectué un
2 meulage, et plus faibles chez les soudeurs d'acier doux. La partie métallique de l'électrode
3 consommable n'a pas influencé les concentrations urinaires de chrome ou de nickel dans le
4 modèle proposé par Persoons et al.

5
6 Comme dans les modèles d'expositions aux fumées de soudage décrits par Kromhout (Kromhout
7 et al., 2004), Hobson (Hobson et al., 2011), Liu (Liu et al., 2011) et Lehnert et al. (Lehnert et al.,
8 2014) citées par IARC 2018, lors de l'évaluation des déterminants de l'exposition au chrome et au
9 nickel urinaires, l'utilisation d'une ventilation permettrait de réduire les expositions, le soudage en
10 espace confiné entraînerait des expositions plus élevées et il y aurait des différences dans
11 l'exposition mesurée en fonction du type de soudage ou du métal de base utilisé.

12 13 Expositions relatives au soudage de l'aluminium

14 Les procédés MAG et TIG peuvent être utilisés pour le soudage de l'aluminium et des alliages
15 d'aluminium (qui peuvent contenir du béryllium). Des niveaux plus élevés d'exposition à l'ozone et
16 aux UV peuvent également être générés par le soudage de l'aluminium en raison des courants
17 élevés et de l'argon pur utilisé comme gaz de protection (Faggetter et al., 1983 citée par IARC,
18 2018).

19 Généralement, les expositions à l'aluminium des soudeurs sont mesurées dans l'urine ou le
20 plasma. Cependant, l'aluminium en suspension dans l'air a été mesuré dans une étude portant sur
21 52 soudeurs d'aluminium selon le procédé MAG et 18 selon le procédé TIG ; des concentrations
22 moyennes d'aluminium de 2,1 mg/m³ (intervalle : 0,1-7,7 mg/m³) et de 0,17 mg/m³ (intervalle :
23 0,07-0,50 mg/m³) ont été respectivement mesurées dans les fumées de soudage MAG et TIG
24 (Maczak & Gromiec, 2002 citée par IARC, 2018).

25 26 27 3.2.2.2 Données bibliographiques publiées après la monographie du CIRC

28 Les données de la monographie du CIRC ont été complétées par une revue de la bibliographie.
29 Cette dernière a été réalisée sur Scopus le 18 mars 2021 en utilisant l'équation suivante sur les 5
30 dernières années :

31 (TITLE-ABS-KEY ({welding fumes}) AND TITLE-ABS-KEY (composition) OR TITLE-ABS-
32 KEY (component*) OR TITLE-ABS-KEY (substance*) OR TITLE-ABS-KEY (chemical*) OR
33 TITLE-ABS-KEY (characterization) OR TITLE-ABS-KEY (characterisation) OR TITLE-ABS-
34 KEY (measurement*) OR TITLE-ABS-KEY (analysis) OR TITLE-ABS-KEY (exposure))
35 AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019)
36 OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017)) .

37 Cette requête a permis d'obtenir 154 publications dont seulement 4 ont été jugées d'intérêt pour
38 cette expertise. Une cinquième publication de Riccelli et al. (Riccelli et al., 2020), identifiée par
39 cette requête a été jugée d'intérêt, non pas pour l'évaluation des expositions mais pour la
40 description de la composition des fumées de soudage. Elle a donc été citée précédemment.

41 Etude de Kirichenko et al. (2018)

42 Cette étude s'intéresse au soudage à l'arc et plus particulièrement à la dispersion des particules
43 PM10 dans la zone de travail. Différents types d'électrodes commerciales et divers revêtements
44 (rutile, basique, acide et rutile-cellulose) ont été testés expérimentalement sous 100 et 150
45 ampères de courant électrique. Pour cela, des récipients remplis d'eau ont été placés au sol tout
46 autour de la zone de travail. Au moment de la soudure, les particules ont naturellement été

1 collectées dans ces récipients par gravité, les particules s'y déposant et sédimentant. L'analyse a
2 ensuite été effectuée par granulométrie (Analysette 22 Nano de chez Fritsch).

3 Les particules de fraction PM10 se sont retrouvées dans l'espace de travail indépendamment des
4 types d'électrodes utilisées. La fraction des PM10 dans le panache a dépassé les 60% des
5 particules prélevées jusqu'à cinq mètres autour de la source d'émission. La fraction de PM10
6 augmente lorsque l'on s'éloigne de la source. La taille maximale des particules diminue avec
7 l'augmentation de l'ampérage. Ce résultat est caractéristique du procédé de soudage utilisant les
8 électrodes enrobées. Les prélèvements atmosphériques ont montré une prédominance de la taille
9 nanométrique des particules. Des éléments chimiques de l'électrode ont été retrouvés dans les
10 particules prélevées.

11 Cet article suggère que les personnes travaillant autour de la zone de soudage sont
12 potentiellement exposées de façon indirecte aux particules nanométriques émises lors du soudage
13 à l'arc.

14

15 Etude de Pesch et al. (2018)

16 Cette étude a évalué l'exposition professionnelle de soudeurs via la mesure de la fraction
17 alvéolaire du chrome hexavalent (Cr (VI)) ainsi que celle du chrome total et du nickel. Les
18 concentrations en Cr (VI), Cr et Ni ont été mesurées au poste de travail, dans les fumées de
19 soudage (fraction alvéolaire) captées par prélèvement individuel avec le dispositif de prélèvement
20 placé à l'intérieur du masque de soudage auprès de 50 hommes utilisant soit le soudage à l'arc au
21 gaz métal (MIG-MAG) (n = 24), soit le soudage au tungstène au gaz inerte (TIG) (n= 19) comme
22 technique principale. Trois soudeurs pratiquaient uniquement le soudage à l'électrode enrobée et 4
23 autres utilisaient toutes ces techniques. Les concentrations en chrome et en nickel ont été
24 déterminées dans des échantillons d'urine avant et après le poste de travail. Les concentrations
25 inférieures à la limite de quantification (LOQ) ont été multipliées par imputation. Les coefficients de
26 corrélation de Spearman (r_s) ont été calculés avec des intervalles de confiance (IC) à 95% pour
27 explorer les associations entre les variables d'exposition et des modèles de régression ont été
28 appliqués pour estimer l'effet du métal parent sur la concentration urinaire.

29 Concernant le Cr (VI) (mesure de la fraction alvéolaire), 62% des mesures étaient inférieures à la
30 LOQ qui variait de 0,37 à 0,43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, le 75^{ème} percentile était de 0,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et les concentrations
31 mesurées dépassaient 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour 8 soudeurs sur 50 (16%). La concentration la plus élevée
32 résultant du soudage à l'arc à l'électrode enrobée (shielded metal arc welding-SMAW) était de 180
33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La teneur en Cr (VI) dans le Cr total variait de 4 à 82% (médiane 20%) et sa concentration
34 était corrélée à celle du Cr total (r_s 0,55, IC à 95% 0,46; 0,64). La corrélation entre les
35 concentrations de Cr (VI) et de Ni était plus faible (r_s 0,42, 95% IC 0,34; 0,51) que celle entre les
36 concentrations de Cr et de Ni totaux dans les fumées de soudage (r_s 0,83, IC à 95% 0,74; 0,92).
37 Le Cr (VI) et le Cr total étaient corrélés aux concentrations urinaires de Cr dans les échantillons
38 après le poste de travail ($P = 0,0008$ et $P \leq 0,0001$, respectivement). La concentration
39 atmosphérique sur le poste de travail était un facteur déterminant plus faible que la concentration
40 de Cr dans les échantillons d'urine avant le début du poste de travail, qui était fortement corrélée
41 avec le Cr urinaire en fin de poste de travail (r_s 0,78, IC à 95% 0,69; 0,87).

42 Les auteurs ont montré que la teneur en Cr (VI) variait considérablement dans les fumées de
43 soudage. La majorité des soudeurs utilisant le procédé MIG-MAG ou le procédé TIG étaient
44 exposés à des concentrations par poste de travail (8 heures) de Cr (VI) pour la fraction alvéolaire
45 inférieures à 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cependant, des concentrations très élevées (jusqu'à 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) de Cr (VI)
46 pouvaient être rencontrées, par exemple, lors du soudage à l'arc avec électrode enrobée. Ils
47 concluent que la concentration urinaire en Cr total, ne peut pas être utilisée pour déterminer avec
48 précision l'exposition au Cr (VI) chez les soudeurs.

49

50 Etude de Kendzia et al. (2019)

1 Cette étude concerne l'analyse des mesures d'exposition archivées dans la base de données
2 allemande MEGA (Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz) sur la
3 période 1983-2016. Cette base est similaire à la base de données française COLCHIC gérée par
4 l'INRS. Le but de cette étude visait à estimer les niveaux d'exposition aux fumées de soudage
5 (fractions inhalable et alvéolaire), en fonction du procédé de soudage.

6 Au total, 15473 mesures d'exposition de la concentration massique de substances pour la fraction
7 inhalable et 9161 mesures de la concentration de fumées de soudage pour la fraction alvéolaire
8 présentes dans la base de données MEGA, avec des informations relatives à l'échantillonnage,
9 ont été analysées.

10 Les prélèvements sur filtres étaient réalisés sur 2 heures avec des méthodes adaptées. Les
11 auteurs présentent les résultats par procédé en les pondérant en fonction de la durée de
12 mesurage comparée à la durée totale du poste de travail.

13 Pour les deux fractions granulométriques, les moyennes géométriques, basées sur un modèle de
14 distribution log-normal, ont été estimées par procédé de soudage et matériau avec un ajustement
15 pour le temps d'échantillonnage et centrés sur la médiane pour les années civiles.

16 Les valeurs des concentrations pour la fraction inhalable étaient deux fois plus élevées que les
17 concentrations pour la fraction alvéolaire, avec respectivement des médianes de 3 mg/m³
18 (intervalle inter-quartile¹⁷ : 1,2 - 7,0 mg/m³) et 1,5 mg/m³ (intervalle inter-quartile: <limite de
19 détection - 3,8 mg/m³).

20 Les moyennes géométriques ajustées des procédés de soudage à l'arc à noyau de flux, soudage
21 au gaz inerte et actif des métaux, soudage à l'arc à électrode enrobée et le coupage au chalumeau
22 variaient de 0,9 à 2,2 mg /m³ pour la fraction alvéolaire des fumées de soudage et de 2,3 à 4,7
23 mg/m³ pour la fraction inhalable.

24 Pour les deux fractions granulométriques, les moyennes géométriques variaient de 0,1 à 0,9
25 mg/m³ lors de la mise en œuvre des procédés TIG, autogène, résistance (soudage par points),
26 soudage ou pulvérisation au laser et au plasma.

27 Cette étude permet de classer les principaux procédés de soudage en fonction du matériau soudé
28 et par rapport à la masse de fumées de soudage collectées pour la fraction inhalable ou alvéolaire.
29 Le tableau figurant ci-dessous présente à titre informatif une estimation des moyennes
30 géométriques des expositions professionnelles aux fumées de soudage pour les fractions
31 inhalable et alvéolaire selon les procédés. Ces estimations ont été réalisées à partir des mesures
32 disponibles dans la base de données MEGA et réalisées entre 1983 et 2016.

33

34 **Tableau 9 : estimation des moyennes géométriques des expositions professionnelles aux**
35 **fumées de soudage pour les fractions inhalable et alvéolaire**

¹⁷L'intervalle interquartile correspond à l'intervalle entre les percentiles 25 et 75 et contient 50% des résultats.

Table 5. Model-based estimates of the geometric means of occupational exposure to welding fumes predicted with and without adjustment for sampling time. (MEGA database, 1983–2016).

Process	Material	Respirable fraction, mg/m ³				Inhalable fraction, mg/m ³			
		Model with adjustment for 2 hr sampling time		Model without adjustment for sampling time		Model with adjustment for 2 hr sampling time		Model without adjustment for sampling time	
		Geometric Mean	95% CI	Geometric Mean	95% CI	Geometric Mean	95% CI	Geometric Mean	95% CI
Metal active gas welding		1.5	1.4–1.5	2.0	1.9–2.0	3.3	3.2–3.4	3.8	3.7–4.0
	Mild steel	1.7	1.7–1.8	2.3	2.2–2.4	3.9	3.7–4.0	4.5	4.4–4.7
	Stainless steel	1.0	1.0–1.1	1.4	1.3–1.5	2.3	2.2–2.5	2.7	2.6–2.9
	High aluminum content	1.6	1.4–1.9	2.1	1.8–2.5	4.1	3.5–4.7	4.8	4.1–5.5
	Other/mixed content	1.4	1.4–1.5	1.9	1.8–2.0	3.3	3.1–3.4	3.8	3.6–4.0
Metal inert gas welding		1.8	1.6–2.0	2.3	2.1–2.6	3.0	2.8–3.2	3.5	3.2–3.7
	Mild steel	2.0	1.8–2.3	2.7	2.4–3.0	3.5	3.3–3.8	4.5	4.4–4.7
	Stainless steel	1.2	1.1–1.4	1.6	1.4–1.8	2.1	2.0–2.3	2.5	2.3–2.7
	High aluminum content	1.9	1.6–2.2	2.5	2.1–2.9	3.0	2.8–3.2	4.3	3.8–4.9
	Other/mixed content	1.7	1.5–1.9	2.3	2.0–2.5	3.5	3.3–3.8	3.4	3.2–3.7
Tungsten inert gas welding		0.3	0.3–0.3	0.4	0.3–0.4	0.7	0.7–0.8	0.8	0.8–0.9
	Mild steel	0.3	0.3–0.4	0.4	0.4–0.5	0.9	0.8–0.9	1.0	0.9–1.1
	Stainless steel	0.2	0.2–0.2	0.3	0.2–0.3	0.5	0.5–0.6	0.6	0.6–0.6
	High aluminum content	0.3	0.3–0.4	0.9	0.8–1.0	0.9	0.8–1.0	1.0	0.9–1.2
	Other/mixed content	0.3	0.3–0.3	0.4	0.3–0.5	0.7	0.7–0.8	0.8	0.8–0.9
Shielded metal arc welding		0.9	0.9–1.1	1.2	1.1–1.4	2.3	2.1–2.4	2.6	2.5–2.8
	Mild steel	1.1	1.0–1.2	1.4	1.3–1.6	2.7	2.5–2.8	4.5	4.4–4.7
	Stainless steel	0.7	0.6–0.7	0.9	0.8–1.0	1.6	1.5–1.7	1.9	1.7–2.0
	High aluminum content	1.1	0.8–1.2	1.3	1.1–1.6	2.8	2.4–3.3	3.3	2.8–3.8
	Other/mixed content	0.9	0.8–1.0	1.2	1.1–1.4	2.2	2.1–2.4	2.6	2.5–2.8
Resistance welding		0.2	0.2–0.2	0.3	0.2–0.3	0.5	0.4–0.5	0.5	0.5–0.6
Laser welding		0.2	0.1–0.2	0.2	0.2–0.3	0.3	0.2–0.3	0.3	0.3–0.4
Flux-cored arc welding		2.2	1.8–2.7	2.9	2.4–3.5	4.7	4.0–5.4	5.5	4.7–6.3
Submerged arc welding		0.6	0.5–0.8	0.8	0.6–1.1	1.9	1.5–2.4	2.2	1.7–2.8
Plasma welding		0.3	0.2–0.4	0.4	0.2–0.6	0.7	0.5–0.9	0.8	0.6–1.1
Autogenous welding		0.3	0.2–0.5	0.4	0.3–0.6	0.9	0.6–1.2	1.0	0.8–1.4
Torch cutting		0.9	0.9–1.0	1.2	1.1–1.4	2.8	2.6–3.1	3.3	3.1–3.6
Plasma cutting		0.4	0.4–0.5	0.6	0.5–0.6	1.3	1.2–1.4	1.5	1.4–1.7
Flame spraying		0.3	0.2–0.4	0.4	0.3–0.5	1.0	0.8–1.2	1.1	0.9–1.4
Plasma spraying		0.1	0.0–0.2	0.1	0.1–0.3	0.6	0.4–0.8	0.7	0.5–0.9
Arc spraying		0.3	0.1–0.5	0.3	0.2–0.5	1.6	0.9–2.9	1.9	1.0–3.4
Other tasks		0.6	0.5–0.7	0.8	0.7–0.9	1.7	1.6–1.9	2.0	1.8–2.2

1
23 Etude de Berlinger et al. (2019)

4 Cette étude a consisté à mesurer les expositions à diverses particules au cours de certains
5 processus de travail à chaud, tels que le soudage MAG (gaz actif : oxygène, CO₂ ou les deux) et à
6 l'arc manuel métallique (MMA), le coupage à la flamme et au plasma, le gougeage à l'arc air-
7 carbone et le meulage de surface. En effet, bien que l'exposition à des contaminants de l'air issus
8 du soudage à l'arc métallique sur les lieux de travail ait été étudiée au cours des cinq dernières
9 décennies, d'autres processus de travail à chaud, tels que le découpage à la flamme (chalumeau
10 oxyacétylénique) et au plasma, le gougeage à l'arc air-carbone et le meulage de surface n'ont pas
11 fait l'objet d'autant d'études. Le meulage a été considéré dans l'étude mais les données
12 spécifiques à cette technique ne seront pas renseignées dans la suite du rapport car le meulage
13 ne relève pas du champ de cette expertise.

14 Les fractions particulaires alvéolaire, inhalable et « totale » ont été collectées avec différents
15 échantillonneurs d'air dans la zone de respiration des travailleurs (par prélèvement individuel).

16 Les concentrations en particules, chrome (Cr), fer (Fe), manganèse (Mn), molybdène (Mo), nickel
17 (Ni), cuivre (Cu) et plomb (Pb) ont été déterminées dans les échantillons prélevés par gravimétrie
18 et spectrométrie d'émission atomique à plasma à couplage inductif.

19 La bio-accessibilité des éléments a été étudiée en utilisant un fluide synthétique similaire à celui
20 couvrant l'épithélium des voies aériennes (solution de Hatch) pour la lixiviation des composés
21 métalliques solubles dans les échantillons prélevés.

22 Les concentrations atmosphériques en particules, Cr, Fe, Mn, Ni et Cu mesurées dans la zone de
23 respiration des travailleurs sur de courtes périodes (15 à 75 min) pendant les processus de travail
24 à chaud se sont avérées élevées par rapport aux valeurs limites d'exposition professionnelle
25 moyennées sur 8 heures et utilisées dans de nombreux pays internationaux.

1 Les concentrations médianes court-terme de particules au cours des différents processus de
2 travail à chaud variaient entre 6,0 et 88,7 mg/m³ pour la fraction alvéolaire et entre 15,1 et 193
3 mg/m³ pour la fraction inhalable. La concentration médiane la plus élevée de Fe (107 mg/m³) et de
4 Mn (28,7 mg/m³) a été mesurée dans la fraction inhalable respectivement pendant le coupage au
5 plasma et le gougeage à l'arc air-carbone.

6 Plus de 40% des particules générées pendant le coupage à la flamme et au plasma, le gougeage
7 à l'arc air-carbone étaient présents dans la fraction alvéolaire. Il y avait une grande variation dans
8 la bio-accessibilité des éléments parmi les particules collectées selon les différents processus de
9 travail à chaud.

10 Cette étude démontre que les procédés de découpe au chalumeau, au plasma, de gougeage à
11 l'arc air-carbone génèrent des expositions similaires à celles résultant de techniques de soudage à
12 l'arc (à électrodes enrobées) ou avec des gaz actifs.

13

14

15

16

DOCUMENT POUR CONSULTATION

4 Le caractère cancérogène des travaux exposant aux fumées de soudage

4.1 Organismes évaluant les propriétés de cancérogénicité

En Europe, le règlement (CE) n°1272/2008 (règlement relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage) dit règlement CLP est l'outil réglementaire qui permet de classer les substances et mélanges selon leur propriété cancérogène. Il découle de la mise en application du système global harmonisé des Nations Unies (SGH) qui vise à l'harmonisation des systèmes de classification et d'étiquetage des produits chimiques à travers le monde.

Il existe également d'autres organismes ou sociétés savantes internationales qui évaluent les propriétés de cancérogénicité de substances dont le CIRC, le NIEHS (National Institut of Environmental Health Sciences) avec son programme national de toxicologie (NTP : National Toxicology Program), l'agence américaine de protection de l'environnement (US EPA : United States Environmental protection Agency), ou la conférence américaine des hygiénistes industriels gouvernementaux (ACGIH® : American Conference of Governmental Industrial Hygienists). Parmi ces différents organismes, seul le CIRC a évalué les fumées de soudage qui ont fait l'objet de deux monographies (Iarc, 1990 & 2018). Ces évaluations prennent en compte les effets cancérogènes rapportés chez l'Homme et dans les études expérimentales, la pertinence du mécanisme d'action et la qualité du jeu de données disponibles (seules les données publiques sont considérées). Même si les classifications définies par le CIRC n'ont pas de valeur au niveau réglementaire, elles sont reconnues scientifiquement au niveau international.

4.2 Evaluation par le CIRC

Alors qu'elles avaient été classées comme cancérogènes possibles pour l'Homme (2B) en 1989, un nouvel examen des données en 2017 a conduit le CIRC à classer les fumées de soudage, dans sa monographie 118, dans le Groupe 1 (cancérogène pour l'Homme), sur la base de preuves suffisantes de cancérogénicité chez l'Homme (preuves suffisantes pour les cancers du poumon et association positive avec les cancers du rein) et de preuves de cancérogénicité limitées chez l'animal (fumées de soudage d'acier inoxydable) (Iarc 2018, Guha et al., 2017).

Dans le cadre de la dernière monographie, le groupe de travail du CIRC a concentré son examen sur les études qui rapportaient des estimations de risque associées à la profession de soudeur ou à l'exposition aux fumées de soudage. Le groupe de travail du CIRC a cependant pris en compte les études d'incidence et de mortalité professionnelles basées sur des données recueillies en routine. Les études ou les estimations de risque dans des professions pouvant impliquer un soudage peu spécifique et peu fréquent (comme les tuyauteurs, les plombiers et les soudeurs) ainsi que celles qui ne rapportaient que de larges associations professionnelles, combinant le soudage avec des professions connexes, ont été exclues de cette revue.

Les informations décrites ci-dessous proviennent principalement de la monographie du CIRC de 2018.

Les évaluations de l'exposition aux fumées de soudage étaient généralement basées sur la profession de soudeur ou le soudage en tant que tâche professionnelle, plutôt que sur des

1 estimations quantitatives des expositions individuelles. Plusieurs types de cancer ont été étudiés
2 dans les études épidémiologiques ; en particulier le cancer du poumon, mais aussi d'autres
3 variétés de cancers, notamment les cancers des voies respiratoires et de la vessie, les cancers
4 hémato-poïétiques et le mélanome oculaire (IARC, 2018).

5 Les études de cohorte sur les soudeurs se concentrent généralement sur des milieux
6 professionnels ou industriels spécifiques concernés par une exposition aux fumées de soudage au
7 départ, mais peuvent manquer d'informations sur l'exposition à des facteurs de confusion
8 potentiels tels que le tabagisme et l'amiante. Certaines études manquent également d'informations
9 sur les expositions enregistrées à l'inclusion dans la cohorte. De plus, certaines études n'incluent
10 qu'un nombre limité de cas de cancers autres que pulmonaires au cours du suivi ultérieur,
11 empêchant une analyse quantitative approfondie de l'association de ces cancers avec une
12 exposition aux fumées de soudage (IARC, 2018).

13 La majorité des études cas-témoins ont une évaluation simple et indirecte de l'exposition, par
14 exemple par type d'emploi, mais certaines incluent des évaluations plus détaillées basées sur des
15 matrices emploi-exposition (MEE), des questionnaires spécifiques à l'emploi et/ou des évaluations
16 d'experts au cas par cas. Les études cas-témoins comprennent souvent une évaluation des
17 antécédents de soudage tout au long de la vie professionnelle ainsi que des facteurs de confusion
18 potentiels, tant professionnels que non professionnels (IARC, 2018).

19 Les soudeurs peuvent être exposés à un mélange complexe de composés chimiques qui varient
20 selon le type de soudage, la méthode et le type de métal à souder, par exemple l'acier doux par
21 rapport à l'acier inoxydable ; ce dernier impliquant une exposition aux composés de nickel (Ni) et
22 de chrome (Cr), des cancérogènes pulmonaires reconnus par le CIRC (IARC, 2012C) et dont
23 certains composés sont actuellement classés cancérogènes dans les catégories 1A ou 1B à
24 l'annexe VI du règlement CLP.

25 Dans leur environnement de travail, les soudeurs peuvent être exposés à des composés autres
26 que ceux résultant directement du processus de soudage, qui peuvent être considérés comme des
27 facteurs de confusion potentiels. Il est important de distinguer les expositions qui font normalement
28 partie de l'environnement de soudage de celles qui surviennent en tant que co-expositions. Les
29 exemples de co-expositions qui peuvent contribuer à l'exposition professionnelle globale des
30 soudeurs, et donc au risque potentiel de cancer, comprennent les revêtements sur le métal soudé
31 (par exemple, les peintures, les graisses et autres composés) ainsi que les composés utilisés pour
32 préparer le métal au soudage (par exemple, le trichloréthylène (TCE) ou les décapants) (IARC,
33 2018). Parmi les métiers amenés à réaliser des opérations de soudage (tôliers, mécaniciens,
34 soudeurs), 10 à 20 % des périodes d'emploi ont été considérées comme exposant à la fois aux
35 solvants chlorés et aux fumées de soudage. Des proportions plus élevées de co-exposition (30%)
36 ont été trouvées dans les professions liées à la maintenance électrique/électronique. Le benzène
37 pouvait être utilisé avant les années 1980 comme solvant pour le nettoyage des métaux. Parmi les
38 périodes de travail avec exposition aux fumées de soudage, 11 % étaient considérées avec
39 exposition au benzène (4 % après 1980) (CANJEM, 2017).

40 Les soudeurs peuvent également être exposés à l'amiante en tant que partie de l'équipement de
41 protection contre la chaleur (y compris les couvertures utilisées pour couvrir la soudure, afin
42 d'empêcher un refroidissement brusque) et en tant que matériau d'isolation dans le lieu de
43 soudage, en particulier dans les chantiers navals où l'amiante était largement utilisé (IARC, 2018).

1 Le tabagisme est considéré comme un facteur de confusion potentiel majeur pour certains cancers
2 observés chez les soudeurs. Certaines études montrent une prévalence plus élevée du tabagisme
3 chez les soudeurs par rapport à la population générale (par exemple, Dunn et al., 1960 ; Office of
4 Population Censuses and Surveys, 1978 cité dans IARC (2018)).

5 En l'absence d'informations sur les co-expositions spécifiques dans les études sur le cancer du
6 poumon, des indications indirectes grossières de l'existence de facteurs de confusion peuvent être
7 considérées, par exemple, le risque de mésothéliome comme indicateur de l'exposition à l'amiante.

8 Dans l'ensemble, le groupe de travail du CIRC a pris en compte ces différents facteurs pour
9 évaluer et comparer les résultats des études entre elles ; l'hétérogénéité des résultats peut
10 s'expliquer en partie par ces différences.

11 Le groupe de travail du CIRC a noté que les études devraient idéalement inclure des informations
12 sur le matériau soudé, le type de procédé de soudage et la co-exposition à l'amiante et au
13 tabagisme. Les études qui ont fourni ces informations ont été considérées comme les plus
14 informatives.

15 Un résumé des données examinées par le groupe de travail du CIRC est présenté ci-après (IARC
16 2018, pp 256-261).

17 4.2.1 Données épidémiologiques

18 4.2.1.1 Cancer du poumon

19 Une vingtaine d'études cas-témoins, une vingtaine d'études de cohortes professionnelles et 6
20 études de cohorte en population générale ont été examinées par le groupe d'experts du CIRC. La
21 plupart d'entre elles ont rapporté une augmentation du risque de cancer du poumon chez les
22 travailleurs employés comme soudeurs ou déclarant être exposés aux fumées de soudage.

23 Différents indicateurs ont été utilisés pour évaluer l'exposition aux fumées de soudage. Des
24 relations dose-effet avec la durée d'emploi comme soudeur ou avec des indices d'exposition
25 cumulés, basés sur des évaluations de l'intensité, la probabilité ou la fréquence d'exposition ont
26 été rapportées. Malgré la variété des méthodes utilisées pour évaluer l'exposition, les associations
27 observées entre les indicateurs d'exposition et le cancer du poumon sont confortées par la
28 cohérence globale des résultats et l'existence de relations dose-effet est en faveur du caractère
29 causal de l'association.

30 Le groupe d'experts du CIRC a examiné les effets de confusion potentiels exercés par le
31 tabagisme. Il a noté que les associations positives entre l'exposition aux fumées de soudage et le
32 risque de cancer bronchopulmonaire persistaient après ajustement sur la consommation de tabac
33 dans la plupart des études, et dans certaines analyses limitées aux non-fumeurs ou aux fumeurs
34 occasionnels. Il a conclu par conséquent que le tabagisme ne pouvait probablement pas
35 entièrement expliquer les associations entre l'exposition aux fumées de soudage et le risque de
36 cancer du poumon.

37 Les effets de confusion liés à une co-exposition à l'amiante ont également été examinés. Un excès
38 de risque de cancer du poumon associé aux fumées de soudage était observé dans des cohortes
39 où l'exposition à l'amiante était faible ou minimale, et persistait après ajustement sur l'amiante
40 dans les études où cette exposition a été évaluée. Le groupe d'experts a conclu que l'exposition à
41 l'amiante ne permettait pas d'expliquer l'excès de cancer du poumon chez les soudeurs.

42 Enfin, le risque de cancer du poumon était associé à l'exposition aux fumées de soudage quel que
43 soit le matériau soudé ou la méthode de soudage utilisés. Les études examinées ne fournissaient

1 aucun élément pouvant suggérer que ce risque était limité au soudage de métaux en acier
2 inoxydable. Alors que plusieurs études suggéraient que le risque de cancer du poumon était plus
3 fortement associé avec le soudage au gaz qu'avec le soudage à l'arc, le groupe de travail du CIRC
4 a noté que la grande majorité des soudeurs utilise rarement un seul type de soudage et a conclu
5 que ces résultats pourraient refléter des éléments sous-jacents non pris en compte telles que
6 certaines tendances temporelles, les caractéristiques du lieu de travail ou les pratiques de travail
7 connexes telles que le découpage au chalumeau.

8 Au total, compte tenu de la constance des associations observées dans les différents types
9 d'études, les différents contextes professionnels, pays ou périodes, et compte tenu de la qualité
10 méthodologique de plusieurs études rapportant des associations positives, le groupe de travail du
11 CIRC a conclu que les résultats ne pouvaient être expliqués par le seul fait du hasard, de biais
12 d'information, de sélection ou de confusion. Par ailleurs, l'association avec le cancer du poumon a
13 été observée à la fois pour le soudage au chalumeau et pour le soudage à l'arc, sur acier
14 inoxydable et sur acier doux. Le groupe de travail du CIRC a conclu que l'exposition aux fumées
15 de soudage était à l'origine d'un risque accru de cancer du poumon chez les soudeurs.

16 4.2.1.2 Cancer du rein

17 Le groupe de travail du CIRC a évalué une vingtaine d'études de cohorte ou cas-témoins. Parmi
18 celles-ci, six études de cohorte ont rapporté des associations positives entre la profession de
19 soudeur et le risque de cancer du rein. Deux grandes cohortes basées sur des données de
20 recensement de la population menées au Canada et dans les pays nordiques ont rapporté des
21 risques accrus de cancer du rein chez les soudeurs de 20 à 30%. Quatre cohortes en milieu
22 industriel ont également rapporté des augmentations du risque de cancer du rein chez les
23 soudeurs. Aucune de ces études de cohorte n'a tenu compte du tabagisme ou d'autres facteurs de
24 confusion potentiels liés au mode de vie dans les analyses. Cependant, le groupe de travail du
25 CIRC a considéré qu'il était peu vraisemblable que le tabagisme ou d'autres facteurs de risque non
26 professionnels de cancer du rein puisse expliquer ces associations.

27 Les études cas-témoins confortent les résultats des études de cohorte. Une augmentation des
28 risques relatifs de cancer du rein en rapport avec la profession de soudeur et une exposition aux
29 fumées de soudage est rapportée. Toutefois des relations exposition-réponse claires n'ont pas été
30 observées. Le tabagisme a été pris en compte dans ces études et ne pouvait pas expliquer les
31 augmentations de risque relatif. Par contre, dans certaines études, les sujets étaient
32 potentiellement exposés à des niveaux élevés de trichloréthylène, un cancérogène rénal humain
33 connu, pouvant jouer un rôle de confusion dans l'association.

34 Au total, malgré les risques élevés de cancer du rein observés chez les soudeurs dans les
35 différents types d'études, les différentes zones géographiques et milieux professionnels, le groupe
36 de travail du CIRC a conclu que le petit nombre de sujets exposés et l'absence de relation dose-
37 effet claire ne permettaient pas d'exclure que des biais ou des facteurs de confusion puisse
38 expliquer ces résultats.

39 4.2.1.3 Cancers de la tête et du cou

40 Le groupe de travail du CIRC a considéré les études cas-témoins comme étant plus informatives
41 que les études de cohorte lors de l'examen de l'association entre le soudage et les cancers de la
42 tête et du cou. En raison de l'incidence relativement faible de ces cancers, le nombre de cas était
43 faible ou aucun risque relatif n'était rapporté dans de nombreuses études de cohorte. Les études
44 cas-témoins évaluées ont également été ajustées sur le tabagisme et la consommation d'alcool,
45 les principaux facteurs de risque de cancer de la cavité buccale, du pharynx et du larynx.
46 Cependant, les études ont été entravées dans leur capacité à évaluer ces cancers par site
47 spécifique en raison du petit nombre de cas exposés. Bien que des associations positives aient été

1 observées dans certaines études, ces limites ont empêché le groupe de travail du CIRC de tirer
2 des conclusions.

3 Pour le cancer naso-sinusal, trois des quatre études cas-témoins ont révélé des associations
4 positives avec le soudage. Dans une étude qui a rapporté des résultats par type histologique,
5 l'association était limitée au carcinome épidermoïde et une tendance significative avec la durée a
6 été observée. Cependant, aucune association avec l'exposition aux fumées de soudage n'a été
7 retrouvée dans la plus grande étude cas-témoins pour aucun type histologique de cancer des
8 fosses nasales et des sinus. Une analyse groupée de 12 études cas-témoins n'a également pas
9 montré de risque augmenté de carcinome épidermoïde naso-sinusal chez les soudeurs. Seules
10 quatre études de cohorte portaient sur le cancer naso-sinusal. Aucun décès par cancer naso-
11 sinusal n'a été observé dans une grande étude européenne sur les soudeurs tandis que des
12 augmentations non significatives du risque ont été constatées dans une étude danoise sur des
13 soudeurs en chaudronnerie et dans deux cohortes fondées sur le recensement.

14 4.2.1.4 Autres cancers

15 4.2.1.4.1 *Leucémies*

16 Le groupe de travail du CIRC a évalué huit études (quatre études cas-témoins, une étude cas-
17 témoins nichée dans une cohorte et trois études de cohorte) sur le soudage qui rapportaient des
18 résultats pour la leucémie ou des sous-types spécifiques de leucémie. Presque toutes ces études
19 ont signalé des ORs (odd ratio) élevés pour tous les types de leucémie combinés et la profession
20 de soudeur ; cependant, la plupart des estimations de risque étaient faibles (risques relatifs
21 augmentés de 10 à 30%) et imprécises. La seule étude rapportant une estimation de risque
22 statistiquement significative était une étude cas-témoins nichée dans la cohorte des soudeurs du
23 chantier naval de Portsmouth (USA) suivis quant à l'exposition aux rayonnements ionisants et dont
24 les ORs ont été ajustés pour les solvants, et notamment le benzène, et pour les rayonnements. Six
25 études évaluant les risques de leucémies myéloïdes ont rapporté des ORs élevés dont deux
26 statistiquement significatifs. Mais l'un de ces résultats significatifs provenait d'une étude cas-
27 témoins californienne qui rapportait un OR très élevé (> 25) pour la leucémie myéloïde chronique.
28 Les estimations de risque étaient plus élevées pour la leucémie aigüe myéloïde que pour les types
29 de leucémie combinés. Une étude de cohorte dans des pays nordiques en population a rapporté
30 un taux d'incidence standardisé de 1,23 (IC 95% 0,99-1,52) pour les hommes soudeurs. Enfin, la
31 seule étude (avec plus d'un cas exposé) sur la leucémie lymphoïde a trouvé un OR proche de
32 l'unité et une étude néozélandaise a rapporté une association statistiquement significative entre le
33 risque de leucémies myéloïde et lymphoïde aiguës et la profession de soudeur ou de découpeur
34 au chalumeau.

35 4.2.1.4.2 *Lymphomes non-Hodgkiniens*

36 Le groupe de travail du CIRC a évalué de nombreuses études cas-témoins indépendantes (y
37 compris une étude cas-témoins groupée) et quatre études de cohorte sur le soudage qui ont
38 rapporté des résultats pour les lymphomes non hodgkiniens (LNH), y compris la leucémie
39 lymphoïde chronique et des sous-ensembles de cancers lympho-hématopoïétiques à cellules B,
40 ou le myélome multiple. Les systèmes de classification et de codage du LNH et de ses sous-types
41 ont considérablement évolué au cours des 20 dernières années, ce qui peut introduire une
42 hétérogénéité entre les études en raison des différences dans les regroupements de lymphomes.
43 Dans l'ensemble, les études cas-témoins suggèrent un léger excès de risque de LNH chez les
44 soudeurs mais les données ne sont pas cohérentes en fonction des types d'étude et cet effet n'a
45 pas été observé dans certaines des études les plus importantes. Il est raisonnable de penser que
46 l'incohérence entre les études puisse s'expliquer par le fait que les facteurs de risque du LNH
47 pourraient différer selon les sous-types, mais les données disponibles ne permettaient pas
48 d'évaluer l'association entre le soudage et des sous-types spécifiques de LNH.

1 4.2.1.4.3 Cancer de la vessie

2 Plus de 18 études cas-témoins et plus de 10 études de cohorte ont évalué l'association entre le
3 cancer de la vessie et l'exposition aux fumées de soudage. Les études cas-témoins ont été
4 considérées comme plus informatives que les études de cohorte car elles avaient généralement un
5 plus grand nombre de cas exposés, présentaient des méthodes plus solides pour l'évaluation de
6 l'exposition et ajustaient sur le tabagisme, contrairement aux études de cohorte. La plupart des
7 études cas-témoins rapportaient des estimations de risque relatif proches de l'unité, alors que les
8 études de cohorte rapportaient des estimations de risque légèrement plus élevées. Il n'a pas été
9 observée de relation claire entre le risque de cancer de la vessie et la durée d'exposition au
10 soudage ou aux fumées de soudage. Une grande étude de cohorte multicentrique portant sur plus
11 de 11 000 soudeurs en Europe a rapporté un taux de mortalité standardisé élevé pour le cancer de
12 la vessie, tandis que l'estimation du risque était plus faible mais toujours supérieure à l'unité pour
13 l'incidence du cancer de la vessie.

14 4.2.1.4.4 Cancer du cerveau

15 Quatre études cas-témoins et plus de cinq études de cohorte ont évalué l'association entre le
16 cancer du cerveau et l'exposition aux fumées de soudage. Une seule des trois études cas-témoins
17 a rapporté un OR de 1,26 (IC 95% 0,98–1,45) et une faible association entre un risque plus élevé
18 de cancer du cerveau et une durée de soudage plus longue. Parmi les études de cohorte, deux
19 fondées sur le recensement ont montré des résultats incohérents : une étude canadienne a
20 rapporté un risque légèrement augmenté mais non significatif de cancer du cerveau chez les
21 soudeurs tandis qu'une étude sur la base des registres nordiques du cancer n'a montré aucune
22 association. Aucune des études n'a ajusté sur l'exposition professionnelle aux rayonnements
23 ionisants de sorte qu'une confusion potentielle n'a pu être exclue. Deux études cas-témoins ont
24 évalué l'association entre le soudage et l'incidence du méningiome. Une étude en Chine a
25 rapporté des ORs élevés pour les hommes et les femmes exposés aux fumées de la « baguette de
26 soudage » mais sur un petit nombre de cas exposés. Une étude cas-témoins internationale plus
27 vaste, évaluant l'exposition aux fumées de soudage au moyen d'une matrice emploi-exposition, a
28 rapporté une augmentation non significative du risque pour les femmes et les hommes, sans
29 tendance en fonction des catégories d'exposition cumulative et de durée (années) d'exposition aux
30 fumées de soudage.

31 4.2.1.4.5 Autres sites de cancers

32 Les associations entre l'exposition aux fumées de soudage et plusieurs autres cancers dont les
33 cancers du pancréas, rectocolique, de l'estomac, de l'œsophage, de la prostate et des testicules,
34 ainsi qu'entre une exposition parentale à la soudure et divers cancers dans la progéniture, ont été
35 examinées dans quelques études. Le groupe de travail du CIRC a conclu que les données pour
36 ces sites de cancers ne permettaient de tirer aucune conclusion quant à la cancérogénicité des
37 expositions liées au soudage.

38 4.2.2 Données expérimentales et mécanistiques

39 En complément des données épidémiologiques relatives à la cancérogénèse, les experts du CIRC,
40 dans la monographie de 2018, ont établi les conclusions suivantes :

41 Il existe des preuves limitées de la cancérogénicité des fumées de soudage à l'arc sous gaz avec
42 électrode en acier inoxydable. En effet, aucune étude expérimentale réalisée sur le long terme
43 n'était disponible. Seules une étude court terme par inhalation et deux études par aspiration
44 oropharyngée chez la souris mâle ainsi qu'une étude d'instillation intra-trachéale chez le hamster
45 mâle ont investigué la cancérogénicité des fumées de soudage. Ces études ont été considérées
46 comme inappropriées selon les experts du CIRC ou rapportaient des résultats négatifs. Des
47 études d'initiation-promotion chez la souris mâle ont néanmoins montré un effet promoteur des
48 fumées de soudage à l'arc sous gaz avec électrode en acier inoxydable.

1 Les études toxicocinétiques ont montré une sidérose pulmonaire (accumulation pulmonaire de fer)
 2 chez les soudeurs ainsi que l'absorption (via la mesure de la concentration sanguine) et l'excrétion
 3 urinaire de métaux (chrome, nickel, manganèse, aluminium). Le dépôt au niveau pulmonaire et
 4 l'excrétion urinaire de ces métaux ont été observés chez le rat et des primates non-humains.
 5 Certains de ces métaux ont des effets cancérogènes documentés, en particulier des effets
 6 cancérogènes pour les voies respiratoires. C'est en particulier le cas du chrome hexavalent (Cr(VI))
 7 et des dérivés inorganiques du nickel.

8 L'analyse des données mécanistiques, au regard des caractéristiques clés de la cancérogénèse, a
 9 montré que les fumées de soudage induisent une inflammation chronique chez l'Homme et les
 10 animaux de laboratoire et qu'elles sont immunosuppressives chez l'Homme et chez l'animal.

11 Il y a des preuves modérées de la génotoxicité des fumées de soudage : chez l'Homme, les
 12 résultats des tests d'aberrations chromosomiques et d'échanges de chromatides-sœurs étaient
 13 hétérogènes, et chez l'animal, les quelques tests de lésions de l'ADN étaient positifs, comme les
 14 tests de génotoxicité chez les bactéries.

15 Il y a des preuves modérées de l'induction de stress oxydatif par les fumées de soudage : chez
 16 l'Homme ; l'exposition à différents types de fumées de soudage augmente l'excrétion urinaire de 8-
 17 OHdG et l'excrétion urinaire et respiratoire de peroxyde d'hydrogène avec une relation
 18 exposition/effet pour les particules ayant un diamètre inférieur à 2,5 µm (PM 2.5). Les études
 19 examinées ont rapporté également une augmentation des marqueurs de stress oxydatif et une
 20 diminution des activités anti-oxydantes (glutathion, superoxyde dismutase) dans le sang et l'urine.
 21 *In vitro*, les fumées de soudage induisent la production d'espèces réactives de l'oxygène.

22 Il y a des preuves modérées que les fumées de soudage altèrent la prolifération ou la mort
 23 cellulaire : peu de données chez l'Homme mais de nombreuses études chez l'animal ont montré
 24 que les fumées de soudage (acier inoxydable) augmentent les marqueurs de prolifération cellulaire
 25 et induisent des lésions pulmonaires prolifératives. *In vitro*, les fumées de soudage induisent une
 26 cytotoxicité et/ou altèrent les fonctions mitochondriales.

27 4.3 Données épidémiologiques récentes

28 4.3.1 Méthodologie

29 Le GT a décidé de réaliser une veille bibliographique afin de compléter l'évaluation de 2018 du
 30 CIRC sur les propriétés cancérogènes des fumées de soudage à partir des données les plus
 31 récentes. Le GT a adopté la démarche méthodologique mise en œuvre dans les monographies du
 32 CIRC qui se fonde en priorité sur les données chez l'Homme, puis sur les données de
 33 cancérogénèse expérimentale chez l'animal et sur les données mécanistiques. La classification
 34 des fumées de soudage par le CIRC se basant sur une preuve de cancérogénicité suffisante chez
 35 l'Homme, la recherche bibliographique s'est focalisée sur l'actualisation des données
 36 épidémiologiques.

37 Une recherche bibliographique a été réalisée en mai 2021 sur deux bases de données (Scopus et
 38 Pubmed) sans limitation de date. Les mots clés utilisés étaient les suivants : {Welding fumes} AND
 39 worker OR occupational AND cancer OR carcinogen*. Les résultats sont présentés dans le tableau
 40 ci-dessous :

41 **Tableau 10: résultat de la recherche bibliographique relative à la cancérogénicité des fumées de**
 42 **soudage**

Requêtes	Nombre de publications	
	Scopus (Title/Abs/Key)	Pubmed (Title/Abs)

Welding fumes	168	76
---------------	-----	----

1 Les publications déjà citées dans la monographie du CIRC ont été exclues ainsi que toutes les
2 publications qui ne faisaient pas référence à des données de cancérogénicité chez l'humain. Ainsi,
3 9 nouvelles publications ont été jugées d'intérêt à partir des requêtes réalisées en mai 2021.

4 4.3.2 Analyse des données

5 Depuis la monographie du CIRC, sont parues dans la littérature épidémiologique une méta-
6 analyse (Honaryar *et al.*, 2019), une étude de cohorte (Michalek *et al.*, 2019b) (Tableau en annexe
7 4) et sept études cas-témoins (Parent *et al.*, 2017, Michalek *et al.*, 2019a, Pesch *et al.*, 2019,
8 Talibov *et al.*, 2019, Barul *et al.*, 2020, d'Errico *et al.*, 2021, Chen *et al.* 2021) portant sur
9 différentes localisations de cancer (Tableau en annexe 5). Les résultats de ces publications sont
10 résumés ci-dessous, présentés en fonction du cancer considéré.

11 4.3.2.1 Cancer du poumon

12 Le risque de cancer du poumon associé à une exposition aux fumées de soudage a été étudié par
13 une méta-analyse (Honaryar *et al.*, 2019) et une étude cas-témoins (Pesch *et al.*, 2019).

14 En parallèle de la revue systématique qualitative de l'association entre un emploi de soudeur
15 (utilisé comme proxy pour l'exposition aux fumées de soudage) et le risque de cancer du poumon
16 conduite par le groupe de travail de la monographie 118 du CIRC, Honaryar *et al.* (Honaryar *et al.*,
17 2019) ont réalisé une méta-analyse à partir de 45 études identifiées puis réduite à 37 études (15
18 études cas-témoins, 22 études de cohorte après élimination des chevauchements entre
19 populations d'études) après application de critères d'inclusion/exclusion définis. Au total, la méta-
20 analyse portait sur 137 624 cas de cancer du poumon et 364 555 témoins provenant des études
21 cas-témoins et 16 485 328 participants des études de cohorte. Le méta-risque relatif (mRR) de
22 cancer du poumon chez les soudeurs, comparés aux non-soudeurs ou aux non exposés aux
23 fumées de soudage, était de 1,43 (IC 95% 1,31 - 1,55 ; I² (hétérogénéité) = 54,6% ; n = 37
24 études). Les mRRs étaient de 1,29 (IC 95% 1,20 – 1,39 ; I² = 26,4% ; n = 22) pour les études de
25 cohorte, de 1,87 (IC 95% 1,53 – 2,29 ; I² = 44,1% ; n = 15) pour les études cas-témoins et de 1,17
26 (IC 95% 1,04 – 1,38 ; I² = 41,2%) pour les 8 études cas-témoins ayant ajusté sur le tabac et
27 l'exposition à l'amiante. Les mRRs étaient de 1,32 (IC 95% 1,20 – 1,45 ; I² = 6,3% ; n = 15) pour
28 les « soudeurs de construction navale », 1,44 (IC 95% 1,07 – 1,95 ; I² = 35,8% ; n = 3) pour les «
29 soudeurs d'acier doux » et de 1,38 (IC 95% 0,89 – 2,13 ; I² = 68,1% ; n = 5) pour les « soudeurs
30 d'acier inoxydable ». L'augmentation du risque de cancer du poumon chez les soudeurs persistait
31 quels que soient la période, la localisation géographique, le protocole de l'étude, le type d'emploi,
32 la méthode d'évaluation de l'exposition et le type histologique de tumeur. Les résultats de cette
33 méta-analyse permettent de conclure que l'exposition aux fumées de soudage augmente
34 significativement le risque de cancer du poumon indépendamment des principaux facteurs de
35 confusion (exposition à l'amiante ou au tabac), quelle que soit la méthode de soudage et que le
36 risque augmente avec la durée de l'activité de soudage.

37 Pour étudier le risque de cancer du poumon associé à divers procédés de soudage ainsi qu'à
38 l'exposition au chrome hexavalent (Cr(VI)) et au nickel (Ni), Pesch *et al.* (Pesch *et al.*, 2019)¹⁸ ont
39 comparé les expositions de 3 418 cas de cancer du poumon et 3 488 témoins de sexe masculin de
40 deux études cas-témoins en population générale conduites en Allemagne entre 1988 et 1996. Des
41 indices d'exposition cumulée aux fumées de soudage, au Cr(VI) et au Ni sur l'ensemble de la
42 carrière professionnelle ont été calculés en couplant l'historique des activités de soudage au cours

¹⁸ Cette étude n'est pas incluse dans la méta-analyse de Honaryar *et al.*, 2019.

1 de la carrière, recueilli par questionnaire, à une matrice permettant de déterminer le niveau
2 d'exposition aux fumées, au Cr(VI) et au Ni à partir des procédés de soudage utilisés. Les ORs de
3 cancer du poumon pour les soudeurs dans les catégories d'expositions cumulées les plus élevées
4 par rapport aux non exposés, ajustés sur l'âge, le tabagisme et un historique d'emploi dans
5 d'autres professions à risque de cancer du poumon, étaient de 1,55 (IC 95%, 1,17-2,05) pour
6 l'exposition aux fumées de soudage, 1,85 (IC 95%, 1,35-2,54) pour l'exposition au Cr(VI), et 1,60
7 (IC 95%, 1,21-2,12) pour l'exposition au Ni. Des tendances significatives à l'augmentation du
8 risque de cancer avec l'augmentation de l'exposition étaient observées. Les résultats de cette
9 étude confortent l'hypothèse que le Cr (VI) et le nickel, issus des fumées de soudage, contribuent
10 à l'augmentation du risque de cancer du poumon chez les soudeurs.

11 4.3.2.2 Cancer du rein et du bassinnet

12 Une étude cas-témoins sur les facteurs de risques professionnels, nichée dans la cohorte NOCCA
13 (National Occupational Cancer Study, une cohorte de 14,9 millions d'individus de 5 pays
14 nordiques) a été conduite par Michalek *et al.* (Michalek *et al.*, 2019a) chez des individus ayant
15 développé un cancer du rein entre 1961 et 2005 dans trois pays nordiques (Finlande, Islande et
16 Suède). Au total, 59 778 cancers du rein ou du bassinnet ont été identifiés dans la cohorte. Pour
17 chaque cas, cinq témoins appariés sur le sexe, l'âge et le pays ont été extraits au hasard de la
18 cohorte, soit 298 890 témoins. Les données d'exposition ont été obtenues à partir des
19 recensements et les données détaillées de la matrice emplois-expositions NOCCA-JEM. Les
20 expositions professionnelles cumulées aux métaux (chrome (VI), fer, nickel, plomb), aux fumées
21 de soudage et à 24 autres expositions professionnelles ont été calculées en tenant compte de
22 périodes de latence de 0, 10 et 20 ans avant le diagnostic de cancer. Chez les femmes, les OR
23 associés aux fumées de soudage étaient supérieurs à 1 mais non statistiquement significatifs avec
24 de larges intervalles de confiance du fait du faible nombre de cas exposés. Chez les hommes,
25 l'OR correspondant au niveau d'exposition le plus élevé aux fumées de soudage était de 1,22 (IC
26 95% 0,99-1,49). Une tendance non significative (p -tendance = 0,24) à l'augmentation du risque de
27 cancer du rein avec le niveau d'exposition était observée. Aucune association entre le cancer du
28 rein et l'exposition au Cr, Fe, Ni ou Pb n'était rapportée. Une analyse stratifiée sur l'âge a toutefois
29 montré que le risque de cancer du rein chez les moins de 59 ans était augmenté chez les individus
30 ayant eu une forte exposition au nickel (OR = 1,49, IC 95% 1,03-2,17) mais pas aux fumées de
31 soudage (OR = 1,15, IC 95% 0,77-1,74 pour la plus forte exposition). Pour les individus de 59 à 74
32 ans, le risque de cancer du rein était augmenté chez ceux qui avaient eu de fortes expositions au
33 fer (OR = 1,41, IC 95% 1,07-1,85) et aux fumées de soudage (OR = 1,43, IC 95% 1,09-1,89).
34 Dans cette étude, les seuls risques notablement et significativement augmentés de cancer du rein
35 ont été observés dans des classes d'âge spécifiques pour les plus fortes expositions au nickel et
36 au fer ainsi qu'aux fumées de soudage. Les experts du GT notent que, dans cette étude, le
37 tabagisme n'a pas été pris en compte.

38 4.3.2.3 Cancer des voies urinaires

39 Michalek *et al.* (Michalek *et al.*, 2019b) ont étudié la relation entre emploi et risque de cancer du
40 bassinnet rénal (un cancer rare dont l'étiologie est mal connue) dans une cohorte de 14,9 millions
41 d'individus de cinq pays nordiques (Nordic Occupational Cancer Study – NOCCA : Danemark,
42 Islande, Finlande, Norvège et Suède), suivie de 1960 à fin 2003 ou 2005 (385 millions de
43 personnes/années). Les participants étaient âgés de 30 à 64 ans à l'entrée dans la cohorte. Les
44 professions occupées étaient renseignées à partir des données de recensement de la population
45 au cours de la période 1960-1990. Les données d'incidence de cancer du bassinnet rénal ont été
46 obtenues à partir des registres de cancer nationaux. Pour chacun des 54 emplois étudiés, les taux
47 d'incidence standardisés (SIR = rapport entre le nombre de cas observés et le nombre de cas
48 attendus calculé à partir des taux d'incidence nationaux) ont été calculés pour les emplois déclarés
49 à l'inclusion dans la cohorte lors du premier recensement. S'agissant des soudeurs, 56 cas de
50 cancer du bassinnet rénal ont été observés (SIR = 1,37, IC 95% 1,03–1,78), tous chez des
51 hommes. Les experts du GT notent que cette étude suggère une association entre le risque de

1 cancer du bassinet rénal et l'emploi de soudeur et indique même une tendance ascendante non
2 significative des SIRs (0,95, 1,44 et 1,40 pour les périodes 1961-1975, 1976-1990, et 1991-2005
3 respectivement) mais ne prend pas en compte l'exposition à des facteurs tels que le tabac ou
4 l'amiante.

5 Les experts du GT notent que, dans cette étude, comme dans la précédente basée sur la cohorte
6 NOCCA, le tabagisme n'a pas été pris en compte alors qu'il est un facteur de risque majeur des
7 tumeurs urothéliales.

8 4.3.2.4 Gliomes

9 Parent *et al.* (2017) ont étudié les relations entre le risque de gliome et l'exposition professionnelle
10 à 5 métaux (plomb, cadmium, nickel, chrome et fer) et aux fumées de soudage en utilisant les
11 données de l'étude INTEROCC (étude cas-témoins en population, multicentrique incluant 10
12 centres dans 7 pays participant à l'étude INTERPHONE : Allemagne, Australie, Canada, France,
13 Israël, Royaume Uni et Nouvelle Zélande). Mille huit cents cas incidents de gliome et 5 160
14 témoins recrutés dans la population générale, âgés de 30 à 69 ans ont été inclus dans les
15 analyses. Les expositions professionnelles au cours de la vie ont été évaluées à l'aide d'une
16 matrice emploi-exposition (INTEROCC JEM, version modifiée de la matrice emploi-exposition
17 finlandaise FINJEM). Les analyses par régression logistique multivariée n'ont montré aucune
18 association entre l'exposition à l'un des agents et le risque de gliome (ORs et CIs 95% allant de
19 0,8 (0,7–1,0) pour le plomb et à 1,1 (0,7–1,6) pour le cadmium ; l'OR était de 0,9 (0,7–1,1) pour les
20 fumées de soudage). Les résultats de cette grande étude internationale ne montrent aucune
21 association entre l'exposition professionnelle aux métaux étudiés ou aux fumées de soudage et le
22 risque de gliome.

23 4.3.2.5 Cancer du sein

24 Le rôle de l'exposition professionnelle aux solvants, aux métaux et fumées de soudage, aux gaz
25 d'échappement et à d'autres agents dans le cancer du sein masculin a été étudié dans une étude
26 cas-témoins nichée dans la cohorte NOCCA, dans trois pays nordiques (Finlande, Islande et
27 Suède) (Talibov *et al.* 2019). L'étude a porté sur 1469 cas diagnostiqués entre 1961 et 2005 et
28 7345 témoins appariés sur la date de naissance, le sexe et le pays. Les cas ont été identifiés dans
29 les registres de cancer nationaux. Les données d'emploi ont été obtenues à partir des
30 recensements et des registres de population. Les 24 expositions professionnelles étudiées ont été
31 estimées par croisement du fichier des professions déclarées à des matrices emploi-exposition
32 (NOCCA-JEM). S'agissant des expositions aux métaux et aux fumées de soudage, les OR étaient
33 de 0,95 (IC 95% 0,81-1,12) pour l'exposition au fer, 0,99 (IC 95% 0,85-1,15) pour l'exposition au
34 chrome et 0,95 (IC 95% 0,81-1,13) pour l'exposition aux fumées de soudage. Les auteurs notent
35 qu'il n'a pas été possible dans cette étude d'ajuster sur les consommations d'alcool et de tabac.

36 4.3.2.6 Cancers des voies aéro-digestives supérieures

37 Barul *et al.* (Barul *et al.*, 2020) ont étudié les relations entre l'exposition professionnelle au
38 soudage et le risque de cancer de la tête et du cou dans une grande étude cas-témoins en
39 population française, l'étude ICARE (Investigation of occupational and environmental CAuses of
40 REspiratory cancers) conduite entre 2001 et 2007 dans 10 départements couverts par un registre
41 du cancer. 1588 cas incidents de sexe masculin de cancers épidermoïdes de la cavité buccale
42 (n=301), du pharynx (472 cancers de l'oropharynx, 316 cancers de l'hypo-pharynx, 107 cancers
43 non spécifiés du pharynx) ou du larynx (n=392), âgés de 18 à 75 ans, ont été inclus. Les témoins
44 (n=2703) étaient appariés par fréquence aux cas de cancer par département et classe d'âge. Le
45 taux de participation des témoins était de 80,6%, celui des cas de 82,5%. Un questionnaire
46 spécifique explorant la totalité de l'histoire professionnelle a été complété lors d'entretien en face à
47 face par des enquêteurs spécialement formés pour l'étude. Des informations détaillées sur la
48 durée et la fréquence du soudage pour chaque emploi occupé au cours de la carrière, les

1 procédés de soudage et techniques connexes utilisés (soudage, brasage, oxycoupage), les
2 métaux soudés, les traitements de surface ont été recueillies. L'exposition au soudage a été
3 évaluée en considérant les emplois de « soudeur » (code ISCO=872) déclarés au cours de la
4 carrière, ou en considérant toute activité de soudage ou de découpage thermique au chalumeau
5 pendant au moins 5% du temps de travail dans un poste de travail. Les analyses ont porté sur 3
6 indicateurs : avoir déjà eu une activité de soudage versus jamais ; la durée cumulée des activités
7 de soudage calculée comme la somme des durées Di des périodes où le sujet avait une activité de
8 soudage ; la durée cumulée pondérée par la fréquence de l'activité de soudage, calculée comme
9 la somme des produits Di x Fi, où Di est la durée de l'emploi i en années et Fi la fréquence du
10 soudage dans cet emploi, exprimée en proportion du temps de travail. Dans les analyses, des
11 ajustements ont été pratiqués sur l'âge et le lieu de résidence, le tabac, la consommation d'alcool
12 et l'exposition à l'amiante, ainsi que, pour le cancer du larynx, l'exposition professionnelle aux
13 acides forts. Des analyses similaires ont été faites pour différents types de procédés de soudage,
14 de traitements de nettoyage avant soudage et de métal soudé. Les résultats montrent que le
15 soudage était associé à une augmentation du risque de cancer de l'ensemble des voies aéro-
16 digestives supérieures (OR = 1,31 ; IC 95% 1,03-1,67). L'association était plus marquée pour le
17 cancer du larynx (OR = 1,66 ; IC 95% 1,15-2,38) et augmentait avec la durée d'exposition au
18 soudage. Une durée d'exposition cumulée et une durée d'exposition pondérée au soudage de plus
19 de 10 ans étaient associées à une augmentation significative du risque de cancer de la cavité
20 buccale (OR = 1,82, IC 95% 1,00-3,04 et OR = 2,10, IC 95% 0,99-4,45, respectivement). Le
21 soudage n'était pas associé au risque de cancer de l'oropharynx et de l'hypo-pharynx. Une longue
22 durée pondérée de soudage à l'arc était associée au cancer du larynx (OR = 2,42, IC 95% 1,27-
23 4,60) et une longue durée de soudage par point était associée au cancer de la cavité buccale (OR
24 = 3,47, IC 95% 1,27-9,48). L'utilisation d'acide pour nettoyer le métal avant soudage était associé
25 à une augmentation du risque de cancer de la cavité buccale (OR = 4,42, IC 95% 1,53-12,72) et
26 du larynx (OR = 4,53, IC 95% 1,73-11,89) ; aucune association n'a été observée pour les autres
27 traitements chimiques. Les résultats de cette étude de grande ampleur et de qualité indiquent que
28 le soudage (et le nettoyage acide du métal) augmente le risque de cancer du larynx et à un
29 moindre degré de cancer de la cavité buccale.

30 D'Errico *et al.* (D'Errico *et al.*, 2021) ont conduit une étude cas-témoins pour évaluer le rôle
31 d'expositions professionnelles sur le risque de cancers naso-sinusiens étudiés par type
32 histologique. Les cas incidents diagnostiqués entre 1996 et 2014 ont été recrutés dans la région
33 du Piémont à partir du registre régional des cancers naso-sinusiens. Parmi les 477 cas incidents
34 confirmés histologiquement, 102 cas (21%) ont été exclus (refus de participation, décès, non
35 retrouvés ou trop malades pour répondre), laissant 375 cas inclus dans l'analyse. Les témoins
36 recrutés entre 1998-2002 et 2010-2012 dans les services d'otorhinolaryngologie et d'orthopédie,
37 ont été appariés aux cas par classe d'âge (10 ans), sexe et province de résidence. Parmi les 435
38 témoins contactés, 27 ont été exclus (refus de participation, absence d'entretien) laissant 408
39 témoins dans les analyses. Les participants ont répondu en face à face à un questionnaire sur
40 leurs données personnelles (tabagisme) et les emplois occupés (description, fréquence et durée)
41 au cours de leur vie professionnelle. Les expositions à 17 agents (poussières, vapeurs et fumées,
42 produits chimiques utilisés) ont été évaluées par des enquêteurs entraînés (non en aveugle du
43 diagnostic) sur la base du questionnaire en termes de probabilité (4 niveaux) et d'intensité (4
44 niveaux) d'exposition. Les OR ont été calculés après ajustement sur l'âge, le sexe, le lieu de
45 résidence, le tabagisme et l'année d'inclusion. Les résultats obtenus confirment l'association des
46 cancers naso-sinusiens à l'exposition aux poussières de bois ou de cuir et au nickel et indiquent
47 que l'exposition aux solvants organiques, aux poussières de textiles et aux fumées de soudage
48 pourraient aussi être des facteurs de risque de ces cancers. S'agissant spécifiquement de
49 l'exposition aux fumées de soudage, l'OR pour une exposition par rapport à la non-exposition était
50 de 1,53 (IC 95% 0,92-2,54) pour l'ensemble des types histologiques. Après stratification par type
51 histologique, cette association n'était observée que pour les cancers épidermoïdes (OR = 2,80, IC
52 95% 1,47-5,36) mais pas pour les adénocarcinomes (OR 1,02, IC 95% 0,53-1,97). L'ajustement
53 sur les co-expositions aux agents associés aux cancers naso-sinusiens ne modifiait pas
54 l'association observée pour les cancers épidermoïdes (OR = 2,50, IC 95% 1,29-4,87). De plus,

1 pour ces cancers, une relation dose-réponse significative était observée avec l'exposition cumulée
2 aux fumées de soudage, exprimée en catégories (ORs expositions faible et forte : 2,39 (IC 95%
3 1,00 – 5,71) et 3,13 (IC 95% 1,29 – 7,61), respectivement) ou en exposition cumulée continue
4 (augmentation par année d'exposition, OR = 1,06 (IC 95% 1,01 – 1,11)). En excluant les sujets
5 exposés aux composés de chrome ou de nickel pour éliminer un possible confondant résiduel (dû
6 à la soudure d'acier inoxydable), l'association entre les cancers épidermoïdes et l'exposition aux
7 fumées de soudage (O/N) restait significative : OR = 2,39, IC 95% 1,20 – 4,77. Les experts du GT
8 notent que cette étude montre des résultats cohérents en faveur d'un risque élevé de cancers
9 épidermoïdes naso-sinusiens associé à une exposition aux fumées de soudage, qui devraient être
10 confirmés par d'autres études sur les cancers naso-sinusiens.

11 Pour évaluer l'impact des expositions professionnelles dans le risque de cancer du nasopharynx,
12 Chen et al. (Chen et al., 2021) ont conduit une étude cas-témoins multicentrique, en population
13 générale, dans le Sud de la Chine où l'incidence de ce cancer est la plus élevée au monde et où
14 prédomine la forme de carcinome indifférencié. Il est à noter que le cancer du nasopharynx, aussi
15 dénommé cancer du rhinopharynx ou du cavum, est un cancer épithélial qui se présente sous
16 plusieurs formes histologiques : carcinome différencié kératinisant, différencié non kératinisant et
17 indifférencié. Il est associé dans les zones à haute incidence à une infection par le virus d'Epstein
18 Barr (EBV) mais d'autres facteurs de risque ont été mis en évidence : le tabac et des expositions
19 professionnelles notamment aux poussières de bois et au formaldéhyde. 2514 cas incidents,
20 histologiquement confirmés, diagnostiqués entre 2010 et 2013, ont été inclus dans l'étude (taux de
21 participation 84%). 2586 témoins ont été sélectionnés au hasard sur les registres de population
22 des mêmes régions que les cas et appariés aux cas en fonction de l'âge (5 ans), du sexe et de la
23 région géographique (taux d'acceptation 83%). Les données personnelles (résidence, histoire
24 médicale, habitudes de consommation, tabac, alcool) ont été recueillies par questionnaire
25 (entretien face à face ou téléphonique) ainsi que l'histoire professionnelle depuis l'âge du premier
26 travail à temps plein. Pour chaque emploi exercé pendant au moins un an, le questionnaire a
27 recueilli le type d'emploi, sa durée et les expositions aux différents types de poussières, aux
28 vapeurs de produits chimiques, aux gaz d'échappement et aux fumées, aux acides et alcalis.
29 S'agissant spécifiquement de l'exposition aux fumées de soudage, les résultats de cette étude,
30 portant sur 116 cas et 94 témoins, ne donnent qu'une estimation globale (OR ajusté 1,35, IC 95%
31 (1,01-1,81)), sans détailler le type de fumées ou la durée d'exposition.

32 4.3.3 Synthèse des résultats

33 Le classement des fumées de soudage par le CIRC dans le Groupe 1 (cancérogène pour
34 l'Homme) reposait sur des preuves suffisantes de cancérogénicité chez l'Homme (preuves
35 suffisantes pour les cancers du poumon et preuves limitées pour les cancers du rein) (Guha et al.
36 2017).

37 Les résultats des études parues après la publication de ce classement sont globalement cohérents
38 avec ceux des études analysées dans la monographie (Iarc, 2018) et confirment le caractère
39 cancérogène de l'exposition aux fumées de soudage.

40 S'agissant du cancer du poumon, une méta-analyse (Honaryar et al., 2019), une étude de cohorte
41 (Michalek et al., 2019b) et une étude cas-témoins (Pesch et al., 2019) confortent la conclusion du
42 CIRC sur une augmentation du risque de cancer du poumon chez les soudeurs, attribuable à
43 l'exposition aux fumées de soudage et non explicables par des biais, d'autres expositions
44 concomitantes ou d'autres facteurs de risques (preuves suffisantes).

45 Les données épidémiologiques publiées après l'évaluation du CIRC (Michalek et al. (2019a) et
46 concernant le risque de cancer du rein associé à l'exposition professionnelle aux fumées de
47 soudage ne motivent pas, selon les experts du GT, de modification de l'évaluation des experts du
48 CIRC (preuves limitées).

1

2 Concernant les cancers des voies aéro-digestives supérieures, la monographie du CIRC (2018)
3 notait que le petit nombre de cas de cancers de la cavité buccale, du pharynx ou du larynx,
4 analysés dans les études ne permettaient pas de tirer des conclusions claires sur le rôle des
5 fumées de soudage dans l'incidence de ces cancers. S'agissant des cancers de la cavité buccale
6 et/ou de l'oropharynx, le CIRC avait analysé 5 études dont 4 rapportaient des OR proches de
7 l'unité pour des emplois reliés au soudage. La cinquième (Paget-Bailly et al., 2013) rapportait un
8 OR de 1,9 (IC 95% 1,1 - 3,3) pour les cancers de la cavité buccale, basé sur 19 cas qui avaient
9 travaillé comme soudeurs ou découpeurs à la flamme. S'agissant des cancers du larynx, le CIRC
10 avait analysé 10 études : 7 sur l'association avec un emploi de soudeur et 3 sur l'exposition aux
11 fumées de soudage. Des 7 études sur l'association avec un emploi de soudeur, 4 ont indiqué des
12 OR ≤ 1 , et 3 des OR > 1 , aucun n'étant significatif. Des 3 études sur l'exposition aux fumées, deux
13 ont indiqué des OR non significatifs de 1,3 et 1,56 (mais avec une tendance significative sur la
14 durée d'exposition) et la 3^{ème} des OR de 0,78 pour le soudage à l'arc et 0,89 pour le soudage au
15 gaz. Les experts du GT considèrent que l'étude cas-témoins récente de Barul rapportée ci-dessus
16 (Barul et al., 2020) est une étude de grande taille qui apporte des informations complémentaires
17 solides en faveur d'une association causale entre l'exposition aux fumées de soudage et les
18 risques du cancer du larynx (62 cas, associations significatives avec la durée et la durée pondérée
19 d'exposition : preuves suffisantes) et à un moindre degré de la cavité buccale (preuves limitées).

20 Enfin, pour les cancers naso-sinusiens, les études analysées dans la monographie avaient
21 rapporté des résultats non cohérents ne conduisant pas à une classification. La nouvelle étude
22 présentée (d'Errico et al., 2020) porte sur un nombre élevé de cas de ce cancer rare et constitue
23 un élément important en faveur d'un lien entre l'exposition aux fumées de soudage et les cancers
24 des fosses nasales et des sinus de type épidermoïde (preuves limitées).

25 Les experts du GT considèrent que les résultats rapportés pour les autres types de cancer (cancer
26 des voies urinaires, cancer du sein, gliome, cancer du pharynx, cancer du nasopharynx)
27 n'apportent pas d'informations nouvelles permettant d'éliminer le rôle de co-expositions ou de
28 facteurs de confusion dans les associations observées et ne sont pas susceptibles de modifier les
29 conclusions de la monographie du CIRC (preuves inadéquates).

4.4 Caractère cancérogène des fumées émises par d'autres procédés que les procédés de soudage

Afin d'investiguer la nécessité ou non d'étendre l'intitulé de l'entrée « travaux exposant aux fumées de soudage » à d'autres procédés pouvant générer des fumées similaires, une recherche bibliographique a été réalisée en mai 2021. Cette requête a été réalisée sur les deux bases de données (Scopus et Pubmed) sans limitation de date. Les mots clés utilisés étaient les suivants : Type de procédé considéré (voir tableau) AND worker OR occupational AND cancer OR carcinogen*. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 11 : Résultats recherche bibliographique pour les autres procédés

Requêtes	Traduction FR	Nombre de publications	
		Scopus (Title/Abs/Key)	Pubmed (Title/Abs)
Brazing	Brasage	1	0
Soldering	Brasage tendre	22	10
Thermal spray	Projection thermique	22	2
Gouging - Arc - Flame - Plasma	Gougeage à l'arc, à la flamme, plasma	8 0 0	0 0 0
Cutting - Arc - Flame - Plasma - Laser	Coupage à l'arc, à la flamme, plasma, laser	0 1 1 1	0 2 1 0
Hard facing Field welding Surfacing Building up Deposition welding	Rechargement ¹⁹	1 0 8 2 0	0 11 1 0 2

10

11 Une seule publication d'intérêt (non identifiée à partir de la requête sur les fumées de soudage) a
12 été obtenue avec la requête relative au brasage tendre. Aucune publication d'intérêt spécifique aux
13 autres types de procédés n'a été identifiée.

4.4.1 Cancer du sein

15 La relation entre l'exposition professionnelle aux produits chimiques et le risque de cancer du sein
16 a été étudiée dans une cohorte prospective de 47 640 femmes des USA et de Porto Rico
17 recrutées parmi les sœurs de femmes atteintes de cancer du sein, indemnes de cancer du sein à
18 l'inclusion et ayant déjà eu une activité professionnelle en dehors de la maison (Ekenga et al.,

¹⁹ [2015 10 12 2015-862-317dd.pdf \(academiepro.com\)](https://www.academiepro.com/2015/10/12/2015-862-317dd.pdf)

1 2015 – Sister Study, étude antérieure à la monographie 118 du CIRC mais non analysée par le
2 CIRC). Les expositions à onze agents (acides, colorants ou encres, essence ou produits pétroliers,
3 colles ou adhésifs, huiles lubrifiantes, métaux, peintures, pesticides, matériaux de brasage tendre,
4 solvants et teintures ou vernis) ont été évaluées en termes de fréquence et durée à l'entrée dans
5 la cohorte par un entretien téléphonique. Au cours du suivi de 5,2 ans en moyenne, 1 966 cas de
6 cancer du sein incidents ont été observés dans la cohorte. S'agissant spécifiquement de
7 l'exposition aux matériaux de brasage tendre, 48 femmes ont rapporté y avoir été exposées au
8 moins une fois par semaine dans un emploi. L'exposition aux matériaux de brasage tendre n'était
9 pas associée au risque de cancer du sein dans les analyses portant sur l'ensemble des femmes,
10 en fonction de la durée d'exposition ou selon le statut hormonal des tumeurs mais une association
11 significative était observée chez les femmes en pré-ménopause (HR (hazard ratio) = 1,8, IC 95% :
12 1,1–3,0).

13 Les experts du GT notent que ce résultat, obtenu pour un faible nombre de tumeurs, mériterait
14 d'être confirmé par d'autres études. Ils notent également la définition imprécise de l'exposition aux
15 matériaux de brasage tendre issue d'un questionnaire réalisé par téléphone.

16 4.4.2 Synthèse des résultats

17 Une seule étude épidémiologique a été identifiée spécifiquement pour l'analyse des effets
18 cancérogènes chez des travailleurs mettant en oeuvre des techniques connexes. Cette étude ne
19 permet pas de conclure sur le rôle du brasage tendre dans l'apparition de cas de cancers du sein
20 chez les femmes en pré-ménopause.

21 De plus, il est à noter que certaines études identifiées dans le cadre de la requête bibliographique
22 sur les fumées de soudage se sont également intéressées aux techniques connexes, telles que
23 celles menées par Pesch *et al.* de 2019 (découpage au chalumeau, projection thermique) et Barul
24 *et al.* de 2020 (brasage, oxycoupage).

25

26

27

5 Conclusion

Périmètre de l'expertise

La demande émanant de la DGT portait sur la justification de l'inclusion des travaux exposant aux fumées de soudage dans l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes qui permet notamment de transposer en droit français l'annexe I de la directive 2004/37/UE. Pour pouvoir être inclus dans l'arrêté, une substance, un mélange ou un procédé doit répondre aux critères de classification des agents cancérogènes dans les catégories 1A et 1B définis dans le règlement CLP ou à des critères pouvant être jugés équivalents à ces derniers. Il est à souligner que l'objectif de cette expertise n'était pas d'évaluer en détail les données de cancérogénicité au regard des critères de classification selon le règlement CLP mais de s'appuyer sur des évaluations de la cancérogénicité pré-existantes.

L'expertise du présent rapport concerne les travaux exposant aux fumées de soudage. Les activités et procédés étudiés ont été limités aux procédés émettant des fumées métalliques. Ainsi le soudage, le brasage ou autres opérations sur des matières plastiques n'ont pas été traités dans le cadre de cette expertise. De plus, concernant le brasage tendre sur pièces métalliques, les fumées dégagées sont très pauvres en composés particuliers métalliques compte-tenu des faibles températures atteintes se situant entre 180°C et 250°C.

En ce qui concerne la problématique des rayonnements UV émis par les procédés de soudage, le groupe de travail n'a pas souhaité les traiter dans cette expertise qui porte sur les expositions aux fumées de soudage et non des expositions aux travaux de soudage de façon globale.

Cancérogénicité des fumées de soudage

Description de la méthodologie mise en œuvre

Le groupe de travail a interrogé les travaux des différents organismes évaluant la cancérogénicité d'agents chimiques Parmi les différents organismes consultés (règlement CLP, CIRC, US EPA, NTP, ACGIH®), seul le CIRC (unique organisme évaluant les effets cancérogènes de procédés) a évalué les fumées de soudage qui ont fait l'objet de deux monographies (IARC, 1990 & 2018). Ces évaluations prennent en compte les effets cancérogènes rapportés chez l'Homme et dans les études expérimentales sur animaux, la pertinence du mécanisme d'action et la qualité du jeu de données disponibles (seules les données publiques sont considérées). Alors qu'elles avaient été classées comme cancérogènes possibles pour l'Homme (groupe 2B) en 1989, un nouvel examen des données en 2017 a conduit le CIRC à classer les fumées de soudage, dans sa monographie 118, dans le groupe 1 (cancérogène pour l'Homme), sur la base de preuves suffisantes de cancérogénicité chez l'Homme (preuves suffisantes pour les cancers du poumon et preuves limitées pour les cancers du rein) et de preuves de cancérogénicité limitées chez l'animal (fumées de soudage d'acier inoxydable) (Guha et al., 2017). D'après un travail d'équivalence de différents systèmes de classification des agents cancérogènes réalisé à l'Anses, le groupe 1 du CIRC est jugé équivalent à la catégorie 1A du CLP (Farion, 2019). Le groupe de travail s'est donc appuyé sur cette classification en groupe 1 du CIRC des fumées de soudage pour conclure et établir ses recommandations.

Le groupe de travail a réalisé une recherche bibliographique afin de tenir compte des éventuelles données publiées après les conclusions rendues par le CIRC dans son évaluation de 2018 sur les propriétés cancérogènes des fumées de soudage. Le CIRC ayant conclu à une preuve de cancérogénicité suffisante chez l'Homme, la recherche bibliographique menée par l'Anses s'est focalisée sur l'actualisation des données épidémiologiques.

1 Analyse et résultats

2 Depuis la monographie de 2018 du CIRC, sont parues dans la littérature épidémiologique, 9
3 nouvelles publications jugées d'intérêt : une méta-analyse (Honaryar *et al.*, 2019), une étude de
4 cohorte (Michalek *et al.*, 2019b) et sept études cas-témoins (Parent *et al.*, 2017, Michalek *et al.*,
5 2019a, Pesch *et al.*, 2019, Talibov *et al.*, 2019, Barul *et al.*, 2020, d'Errico *et al.*, 2021, Chen *et al.*
6 2021). L'analyse des résultats de ces études, menée par l'Anses, montre qu'ils sont globalement
7 cohérents avec ceux des études analysées dans la monographie du CIRC (Iarc, 2018) et
8 confirment le caractère cancérogène des fumées de soudage.

9 S'agissant du cancer du poumon, la méta-analyse d'Honaryar *et al.* (Honaryar *et al.*, 2019), l'étude
10 de cohorte de Michalek *et al.* (Michalek *et al.*, 2019b) et l'étude cas-témoins de Pesch *et al.* (Pesch
11 *et al.*, 2019) confortent la conclusion du CIRC quant à une augmentation du risque de cancer du
12 poumon chez les soudeurs, attribuable à l'exposition aux fumées de soudage et non explicable par
13 des biais, d'autres expositions concomitantes ou d'autres facteurs de risques (preuves
14 suffisantes).

15 L'analyse, menée par l'Anses, des données épidémiologiques publiées après l'évaluation de 2018
16 du CIRC et concernant le risque de cancer du rein associé à l'exposition professionnelle aux
17 fumées de soudage ne motive pas de modification de l'évaluation des experts du CIRC (preuves
18 limitées).

19 Concernant les cancers des voies aéro-digestives supérieures, la monographie de 2018 du CIRC
20 notait que le petit nombre de cas de cancers de la cavité buccale, du pharynx ou du larynx,
21 analysés dans les études ne permettaient pas de tirer des conclusions claires sur le rôle des
22 fumées de soudage dans l'incidence de ces cancers. Le groupe de travail de l'Anses considère
23 que l'étude cas-témoins récente de Barul *et al.* (Barul *et al.*, 2020) apporte des informations
24 complémentaires solides en faveur du caractère causal de l'association entre l'exposition aux
25 fumées de soudage et le cancer du larynx (preuves suffisantes) et à un moindre degré de la cavité
26 buccale (preuves limitées).

27 Enfin, pour les cancers naso-sinusiens, les études analysées dans la monographie de 2018
28 avaient rapporté des résultats non cohérents. L'étude de d'Errico *et al.* (d'Errico *et al.*, 2020) porte
29 sur un nombre élevé de ce cancer rare et constitue un élément important en faveur d'un lien entre
30 l'exposition aux fumées de soudage et les cancers naso-sinusiens de type épidermoïde (preuves
31 limitées).

32 Les résultats rapportés pour les autres types de cancer (cancer des voies urinaires, cancer du
33 sein, gliome, cancer du pharynx, cancer du nasopharynx) n'apportent pas, selon le groupe de
34 travail de l'Anses, d'informations nouvelles permettant d'éliminer le rôle de co-expositions ou de
35 facteurs de confusion dans les associations observées et ne sont pas de nature à modifier les
36 conclusions de la monographie du CIRC (preuves inadéquates).

37 Il est à noter que les expositions aux fumées de soudage n'ont, en général, pas été mesurées
38 directement dans ces études mais évaluées indirectement à l'aide, par exemple, de questionnaires
39 sur les activités professionnelles. Le fait que les fumées de soudage constituent la principale
40 source d'exposition des soudeurs et qu'elles contiennent des substances cancérogènes conforte la
41 conclusion que le risque de cancers chez les soudeurs est lié à leur exposition. De plus, les
42 augmentations de risque de cancers pulmonaires et laryngés, rapportées dans les études
43 épidémiologiques n'ont pas pu être expliquées par des expositions concomitantes et sont donc
44 attribuables aux fumées de soudage selon le groupe de travail de l'Anses.

45 La majorité des études ne rapportent que l'intitulé de la profession ou la tâche de travail sans plus
46 d'informations sur la technique de soudage mise en œuvre. Il n'est donc pas possible d'imputer
47 spécifiquement l'apparition de cancer à un type de procédé de soudage, aux types de métaux
48 soudés ou à la méthode de traitement de la surface à souder mise en œuvre.

1 Afin d'investiguer le caractère cancérogène de procédés pouvant générer des fumées similaires,
2 une recherche bibliographique a été réalisée sur des techniques connexes. Une seule publication
3 d'intérêt a été obtenue avec la requête relative au brasage tendre. L'étude de cohorte menée par
4 Ekenga *et al.* (Ekenga *et al.*, 2015) rapporte une association significative entre l'exposition aux
5 matériaux de soudure et le risque de cancer du sein, uniquement chez les femmes en pré-
6 ménopause. Le groupe de travail de l'Anses note que ce résultat, obtenu pour un faible nombre de
7 tumeurs, mériterait d'être confirmé par d'autres études. Par ailleurs, deux autres études, celles de
8 Pesch *et al.* (2019) et de Barul *et al.* (2020), citées au dessus, se sont également intéressées à
9 certaines techniques connexes (découpage au chalumeau, projection thermique, brasage et
10 oxycoupage).

11

12 **Travaux exposant à des fumées de soudage ou à des fumées métalliques de procédés** 13 **connexes**

14 L'assemblage à chaud est la technique la plus répandue exposant aux fumées de soudage. Il
15 regroupe différents procédés comme le soudage ou le brasage et est à distinguer d'autres
16 techniques d'assemblage telles que le collage ou l'assemblage mécanique. D'autres procédés
17 (dont le brasage fort, mais également le coupage, le gougeage, la projection thermique, etc.),
18 peuvent également émettre des fumées métalliques et ainsi exposer les professionnels. De
19 nombreuses techniques de soudage existent actuellement et le choix de la mise en œuvre d'une
20 technique ou d'une autre se fait selon les caractéristiques des matériaux à souder et la qualité
21 finale de soudage désirée. Parmi les différents procédés de soudage existants, le procédé MIG-
22 MAG semble être en 2021 celui le plus utilisé en France, suivi de près par le procédé TIG et le
23 procédé avec électrode enrobée. Les procédés sous flux en poudre (plutôt en chaudronnerie) et le
24 soudage par résistance par points semblent être également régulièrement mis en œuvre en
25 France mais de façon moins importante que les procédés pré-cités²⁰.

26 De nombreux professionnels appartenant à des secteurs d'activités variés sont amenés à réaliser
27 des travaux de soudage, sans que cela constitue par ailleurs leur activité principale et peuvent
28 notamment être exposés aux fumées de soudage. Par ailleurs, différents corps de métiers peuvent
29 être exposés à des fumées de soudage de façon indirecte ou passive, de par leur présence à
30 proximité de personnes effectuant des opérations de soudage, sans toutefois eux mêmes en
31 réaliser.

32 La diversité des procédés de soudage est un élément important à considérer dans l'évaluation des
33 expositions des professionnels car il est rare qu'un soudeur mette en œuvre une seule technique
34 de soudage durant sa carrière professionnelle. Par ailleurs, il faut souligner que la composition et
35 la quantité de fumées émises auxquelles sont exposés les soudeurs diffèrent en fonction de
36 nombreux paramètres : types de procédés et d'électrodes mis en œuvre, composition des pièces à
37 souder et des produits d'apport, paramètres de soudage (intensité, tension, débit et composition
38 des gaz protecteurs...), etc.

39 Les fumées de soudage sont composées d'une phase gazeuse (différents gaz tels que les oxydes
40 d'azote, le monoxyde et le dioxyde de carbone, le fluorure d'hydrogène, l'ozone...) et d'une phase
41 particulaire (principalement particules de métaux et d'oxydes métalliques dont des cancérogènes
42 connus tels que des composés du nickel, du chrome VI..., ainsi que de silicates et de fluorures
43 issus des flux). Elles sont générées en premier lieu par les températures élevées nécessaires à la
44 fusion du métal inhérentes aux différents procédés de soudage. Ces particules sont mélangées à
45 de l'air et des gaz chauds qui forment un nuage ascendant. 95% des constituants des fumées de
46 soudage proviennent des produits d'apport et moins de 5% sont issus du matériau de base.

²⁰ Communication de M. Scandella de l'Institut de soudure

1 Des techniques connexes, à l'exclusion du brasage tendre, sont également émissives de fumées
2 métalliques similaires à celles issues des procédés de soudage.

3

4 **Conclusion**

5 Au regard de ces éléments, le groupe de travail de l'Anses propose **d'ajouter à l'arrêté l'intitulé**
6 **suivant : « les travaux exposant aux fumées de soudage ou aux fumées métalliques de**
7 **procédés connexes notamment le brasage fort, le gougeage, l'oxycoupage, la projection**
8 **thermique, le rechargement »**. Cet intitulé permet de considérer non seulement les
9 professionnels exposés aux fumées de soudage mais également ceux exposés aux fumées
10 métalliques de procédés connexes dont la composition en agents cancérogènes s'avère similaire à
11 celle des fumées de soudage. Cet intitulé permet également de prendre en compte les travailleurs
12 amenés à avoir des activités exposant à des fumées métalliques de soudage ou de procédés
13 connexes de façon habituelle sans être directement répertoriés comme soudeurs ainsi que les
14 travailleurs **exposés de façon indirecte**.

15 Enfin, il faut souligner que cette expertise s'est intéressée uniquement au caractère cancérogène
16 des fumées métalliques mais que les fumées de soudage métalliques peuvent aussi présenter
17 d'autres effets sur la santé qui doivent être également pris en compte pour la prévention des
18 risques professionnels. Elles peuvent en effet induire des effets respiratoires aigus (irritation des
19 voies aériennes, fièvre des métaux, etc.), des effets respiratoires chroniques (pneumoconioses,
20 asthmes, bronchites, etc.) et des affections au niveau du rein et du système nerveux central (INRS
21 : ED6132).

22

23

24

25

26

27

28

6 Recommandations

Au vu des éléments présentés dans le rapport, le GT émet des recommandations relatives à :

- la mise à jour de l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes (voire de l'annexe I de la directive 2004/37/UE) ;
- la protection et la sensibilisation des professionnels potentiellement exposés aux fumées métalliques cancérogènes ;
- l'amélioration des connaissances sur le risque cancérogène lié à une exposition à des fumées métalliques.

Afin de mettre à jour l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes, le GT recommande d'ajouter à l'arrêté :

les travaux exposant aux fumées de soudage ou aux fumées métalliques de procédés connexes notamment le brasage fort, le gougeage, l'oxycoupage, la projection thermique, le rechargement.

Afin de protéger et de sensibiliser les professionnels potentiellement exposés aux fumées métalliques cancérogènes, le GT recommande :

- conformément aux dispositions du code du travail,
 - de réaliser **au moins annuellement** une évaluation du risque de cancérogénicité pour les différents personnels impliqués afin de mettre en œuvre les moyens de prévention et de protection adéquats ;
 - de mettre en place un suivi des expositions des professionnels notamment par une surveillance métrologique atmosphérique et par la réalisation d'une surveillance biologique des expositions et de développer les outils associés.
- de sensibiliser au risque cancérogène les personnels exposés de façon directe et indirecte.

Afin d'améliorer les connaissances sur le risque cancérogène lié à l'exposition aux fumées métalliques, le GT recommande :

- de mener des études épidémiologiques sur le risque de cancers, notamment les cancers autres que cancers broncho-pulmonaires, lié à l'exposition aux fumées métalliques y compris chez les professionnels mettant en œuvre des techniques connexes.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19

Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail [et par le comité d'experts spécialisé s'il n'y a pas de synthèse du CES en 1^{ère} partie] : jour mois année

[La version papier signée par les président du GT et du CES est gardée dans le dossier d'archives de la saisine]

7 Bibliographie

- 1
- 2 Annecy Santé au Travail. 2009. Soudage.
- 3 Anses. 2018. "Note d'appui scientifique et technique de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de
4 l'alimentation, de l'environnement et du travail, relative à l'identification de nouveaux procédés à inscrire à
5 l'arrêté du 5 janvier 1993 fixant la liste des substances, préparations et procédés cancérogènes: Analyse du
6 caractère cancérogène de quatre procédés identifiés par la Direction générale du travail en vue d'une
7 inclusion dans l'arrêté de 1993 fixant la liste des substances, préparations et procédés cancérogènes."
8 Maisons-Alfort: Anses. 35p.
- 9 Assurance maladie – Risques professionnels, Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention
10 des accidents du travail et des maladies professionnelles. 2015. Soudage/ brasage des métaux. Fiche d'aide
11 au repérage (FAR) n°15. <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=FAR%2015>
- 12 Barul C., M Matrat, A Auguste, J Dugas, L Radoï, G Menvielle, J Févotte, A-V Guizard, I Stücker, D Luce,
13 ICARE study group. 2020. "Welding and the risk of head and neck cancer: the ICARE study." *Occup Environ
14 Med* 77:293–300.
- 15 Baker MG, Stover B, Simpson CD, Sheppard L, Seixas NS (2016). Using exposure windows to explore an
16 elusive biomarker: blood manganese. *Int Arch Occup Environ Health*, 89(4):679–87. doi:10.1007/s00420-
17 015-1105-3 PMID:26589320
- 18 Benoît, A. 2015. Soudage à l'arc semi-automatique (MIG/MAG). Techniques de l'Ingénieur. Référence : BM
19 7732 V2.
- 20 Berlinger, B; Weinbruch, S; Ellingsen, Dag G. ; Zibarev, E; Chashchin, V; Chashchin, M; Thomassen, Y.
21 2019. On the bio-accessibility of 14 elements in welding fumes. *Environmental Science: Processes &
22 Impacts*
- 23 Bienvenu, Y. 2010. Assemblage par diffusion (soudage ou brasage). Techniques de l'Ingénieur. Référence :
24 BM 7747 V1.
- 25 CANJEM (2017). CANJEM Occupational Exposure Information System. Available from: www.canjem.ca.
- 26 Cazes, R. 1985. Soudage à l'arc. Soudage au plasma et autres procédés. Techniques de l'Ingénieur.
27 Référence : B616P5 V1.
- 28 Cazes, R. 1990. Soudage à l'arc. Soudage sous flux en poudre. Techniques de l'Ingénieur. Référence :
29 B616P2 V1.
- 30 Cazes, R. 1993. Soudage par résistance. Techniques de l'Ingénieur. Référence : B 7720 V1.
- 31 Cazes, R. 2001. Soudage laser. Faisceaux lasers de puissance. Techniques de l'Ingénieur. Référence : BM
32 7742 V1
- 33 Cazes, R. 2003. Soudage par friction – malaxage. Techniques de l'Ingénieur. Référence : BM 7746 V1
- 34 Cazes, R. 2017. Soudage à l'arc. Techniques de l'Ingénieur. Référence : BM 7730 V1. Première publication :
35 10 août 1995.
- 36 Cook MB, Guenel P, Gapstur SM, van den Brandt PA, Michels KB, Casagrande JT., et al. Tobacco and
37 alcohol in relation to male breast cancer: an analysis of the male breast cancer pooling project consortium.
38 *Cancer Epidemiol Biomark Prev* 2015;24(3):520e31.
- 39 Descotes, J ; Payen, C ; Pulce, C ; Testud, F ; Vial, T. 2009. Vigitox n°41. Centre Antipoison – Centre de
40 Pharmacovigilance. [http://vigitox.cap-
41 lyon.fr/system/revues/pdfs/000/000/041/original/Vigitox_41.pdf?1407245573](http://vigitox.cap-lyon.fr/system/revues/pdfs/000/000/041/original/Vigitox_41.pdf?1407245573)
- 42 Chen Y, Chang ET, Liu Q, Cai Y, Zhang Z, Chen G, Huang QH, Xie SH, Cao SM, Jia WH, Zheng Y, Li Y, Lin
43 L, Ernberg I, Wang D, Chen W, Feng R, Huang G, Zeng YX, Adami HO, Ye W. Occupational exposures and
44 risk of nasopharyngeal carcinoma in a high-risk area: A population-based case-control study. *Cancer*. 2021
45 Aug 1;127(15):2724-2735. doi: 10.1002/cncr.33536. Epub 2021 Apr 6. PMID: 33823062.
- 46 Commission Européenne. 2008. Règlement (CE) n° 1272/2008 du parlement européen et du conseil du 16
47 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges,

- 1 modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n°1907/2006.
2 ed. Union Européenne: Journal officiel de l'Union Européenne.
- 3 d'Errico, A., J Zajacova, A Cacciatore, S Alfonso, F Beatrice, F Ricceri et G Valente. 2020. "Exposure to
4 occupational hazards and risk of sinonasal epithelial cancer: results from an extended Italian case-control
5 study." *Occup Environ Med*. 2020 Oct 28;oemed-2020-106738. doi: 10.1136/oemed-2020-106738. Online
6 ahead of print.
- 7 Dares. 2013. Les expositions aux produits chimiques cancérogènes en 2010. Dares analyses n°054.
8 <https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/pdf/2013-054-2.pdf>
- 9 Dong S, Jiang F, Xu B et Chen S. Influence of Polarity Arrangement of Inter-Wire Arc on Droplet Transfer in
10 Cross-Coupling Arc Welding. *Materials* 2019, 12, 3985; 13 pages.
- 11 Dunn JE Jr, Linden G, Breslow L (1960). Lung cancer mortality experience of men in certain occupations in
12 California. *Am J Public Health Nations Health*, 50(10):1475–87. doi:10.2105/AJPH.50.10.1475
13 PMID:13725049
- 14 Ecole polytechnique. 2010.Les plasmas. La lettre scientifique de l'Ecole Polytechnique n°12.
15 <https://gargantua.polytechnique.fr/siatel-web/app/linkto/mlCYYXeyY6>
- 16 Ekenga, CC., CG Parks et DP Sandler. 2015. "Chemical exposures in the workplace and breast cancer risk:
17 A prospective cohort study." *Int J Cancer* 137: 1765–1774.
- 18 Farion, N. 2019.Comparaison des systems de classification des agents cancérogènes : causes de
19 divergences et propositions d'équivalences. Thèse de Pharmacie. Non publique.
- 20 Guha, N., Loomis, D., Guyton, K., Grosse, Y., El Ghissassi, F., Bouvard, V., Benbrahim-Tallaa, L., Vilahur,
21 N., Muller, K., Straif, K. 2017. Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indium tin oxide. IARC
- 22 Honaryar, M.K., R M Lunn, D Luce, W Ahrens, A 't Manneetje, J Hansen, L Bouaoun, D Loomis, G Byrnes, 1
23 N Vilahur, L Stayner et N Guha. 2019. "Welding fumes and lung cancer: a meta-analysis of case-control and
24 cohort studies." *Occup Environ Med* 76:422–431.
- 25 Hong Y, Chang B, Peng G, Yuan Z, Hou X, Xue B and Du D. In-Process Monitoring of Lack of Fusion in Ultra-
26 Thin Sheets Edge Welding Using Machine Vision. *Sensors* 2018, 18, 18 pages
- 27 Hygiène et sécurité du travail. 2014. Projection thermique : Etat des lieux en 2012. Hygiène et sécurité au
28 travail n°236. INRS
- 29 Iarc. 1990. Chromium, Nickel and Welding. Volume 49. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic
30 risks to humans vol. 49. Lyon: IARC
- 31 Iarc. 2012. Arsenic, Metals, Fibres, and Dusts. Volume 100C, IARC monographs on the evaluation of
32 carcinogenic risks to humans vol. 100C. Lyon: IARC.
- 33 Iarc. 2018. Welding, Molybdenum Trioxide, and Indium Tin Oxide. Volume 118, IARC monographs on the
34 evaluation of carcinogenic risks to humans vol. 118. Lyon: IARC.
- 35 Institut de soudure. Le soudage laser. Article communiqué par l'Institut de soudure en 2021. *Revue Soudage
36 et Techniques Connexes*. Mai - Juin 2010.
- 37 Institut de soudure. Le soudage plasma. Article communiqué par l'Institut de soudure en 2021. *Revue
38 Soudage et Techniques Connexes*.
- 39 Institut de soudure. Le soudage sous flux en poudre. Article communiqué par l'Institut de soudure en 2021.
40 *Revue Soudage et Techniques Connexes*.
- 41 Institut de soudure. Le soudage TIG. Article communiqué par l'Institut de soudure en 2021. *Revue Soudage
42 et Techniques Connexes*.
- 43 Institut de soudure. Un tour d'horizon du rechargement dur. Article communiqué par l'Institut de soudure en
44 2021. *Revue Soudage et Techniques Connexes*.
- 45 Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies
46 professionnelles. 2011. Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées. Fiche pratique de sécurité ED
47 83. INRS
- 48 Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies
49 professionnelles. 2014. Opérations de soudage à l'arc et de coupage. Guide pratique de ventilation n°7 ED
50 668
- 51 Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies
52 professionnelles. 2016. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. Aide-
53 Mémoire Technique, ED 984, 37 p.

- 1 Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies
2 professionnelles. 2017. Champs électromagnétiques. ED 4219.
- 3 Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies
4 professionnelles. 2020. Webinaire – Fumées de soudage : risques pour la santé et prévention ;
5 <https://www.inrs.fr/footer/actes-evenements/webinaire-fumees-soudage.html> (INRS 2020 a)
- 6 Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies
7 professionnelles. 2020. Le brasage tendre. Fiche pratique de sécurité ED 122. INRS
8 <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20122>
- 9 Kendzia, B; Koppisch, D; Van Gelder, R; Gabriel, S; Zschiesche, W; Behrens, T; Brüning, T; Pesch, B. 2019.
10 Modelling of exposure to respirable and inhalable welding fumes at German workplaces.
- 11 Kirichenko, K.Yu. ; Agoshkov, A. I ; Drozd, V. A; Gridasov, A. V; Kholodov, A. S.; Kobylyakov, S. P. ;
12 Kosyanov, D ; Zakharenko, Yu. A. M ; Karabtsov, A. A ; Shimanskii, S. R ; Stratidakis, A. K ; Mezhuiev, Ya.
13 O ; Tsatsakis, A. M ; Golokhvast, 1 & K. S. 2018. Characterization of fume particles generated during arc
14 welding with various covered electrodes. Scientific Reports. DOI:10.1038/s41598-018-35494-1
- 15 Knudsen LE, Boisen T, Christensen JM, Jelnes JE, Jensen GE, Jensen JC, et al. (1992). Biomonitoring of
16 genotoxic exposure among stainless steel welders. *Mutat Res*, 279(2):129– 43. doi:10.1016/0165-
17 1218(92)90255-X PMID:1375338
- 18 Lehnert M, Weiss T, Pesch B, Lotz A, Zilch-Schöneweis S, Heinze E, et al.; WELDOX Study Group (2014).
19 Reduction in welding fume and metal exposure of stainless steel welders: an example from the WELDOX
20 study. *Int Arch Occup Environ Health*, 87(5):483–92. PMID:23719851
- 21 Matinet, B., E. Rosankis, et M. Léonard. 2020. "Enquête SUMER 2017 : Les expositions aux risques
22 professionnels - Les produits chimiques." : DARES. 323.
- 23 Michalek, I.M., J-I Martinsen, E Weiderpass, J Hansen, P Sparen, L Tryggvadottir et E Pukkala, 2019a.
24 « Heavy metals, welding fumes, and other occupational exposures, and the risk of kidney cancer: A
25 population-based nested case-control study in three Nordic countries." *Environmental Research* 173: 117–
26 123
- 27 Michalek, I.M., J-I Martinsen, E Weiderpass, K Kjaerheim, P Sparen, L Tryggvadottir et E Pukkala, 2019b.
28 "Occupation and risk of cancer of the renal pelvis in Nordic countries." *BJU International* 123: 233–238
- 29 Moreau, B., Grzebyk, M. 2009. Point de repères : Utilisation des machines automatiques de découpe des
30 métaux par oxycoupage, plasma et laser. *Hygiène et sécurité au travail*. PR 42 – 217. Institut national de
31 recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS).
- 32 Noël, L. 1984. Constructions soudées, brasage. *Techniques de l'Ingénieur*. Référence : B5195 V1.
- 33 Norme EN ISO 4063. 2011. Soudage et techniques connexes – Nomenclature et numérotation des
34 procédés.
- 35 Norme NF EN 481. 1993. Atmosphères des lieux de travail - Définition des fractions de taille pour le
36 mesurage des particules en suspension dans l'air.
- 37 NTP. 2016. "National Toxicology Program: 14th Report on Carcinogens." U.S. Department of Health and
38 Human Services, Dernière mise à jour 27 mai 2021. Consulté le Avril 2021.
39 <https://ntp.niehs.nih.gov/go/roc14>.
- 40 Paget-Bailly S, Guida F, Carton M, Menvielle G, Radoï L, Cyr D, et al. (2013). Occupation and head and
41 neck cancer risk in men: results from the ICARE study, a French population-based case-control study. *J*
42 *Occup Environ Med*, 55(9):1065–73.
- 43 Paillard, P. 2014. Procédés de soudage – Introduction. *Techniques de l'Ingénieur*. Référence : BM 7700 V1
- 44 Paillard, P. 2017. TIG : soudage à l'arc sous protection gazeuse avec électrode non fusible. *Techniques de*
45 *l'Ingénieur*. Référence : BM 7733 V1
- 46 Paillard, P. 2019. Soudage à l'arc à l'électrode enrobée. *Techniques de l'Ingénieur*. Référence : BM 7734 V1
- 47 Parent, M-E., M C. Turner, J Lavoué, H Richard, J Figuerola, L Kincl, L Richardson, G Benke, M Blettner, S
48 Fleming, M Hours, D Krewski, D McLean, S Sadetzki, K Schlaefer, B Schlehofer, J Schüz, J Siemiatycki, M
49 van Tongeren et E Cardis. 2017. "Lifetime occupational exposure to metals and welding fumes, and risk of
50 glioma: a 7-country population-based case-control study." *Environmental Health* DOI 10.1186/s12940-017-
51 0300-y

- 1 Persoons R, Arnoux D, Monssu T, Culié O, Roche G, Duffaud B, et al. (2014). Determinants of occupational
2 exposure to metals by gas metal arc welding and risk management measures: a biomonitoring study. *Toxicol*
3 *Lett*, 231(2):135–41. doi:10.1016/j.toxlet.2014.09.008 PMID:25223250
- 4 Pesch, B; Lehnert, M; Weiss, T; Kendzia, B; Menne, E; Lotz, A; Heinze, E; Behrens, T; Gabriel, S;
5 Schneider, W and Brüning, T. 2018. Exposure to hexavalent chromium in welders: Results of the WELDOX II
6 field study;
- 7 Pesch, B., B Kendzia, H Pohlabein, W Ahrens, H-E Wichmann, J Siemiatycki, D Taeger, W Zschiesche, T
8 Behrens, K-H Jöckel et T Brüning. 2019. "Exposure to Welding Fumes, Hexavalent Chromium, or Nickel and
9 Risk of Lung Cancer." *Am J Epidemiol* 188(11):1984–1993
- 10 Proner, A. 1999. Revêtements par projection thermique. Techniques de l'Ingénieur. Référence : M1645 V2.
- 11 Ricaud, M. 2018. Les fumées de soudage et des techniques connexes. INRS. ED 6132 Aide mémoire
12 technique.
- 13 Riccelli, M G ; Goldoni, M ; Poli, D ; Mozzoni, P ; Cavallo, D ; Corradi, M. 2020. Welding fumes, a Risk factor
14 for lung disease. *International Journal of Environmental Research and Public Health*.
15 doi:10.3390/ijerph17072552
- 16 Rocardier. 2017. Le rechargement par soudage. <https://www.rocdacier.com/le-rechargement-par-soudage/>
- 17 Savary, B. 2014. Panorama de la projection thermique en France : résultats de l'enquête 2012. Note
18 scientifique et technique NS 326. Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des
19 accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS).
- 20 Scandella, F ; Gutschmidt, A. 2020. Exposition aux fumées de soudage : tour d'horizon et dernières
21 évolutions réglementaires. Présentation webinaire du 21 avril 2020.
- 22 Shigeta M, Tanaka M et Ghedini E. Numerical Analysis of the Correlation between Arc Plasma Fluctuation
23 and Nanoparticle Growth–Transport under Atmospheric Pressure. *Nanomaterials* 2019, 9, 1736; 13 pages
- 24 Symop.Chapitre 1 Les matériels de soudage et de coupage les plus courants. [https://www.symop.com/wp-](https://www.symop.com/wp-content/uploads/2018/04/chapitre_1light.pdf)
25 [content/uploads/2018/04/chapitre_1light.pdf](https://www.symop.com/wp-content/uploads/2018/04/chapitre_1light.pdf)
- 26 Talibov ,M; J Hansen, S Heikkinen, J-I Martinsen, P Sparen, L Tryggvadottir, E Weiderpass et E Pukkala.
27 2019. "Occupational exposures and male breast cancer: A nested case-control study in the Nordic
28 countries." *The Breast* 48: 65-7
- 29 US EPA. "Integrated Risk Information System (IRIS) Database." U.S. Environmental Protection Agency
30 Accessed 2021. <https://www.epa.gov/iris>.
- 31 Vignardet, L. 1993. Soudage à la flamme. Techniques de l'Ingénieur. Référence : BM 7710 V1.
- 32 Wallace M, Shulman S, Sheehy J (2001). Comparing exposure levels by type of welding operation and
33 evaluating the effectiveness of fume extraction guns. *Appl Occup Environ Hyg*, 16(8):771–9.
34 doi:10.1080/10473220117155 PMID:11504352
- 35 Weiss T, Pesch B, Lotz A, Gutwinski E, Van Gelder R, Punkenburg E, et al.; WELDOX Group (2013). Levels
36 and predictors of airborne and internal exposure to chromium and nickel among welders—results of the
37 WELDOX study. *Int J Hyg Environ Health*, 216(2):175–83. doi:10.1016/j.ijheh.2012.07.003 PMID:22926021
- 38 Weman, K. 2012. Procédés de soudage. L'Usine Nouvelle. Dunod. [http://www.melody-in-](http://www.melody-in-blues.org/downloads/Feuilleteage.pdf)
39 [blues.org/downloads/Feuilleteage.pdf](http://www.melody-in-blues.org/downloads/Feuilleteage.pdf)
- 40 Weman, K. 2020. Procédés de soudage. Technique et Ingénierie, Dunod. 360 pages.
41 <https://www.dunod.com/procedes-soudage>
- 42
- 43

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13

ANNEXES

DOCUMENT POUR CONSULTATION

1 Annexe 1 : Lettre de saisine



Direction
générale du travail
DGT

Service des relations et des
conditions de travail
SRCT

Sous-direction des conditions
de travail, de la santé et de la
sécurité au travail
CT

**Bureau des risques
chimiques, physiques et
biologiques CT 2**

39-43, Quai André-Citroën
75902 Paris Cedex 15

Téléphone : 01 44 38 26 73
01 44 38 24 69

Télécopie : 01 44 38 26 48
Services d'informations
du public :

internet : www.travail.gouv.fr

Le Directeur général du travail

à

Monsieur le Directeur général
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du
travail
14, rue Pierre et Marie Curie
94701 MAISONS-ALFORT Cedex

Paris, le

Affaire suivie par : Matthieu Lassus / Elise Vigier / Olivier Calvez

Tél. : 01 44 38 31 33 / 25 50 / 33 33

Mél : matthieu.lassus@travail.gouv.fr / elise.vigier@travail.gouv.fr / olivier.calvez@travail.gouv.fr

Objet: Identification de nouveaux procédés à inscrire à l'arrêté du 5 janvier 1993 modifié fixant la liste des substances, préparations et procédés cancérogènes.

Monsieur le Directeur général,

Le code du travail définit les agents chimiques cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) comme étant soit :

- des substances ou mélanges répondant aux critères de classification CMR du règlement (CE) n° 1272/2008 relatif à la classification, l'étiquetage et l'emballages des substances et des mélanges (CLP) ;
- ou les substances, mélanges ou procédés inscrits dans la liste de l'arrêté du 5 janvier 1993 fixant la liste des substances, préparations et procédés cancérogènes.

Actuellement, cette liste par arrêté issue des directives européennes (à l'exception du formaldéhyde pour lequel la décision a été prise au niveau national) comporte les procédés suivants :

- Fabrication d'auramine ;
- Travaux exposant aux hydrocarbures polycycliques aromatiques présents dans la suie, le goudron, la poix, la fumée ou les poussières de la houille ;
- Travaux exposant aux poussières, fumées ou brouillards produits lors du grillage et de l'électroraffinage des mattes de nickel ;
- Procédé à l'acide fort dans la fabrication d'alcool isopropylique ;
- Travaux exposant aux poussières de bois inhalables ;
- Travaux exposant au formaldéhyde.

De ce classement découle l'application par les employeurs de la réglementation relative à la prévention des risques chimiques, impliquant notamment une obligation de substitution dès que cela est techniquement possible.

1

2

3

4

Par ailleurs, compte tenu de l'actualité réglementaire européenne concernant la révision de la directive 2004/37/CE relative aux cancérogènes et mutagènes au travail, et des échanges entre nos services sur le sujet, la présente saisine de la DGT demande à l'Agence d'apporter un avis scientifique et technique sur les nouveaux procédés CMR pouvant relever de l'arrêté de 1993.

Cet appui consistera à :

- Réaliser un état des lieux
 - o des organismes (par exemple CIRC¹) qui proposent de classer certains procédés CMR sur la base de critères sanitaires et de décrire la méthodologie suivie à cette fin ;
 - o des réglementations existantes, européennes et françaises ayant conduit à classer un procédé CMR et de renseigner les argumentaires ayant conduit à cette classification.
- Proposer sur la base de critères jugés pertinents (dangers intrinsèques, circonstances d'exposition, mesures réglementaires en vigueur, priorité nationale ...), une démarche en vue de prioriser les procédés pouvant justifier d'un intérêt en vue d'une classification CMR.
- Identifier sur la base de cette démarche et des informations jugées pertinentes (travaux du CIRC, études scientifiques, mesures réglementaires en vigueur pour certaines substances chimiques, précédents travaux de l'Anses et partenaires, etc.), de nouveaux procédés CMR pouvant relever de l'arrêté de 1993 ou d'une réglementation européenne.
- De proposer une méthode permettant de conclure à la classification d'un procédé CMR et de définir des critères de classification pour justifier l'inclusion d'un procédé à l'arrêté de 1993.

En l'état actuel des analyses de la DGT, les travaux suivant sont considérés pour l'inclusion dans le projet d'arrêté :

- Travaux exposant aux fumées de soudage ;
- Travaux exposant à la silice cristalline ;
- Travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) ;
- Travaux exposant aux cytostatiques.

Le choix de la DGT est motivé par la forte suspicion du caractère cancérogène de ces procédés sans qu'il existe de cadre réglementaire clair pour le définir, conjugué avec une forte occurrence en milieu professionnel, ces éléments ayant par ailleurs motivé également les prochaines évolutions réglementaires européennes sur ces mêmes agents chimiques (HAP ; silice cristalline ; composés du chrome, du nickel, etc.).

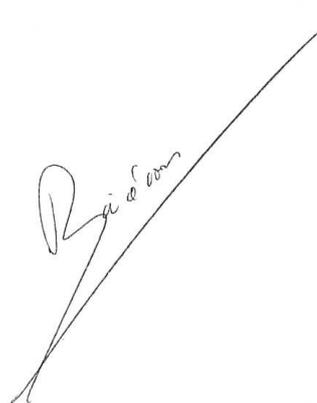
¹ Centre International de Recherche sur le Cancer.

Il est demandé à l'Anses de préciser le cas échéant s'il existe des données de nature à mieux préciser et/ou restreindre le champs des procédés visés par la DGT.

De plus, pour répondre aux objectifs du Plan Santé Travail (PST3), et en particulier aux actions 1.10² et 1.11³ relatives à la prévention dans certains secteurs et la maîtrise des risques de poly-exposition, la DGT envisage à terme l'inclusion d'autres procédés dès lors qu'un faisceau d'indices permet de suspecter la présence d'agents CMR (agents mal identifiés au cours de procédés de synthèse, reconnaissance en maladie professionnelle, etc.).

L'Anses formalisera, sur la base de la méthodologie définie plus haut, son avis en identifiant des procédés d'intérêt pour l'arrêté.

L'avis concernant les procédés déjà identifiés par la DGT est attendu pour le premier trimestre de l'année 2018. Les autres éléments de la saisine feront l'objet d'un rapport pour la fin de l'année 2019.



Le directeur général du travail

Yves-STRUILLLOU

² Action 1.10 : Accompagner les entreprises dans la mise en place d'une prévention efficace et effective.

³ Action 1.11 : Améliorer la prise en compte de la poly-exposition et cibler certaines filières professionnelles particulièrement exposés aux risques cumulés.

1 **Annexe 2 : Composés identifiés à l'émission dans les fumées de soudage**
 2 **par l'extraction de la base de données COLCHIC**

3 **Tableau 12 : Composés identifiés dans les fumées de soudage par l'extraction de la base de données**
 4 **COLCHIC**

Manganèse et ses composés	Plomb et ses composés	Tungstène et ses composés
Poussières (totales, inhalables, thoraciques et alvéolaires)	Cobalt et ses composés	Bore et ses composés
Fer et ses composés	Titane et ses composés	Baryum et ses composés
Cuivre et ses composés	Molybdène et ses composés	Béryllium et ses composés
Nickel et ses composés	Cadmium et ses composés	Vanadium et ses composés
Zinc et ses composés	Formaldéhyde	Arsenic et ses composés
Chrome (VI) et ses composés	Etain et ses composés	Antimoine et ses composés
Aluminium et ses composés	Magnésium et ses composés	Silice cristalline
Argent et ses composés	Zirconium et ses composés	Acéaldéhyde
Monoxyde de carbone	Styrène	Dioxyde d'azote
Sélénium et ses composés	Bismuth et ses composés	Acide chlorhydrique
Diisocyanate de m-tolylidène	Fluorure d'hydrogène	Monoxyde d'azote
Lithium et ses composés	Fluorures inorganiques (gazeux et particulaires)	4,4'-Diisocyanate de diphénylméthane
Thorium et ses composés	Silicium et ses composés	Ozone
Dioxyde de carbone	4,4'-Méthylènedianiline	

5

6

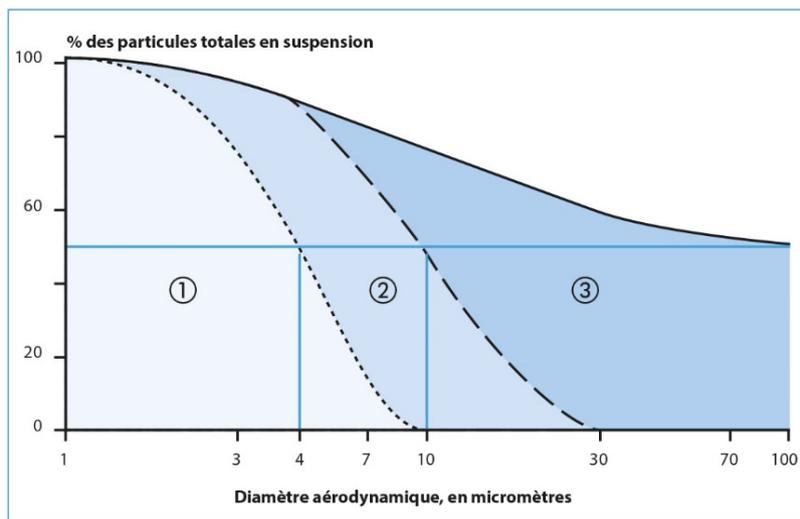
7

8

9

1 Annexe 3 : Définition des fractions granulométriques et nomenclature des 2 fractions inhalable et alvéolaire en anglais

3 La norme NF EN 481 définit plusieurs fractions granulométriques des particules en suspension
4 dans l'air en lien avec leur pénétration dans l'arbre respiratoire, ainsi que les conventions
5 d'échantillonnage de ces fractions. Les trois principales fractions conventionnelles sont les
6 fractions inhalable, thoracique et alvéolaire.



7
8 **Figure 14 : Les fractions conventionnelles sont représentées par les zones que délimitent**
9 **les courbes ① : alvéolaire ; ① + ② : thoracique ; ① + ② + ③ : inhalable (INRS, 2016)**

10

11 La fraction inhalable (①+②+③) correspond à la fraction massique des particules totales en
12 suspension dans l'air inhalée par le nez et par la bouche. Pour échantillonner cette fraction, le
13 pourcentage (I) de particules de diamètre aérodynamique (Dae) en suspension dans l'air à
14 collecter, est défini conventionnellement par la relation suivante :

$$15 \quad I = 50 [1 + \exp(-0,06 \cdot Dae)] \text{ pour } Dae \leq 100 \mu\text{m}$$

16 La fraction thoracique (①+②) correspond à la fraction massique des particules inhalées pénétrant
17 au-delà du larynx. L'échantillonnage de cette fraction doit être conforme à la convention suivante :
18 le pourcentage de la convention inhalable à collecter, est donné par une distribution log-normale
19 cumulée dont le Dae médian est 11,64 µm et l'écart type géométrique 1,5. Le diamètre de coupure
20 par rapport à l'aérosol ambiant est de 10 µm.

21 La fraction alvéolaire (①) correspond à la fraction massique des particules inhalées qui pénètre
22 dans les voies aériennes non ciliées. Conventionnellement, l'échantillonnage de cette fraction doit
23 être tel que le pourcentage de la fraction inhalable à collecter, est défini par une distribution log-
24 normale cumulée dont le Dae médian est 4,25 µm et l'écart type géométrique 1,5. Le diamètre de
25 coupure par rapport à l'aérosol ambiant est de 4 µm.

26

27 Deux autres fractions et conventions peuvent être déduites des précédentes :

28 - La fraction extrathoracique (③) correspond à la fraction massique des particules totales en
29 suspension dans l'air inhalée qui ne peuvent pas pénétrer au-delà du larynx. La fraction
30 conventionnelle extrathoracique se déduit des conventions inhalable et thoracique par différence.

31 - La fraction trachéobronchique (②) correspond à la fraction massique des particules totales
32 en suspension dans l'air inhalée qui pénètrent au-delà du larynx mais ne peuvent pas pénétrer

1 dans les voies aériennes non ciliées. La fraction conventionnelle trachéobronchique se déduit des
2 conventions thoracique et alvéolaire par différence.

3

4 A noter que la norme NF EN 481 indique l'équivalence des termes suivants selon la langue utilisée
5 :

6 Français	Anglais
7 inhalable	inhalable
8 alvéolaire	respirable
9 thoracique	thoracic

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

1 **Annexe 4: Cancer et exposition aux fumées de soudage ou aux fumées émises par les techniques**
 2 **connexes. Etudes de cohorte**

Référence, lieu, période de recrutement/suivi	Population, taille, description, méthode d'évaluation de l'exposition	Organe / type de cancer	Exposition	Cas exposés	Risque estimé HR (IC 95%) ou SIR (IC 95%)	Co-variables contrôlées	Commentaires
Ekenga et al. (2015) USA, Porto Rico 2003-2009 Suivi moyen 5,2 ans	47 640 femmes, sœurs de femmes atteintes de cancer du sein et ayant travaillé hors de chez elles. 1966 cas. Evaluation des expositions à l'inclusion dans la cohorte par entretien téléphonique (11 agents : acides, colorants ou encres, essence ou produits pétroliers, colles ou adhésifs, huiles lubrifiantes, métaux, peintures, pesticides, matériaux de soudure, solvants et teintures ou vernis). (exposition au moins une fois par semaine pour un	Sein	Matériaux de soudure	Cancers du sein : 48 Cancers invasifs : 36 Cancers <i>in situ</i> : 11 Cancers du sein >990 jours : 15 312 - ≤990 jours : 8 96 - ≤312 jours : 10 <96 jours : 14 non exposés 1918 Cancers invasifs >990 jours : 10 312 - ≤990 jours : 6 96 - ≤312 jours : 9 <96 jours : 10 non exposés 1385	1,1 (0,8-1,4) 1,1 (0,8-1,6) 0,9 (0,5-1,7) 1,3 (0,8- 2,3) 0,8 (0,4- 1,7) 0,7 (0,4- 1,4) 1,3 (0,8- 2,2) 1,0 1,4 (0,8-2,6) 0,9 (0,4-1,9) 0,9 (0,4-1,8) 1,3 (0,7-2,4) 1,0	Facteurs de risque connus de cancer du sein : race/ethnicité, niveau d'éducation et de revenu, parité et âge à la première naissance.	

	emploi)			<p>cancers RH+* : 33 1,1 (0,7-1.5)</p> <p>cancers RH- : 9 1,2 (0,6-2,6)</p> <p>C. préménopause : 15 1,8 (1,1-3,0)</p> <p>C. postménopause : 33 1,4 (0,9-2,1)</p> <p>* récepteurs hormonaux</p>		
<p>Michalek et al. (2019b)</p> <p>Pays nordiques (Danemark, Islande, Finlande, Norvège et Suède).</p> <p>Cohorte Nordic Occupational Cancer Study – NOOCA</p> <p>Période de suivi 1960 à fin 2003-2005</p>	<p>14,9 millions de personnes (385 millions de personnes/années), de 30-64 ans à l'entrée.</p> <p>Exposition : données d'emploi recueillies lors des recensements de 1960-1990.</p>	<p>Rein (données recueillies par couplage avec les registres nationaux de cancers)</p>	<p>54 emplois étudiés</p> <p>Marins 105</p> <p>Imprimeurs 89</p> <p>Soudeurs 56</p> <p>Sécurité publique 118</p> <p>Forestiers 53</p> <p>Jardiniers 195</p> <p>Travail du bois 285</p>	<p>11 237 (4 505 femmes, 6 732 hommes)</p> <p>SIRs* ‡</p> <p>18 taux significatifs</p> <p><i>SIR les plus élevés</i></p> <p>1,51 (1,23-1,82)</p> <p>1,39 (1,11-1,71)</p> <p>1,37 (1,03-1,78)</p> <p>1,35 (1,12-1,62)</p> <p><i>SIR les plus faibles</i></p> <p>0,47 (0,35-0,62)</p> <p>0,72 (0,62-0,83)</p> <p>0,81 (0,72-0,91)</p>		<p>Pas de prise en compte de co-expositions</p>

- 1 * SIR (Standardized Incidence Rate) Taux d'incidence standardisé = rapport entre le nombre de cas observés et le nombre de cas attendus.
- 2 ‡ SIR calculé pour chaque profession en fonction du premier emploi déclaré à l'entrée dans l'étude. Référence : taux d'incidence national

1 **Annexe 5 : Cancer et exposition aux fumées de soudage. Etudes cas-témoins**

Référence, lieu, période de recrutement/suivi	Population, taille, description, méthode d'évaluation de l'exposition	Organe / type de cancer	Exposition (catégorie, niveau)	Cas exposés	Risque estimé OR (IC 95%)	Co-variables contrôlées	Commentaires
Parent <i>et al.</i> (2017) 10 centres dans 7/13 pays participant à l'étude Interphone (Australie, Canada, France, Allemagne, Israël, Nouvelle Zélande, et Royaume Uni) 2000 - 2004	Cas : 1800 cas incidents de gliome, âgés de 30-69 ans Taux de participation : 68% Témoins : 5160, (tirage au sort sur listes électorales ou registres de population, ou appels au hasard), appariés aux cas par sexe, âge (5 ans), et centre. Taux de participation : 50% Evaluation de l'exposition au cours de la vie : matrice emploi-exposition dérivée de la matrice finlandaise FINJEM. La matrice donne pour chaque emploi une probabilité (P) d'exposition à l'agent considéré.	Cerveau Gliomes	Pour chaque exposition : 3 métriques (au moins 1 fois vs jamais, exposition cumulée, durée d'exposition) Prévalence exposition (Cas/Témoins) : Cadmium : 2,2/1,7 Chrome : 9,9/7,0 Fer : 13,6/10,2 Plomb : 8,8/7,5 Nickel : 11,9/8,6 Fumées de soudage : 10,1/7,5	Cadmium : 40 Chrome : 178 Fer : 244 Plomb : 159 Nickel : 215 Fumées de soudage : 182	1,1 (0,7–1,6)* 0,9 (0,7 – 1,1) 0,9 (0,7–1,1) 0,8 (0,7–1,0) 0,9 (0,8 – 1,1) 0,9 (0,7–1,1)	Age, niveau d'éducation, prestige du travail, atopie, statut du répondant (proxy)	Les résultats ne sont pas différents si les analyses sont restreintes à un seul sexe, ni en fonction de la sévérité des gliomes. Pas d'effet du niveau d'exposition ni de la durée d'exposition. * ORs ajustés : risque de gliome associé à une exposition de ≥ 1an- un délai de 5 ans et P ≥ 25%
Michalek <i>et al.</i> (2019a) Finlande, Islande et	Cas : 59 778 cancers du rein survenus dans la cohorte NOCCA (Nordic Occupational Cancer Study).	Rein	Exposition aux métaux lourds (Cr, FE, Ni, Pb) et aux fumées de soudage, et à 24 autres	Chrome Non exposé Faible	1,00 Ref 0,99 (0,91–1,09)	13 autres expositions (en évitant d'inclure dans le	Analyses stratifiées sur l'âge : risque de cancer du rein significativement augmenté dans la classe 59-74 ans pour forte

<p>Suède</p> <p>Etude cas-témoins nichée dans la cohorte NOOCA</p> <p>1961-2005</p>	<p>Age moyen au diagnostic : 66 ans.</p> <p>Témoins : 298 890 témoins extraits de la cohorte NOOCA, appariés aux cas par sexe, âge et pays.</p> <p>Evaluation de l'exposition : liaison entre emploi(s) déclaré(s) (recensements) et matrices emplois expositions NOOCA-JEM</p>		<p>agents, dont amiante et UV</p> <p>3 catégories d'exposition pour chaque agent analysé :</p> <p>Faible (<50 percentile)</p> <p>Modéré (≥ 50 - <90 percentile)</p> <p>Elevé (≥90 percentile)</p>	<p>Modéré</p> <p>Fort</p> <p><i>Fer</i></p> <p>Non exposé</p> <p>Faible</p> <p>Modéré</p> <p>Fort</p> <p><i>Nickel</i></p> <p>Non exposé</p> <p>Faible</p> <p>Modéré</p> <p>Fort</p> <p><i>Plomb</i></p> <p>Non exposé</p> <p>Faible</p> <p>Modéré</p> <p>Fort</p> <p><i>Fumées de soudage</i></p> <p>Non exposé</p> <p>Faible</p>	<p>1,07 (0,96–1,18)</p> <p>0,99 (0,86–1,15)</p> <p>1,00 Ref</p> <p>1,09 (0,94–1,27)</p> <p>1,10 (0,95–1,28)</p> <p>1,15 (0,94–1,39)</p> <p>1,00 Ref</p> <p>0,92 (0,80–1,06)</p> <p>0,90 (0,78–1,04)</p> <p>0,99 (0,82–1,20)</p> <p>1,00 Ref</p> <p>1,09 (1,03–1,16)</p> <p>1,06 (0,99–1,13)</p> <p>0,95 (0,86–1,05)</p> <p>1,00 Ref</p> <p>1,05 (0,90–1,22)</p>	<p>même modèle le Fer et les fumées de soudage, fortements corrélés)</p>	<p>exposition au fer (OR = 1,41, IC95% 1,07–1,85)</p> <p>Et expositions modérée ou forte aux fumées de soudage (ORs = 1,27 (1,02 – 1,56) et 1,43 (1,09 – 1,89))</p>
---	---	--	---	--	---	--	---

				Modéré	1,14 (0,98–1,33)	
				Fort	1,20 (0,99–1,46)	
<p>Pesch <i>et al.</i> (2019)</p> <p>Allemagne</p> <p>2 études cas-témoins en population, poolées :</p> <p>Humanisierung des Arbeitslebens (HdA) 1988-1993</p> <p>Arbeit und Technik (AUT) 1990-1996</p>	<p>Cas : 3 418 cas masculins</p> <p>Taux de participation : 69 (HdA) et 77 % (AUT)</p> <p>Témoins : 3 488 appariés au cas 1:1 sur sexe, âge (5 ans), région.</p> <p>Taux de participation : 68 (HdA) et 41% (AUT)</p> <p>Evaluation de l'exposition ; interview et questionnaire sur historique d'emploi(s), questionnaire complémentaire soudage. Liaison avec une matrice d'exposition aux procédés de soudage développée à partir de mesures de fumées de soudage, Cr (VI) et Ni.</p>	Poumon	<p>Exposition à 10 techniques de soudage et 4 matériaux (acier doux, acier inox, alliages Cr/Ni et aluminium)</p> <p>(Pour différencier activité de soudage et fonderie, analyse séparée des 139 hommes qui ont déclaré une activité de fondeurs)</p>	<p><i>Soudage régulier</i> : 396 cas et 277 témoins</p> <p><i>Soudage occasionnel</i> : 404 cas et 368 témoins</p> <p><i>Fortes expositions</i> : (supérieures à la médiane)</p> <p><i>Fumées de soudage</i></p> <p>≥ 1,83 mg/m³/an</p> <p>Cr(VI)</p> <p>≥ 1,4µg/m³ x an</p> <p>Ni</p> <p>≥9µg/m³ x an</p> <p><i>Durée d'exposition</i></p> <p><i>Fumées de soudage</i></p> <p><1 an</p> <p>1-5 ans</p> <p>≥5ans</p>	<p>1,37 (1,14–1,65)</p> <p>1,19 (1,00–1,42)</p> <p>1,55 (1,17– 2,05)</p> <p>1,85 (1,35–2,54)</p> <p>1,60 (1,21–2,12)</p> <p>1,38 (0,96–1,99)</p>	<p>Age, tabagisme, autres emplois à risques et autres variables d'exposition analysées</p>

				<p><i>Cr(VI)</i></p> <p><1 an</p> <p>1-5 ans</p> <p>≥5ans</p> <p><i>Ni</i></p> <p><1 an</p> <p>1-5 ans</p> <p>≥5ans</p>	<p>1,42 (0,86-2,36)</p> <p>1,41 (0,85-2,32)</p> <p>0,86 (0,51-1,45)</p> <p>1,75 (0,72-4,26)</p> <p>3,47 (1,48-8,12)</p> <p>0,75 (0,44-1,27)</p> <p>1,50 (0,65-3,48)</p> <p>3,30 (1,44-7,56)</p>		
<p>Talibov <i>et al.</i> (2019)</p> <p>Finlande, Islande et Suède</p> <p>Etude cas-témoins nichée dans la cohorte NOOCA</p> <p>1961-2005</p>	<p>Cas : 1 469</p> <p>60% âgés de 60-80 ans au diagnostic.</p> <p>Témoins : 7 345 extraits de la cohorte NOOCA, appariés aux cas par sexe, âge et pays</p> <p>Evaluation de l'exposition : liaison entre emploi(s) déclaré(s) (recensements) et matrices emplois expositions NOOCA-JEM</p>	<p>Sein masculin</p>	<p>29 agents rencontrés dans l'environnement professionnel (solvants, métaux, gaz d'échappement, charge de travail ...), évaluation par liaison avec matrice emploi-exposition NOOCA-JEM.</p> <p>Champs électromagnétiques de basse fréquence en utilisant une matrice emploi-exposition ELF-MF JEM.</p>	<p><i>Fer^a</i></p> <p>≤5,1 : 103</p> <p>5,2-55 : 77</p> <p>>55 : 23</p> <p>toutes catégories : 203</p> <p><i>Chrome^b</i></p> <p>≤24,4 : 132</p> <p>24,5-152 : 93</p> <p>>152 : 20</p> <p>toutes catégories : 245</p> <p><i>Fumées de soudage^a</i></p>	<p>0,97 (0,77-1,21)</p> <p>0,90 (0,70-1,16)</p> <p>1,11 (0,70-1,75)</p> <p>0,95 (0,81-1,12)</p> <p>1,08 (0,89-1,33)</p> <p>0,93 (0,74-1,17)</p> <p>0,77 (0,48-1,23)</p> <p>0,99 (0,85-1,15)</p>	<p>Statut socio-économique.</p> <p>Ajustement sur facteurs de style de vie uniquement sur partie finlandaise de l'étude.</p> <p>Analyses restreintes au groupe d'âge 30-70 ans</p>	<p>Il n'a pas été possible dans cette étude d'ajuster pour l'alcool et le tabac par manque de données sur ces facteurs.</p> <p>A noter que dans une autre étude, ces facteurs n'étaient pas associés au cancer du sein masculin (Cook et al., 2015)</p> <p>^a catégorisation en utilisant 50^{ème} et 90^{ème} percentile de la distribution de l'exposition</p> <p>^b µg/m³ années</p>

				≤3,0 : 92	0,86 (0,68-1,08)		
				3,1-142 : 88	1,04 (0,82-1,33)		
				>142 : 23	1,11 (0,70-1,75)		
				toutes catégories : 203	0,95 (0,81-1,13)		
Barul <i>et al.</i> (2020) France, 10 zones géographiques couvertes par un registre du cancer 2001-2007	Cas : 1588 cas incidents (masculins) âgés de 18 à 75 ans, diagnostiqués pendant la période d'étude. Taux de participation : 82,5% Témoins : 2703 témoins (masculins) sélectionnés dans les mêmes zones géographiques et appariés par sexe et âge. Taux de participation : 80,6% Evaluation de l'exposition par questionnaire emploi-spécifique : soudage, brasage, coupage à la flamme ; questions détaillées sur les procédés de soudage, les métaux soudés, les traitements de surface avant soudage, et la durée et la fréquence du soudage (au moins 5% du temps) pour chaque période	Cancers de la tête et du cou : cavité buccale, oropharynx, hypopharynx, larynx.	<i>Soudage (O/N)</i> -tête et cou -cavité buccale -oropharynx -hypopharynx -larynx >10 ans -tête et cou -cavité buccale -oropharynx -hypopharynx -larynx <i>durée pondérée**</i> >10 ans -tête et cou -cavité buccale -oropharynx -hypopharynx	242 43 68 51 62 150 30 39 29 40 65 13 14 16	1,31 (1,03-1,67) 1,29 (0,85-1,97) 0,96 (0,67-1,38) 1,37 (0,91-2,06) 1,66 (1,15-2,38) 1,50 (1,10-2,04) 1,82 (1,09-3,04) 1,04 (0,70-1,75) 1,29 (0,76-2,18) 1,87 (1,20-2,94) 1,61 (0,99-2,62) 2,10 (0,99-4,45) 0,90 (0,44-1,82) 1,58 (0,78-3,23)	Analyses ajustées sur âge, zone de résidence, consommation d'alcool, statut tabagique et index cumulé d'exposition à l'amiante.	Analyses restreintes aux hommes : 10 femmes seulement étaient soudeurs (4 cas, 6 témoins) et 7 autres (témoins) ayant rapporté une activité de soudage ** Durée pondérée (années) $DP = \sum (D_i \times F_i)$ où D_i = durée de l'emploi i et F_i = fréquence du soudage dans l'emploi i exprimée en proportion du temps

d'emploi.		-larynx	19	2,42 (1,25-4,69)	
		<i>Soudage à l'arc</i>			
		-tête et cou	169	1,36 (1,02-1,81)	
		-cavité buccale	34	1,58 (0,97-2,56)	
		-oropharynx	49	1,15 (0,76-1,77)	
		-hypopharynx	31	1,28 (0,78-2,12)	
		-larynx	40	1,53 (0,98-2,37)	
		<i>durée pondérée**</i>			
		<i>>1,7 ans</i>			
		-larynx	20	2,42 (1,2-4,60)	
		<i>Soudage par points</i>			
		-tête et cou	71	1,27 (0,84-1,92)	
		-cavité buccale	15	1,63 (0,82-3,24)	
		-oropharynx	17	0,77 (0,41-1,47)	
		-hypopharynx	11	0,90 (0,42-1,92)	
		-larynx	19	1,48 (0,80-2,72)	
		<i>durée pondérée**</i>			
		<i>>1,7 ans</i>			
		-cavité buccale	7	3,47 (1,27- 9,48)	
		<i>Nettoyage acide du</i>			

			<i>métal avant soudage</i>				
			-tête et cou	26	2,69 (1,19-6,09)		
			-cavité buccale	7	4,42 (1,53-12,72)		
			-oropharynx	3	0,91 (0,24-3,52)		
			-hypopharynx	4	1,92 (0,55-6,66)		
			-larynx	10	4,53 (1,73-11,89)		
D'Errico <i>et al.</i> (2020) Italie, région du Piémont 1996-2014	<p>Cas : 477 cas incidents identifiés sur registre régional des cancers (102 cas exclus : 33 refus, histologie imprécise, impossibilité d'interview)</p> <p>375 cas analysés :</p> <p>191 adénocarcinomes</p> <p>119 épidermoïdes</p> <p>65 autres</p> <p>Témoins : 435 témoins hospitaliers (ORL, orthopédie) recrutés en 1998-2002 et 2010-2012, appariés par classe d'âge (10 ans), sexe et province de résidence</p> <p>Taux de participation : 94%</p> <p>Evaluation des expositions par questionnaire : emploi, fréquence, durée</p> <p>Exposition à 17</p>	<p>Cancer épithélial des fosses nasales et des sinus paranasaux :</p> <p>Adénocarcinomes</p> <p>Cancers épidermoïdes</p> <p>Autres histologies</p>	<p>Expositions évaluées pour chaque période de travail d'au moins 6 mois.</p> <p>Probabilité d'exposition estimée en 4 niveaux : non exposé, faible, moyenne et forte.</p> <p>Intensité d'exposition estimée en 4 niveaux.</p> <p>Pour chaque facteur de risque : durée d'exposition pondérée par probabilité et intensité d'exposition. La dose cumulée = somme sur toutes les périodes de travail des durées d'expositions pondérées.</p>	<p><i>Fumées de soudage</i></p> <p>(O/N)</p> <p>Tous cancers</p> <p>Adénocarcinome</p> <p>C. épidermoïde</p> <p>Autres</p> <p><i>O/N ajusté sur autres facteurs de risque significatifs</i></p> <p>Tous cancers</p> <p>Epidermoïdes</p> <p><i>Exposition cumulée</i></p> <p>Tous cancers</p> <p>faible</p> <p>forte</p> <p>C. épidermoïdes</p>	<p>1,53 (0,92–2,54)</p> <p>1,02 (0,53-1,97)</p> <p>2,80 (1,47-5,36)</p> <p>1,26 (0,45-3,55)</p> <p>2,24 (1,25-4,04)</p> <p>2,50 (1,29-4,87)</p> <p>2,01 (0,93-4,34)</p> <p>2,48 (1,14-5,41)†</p>	<p>Age, sexe, lieu de résidence, tabagisme et année d'inclusion.</p>	<p>Les résultats de l'étude confirment l'association des cancers des fosses nasales et des sinus à l'exposition aux poussières de bois ou de cuir et au nickel.</p> <p>Une analyse excluant les sujets exposés aux composés de chrome ou de nickel (pour éliminer un possible confondant résiduel dû à la soudure d'acier inoxydable), montre que l'association entre les cancers épidermoïdes et l'exposition aux fumées de soudage reste significative : OR 2,39 (1,20-4,77).</p> <p>† p tendance <0,05</p>

	agents : poussières, vapeurs, fumées, produits chimiques.			faible forte <i>Exposition cumulée continue (augmentation par an)</i> Tous cancers C. épidermoïdes	2,39 (1,00-5,71) 3,13 (1,29-7,61) 1,05 (1,00-1,09) 1,06 (1,01-1,11)†		
Chen <i>et al.</i> (2021) Chine (3 régions du Sud de la Chine) 2010-2014	<p>Cas : 3047 cas incidents en 2010 à 2013, de 20-74 ans, histologiquement confirmés.</p> <p>Taux de participation 84%. 2514 cas retenus dans l'analyse après exclusions.</p> <p>Témoins : 3202 témoins potentiels, appariés par classe d'âge (5 ans), sexe et zone de résidence, sélectionnés sur les registres de population des régions d'étude.</p> <p>Taux de participation 83%. 2586 témoins retenus dans l'analyse.</p> <p>Evaluation des expositions par questionnaire (entretien face à face ou téléphonique) : données personnelles (tabac, alcool), histoire</p>	Cancer du nasopharynx (NPC)	Fumées de soudage (O/N)	116	1,35 (1,01-1,81)	<p>Age, sexe, résidence, facteurs de risques connus ou suspectés de cancer du nasopharynx (niveau d'instruction, type d'habitation, antécédents familiaux de NPC, tabac).</p> <p>Co-variable additionnelle pour les individus dont la donnée était disponible : infection par l'EBV (anticorps IgA anti antigène de capsid virale).</p>	<p>Les expositions professionnelles aux poussières, vapeurs chimiques, gaz d'échappement/fumées, acides/alcalis sont associées à une augmentation de risque de NPC (ORs de 1,30 à 2,29)</p> <p>Un ajustement additionnel sur la séropositivité EBV (IgA anti-VCA) n'affecte pas l'importance de l'association avec l'exposition professionnelle aux gaz d'échappement/fumées.</p>

	professionnelle depuis l'âge du premier travail à temps plein. Pour chaque emploi exercé pendant au moins un an : type d'emploi, durée et expositions à 14 types d'agents : différents types de poussières, vapeurs de produits chimiques, gaz d'échappement et fumées, acides et alcalis.						
--	--	--	--	--	--	--	--

1

2

3

4

5

DOCUMENT POUR CONSULTATION

1 Annexe 6 : Présentation des positions d'abstention

2 Ce rapport d'expertise collective a été validé lors de la réunion du comité d'experts spécialisé
3 « Valeurs sanitaires de référence » du 01 juillet 2021 pour mise en consultation publique. Lors de
4 cette réunion, deux experts se sont abstenus lors du vote pour mise en consultation publique. Les
5 motifs des deux abstentions sont expliqués ci-dessous.

6

7 Expert 1:

8 « J'estime que les données épidémiologiques sont trop limitées pour conclure à "preuves suffisantes" pour le
9 cancer du larynx. »

10

11 Expert 2:

12 Argumentaire de l'expert 2 justifiant son abstention lors de la validation du rapport relatif à l'inclusion de
13 l'exposition aux fumées de soudage à la liste des procédés cancérigènes :

14

15 « Au regard de l'objectif du groupe de travail, visant à apprécier la pertinence d'ajouter l'exposition aux
16 fumées de soudage à la liste des procédés cancérigènes pour les travailleurs, la démarche consistant à
17 s'appuyer sur les données épidémiologiques humaines est évidemment pertinente et non discutable. Or, du
18 fait qu'un « soudeur » peut mettre en œuvre plusieurs techniques au cours de sa carrière, les études
19 épidémiologiques ont depuis des décennies eu pour défaut regrettable d'agrèger de manière abusive sous le
20 terme générique de soudage des activités d'assemblage à chaud des métaux pourtant notoirement
21 différentes. Les conclusions des travaux du GT, attribuant les effets cancérigènes observés aux différentes
22 méthodes d'assemblage à chaud des métaux, étaient donc inéluctables, les études étant inappropriées pour
23 distinguer les effets sanitaires de chacune des techniques.

24 Des données techniques et métallurgiques simples permettent néanmoins de comprendre que la liste des
25 « techniques connexes » retenue en conclusion du rapport est fortement hétérogène, et que l'assertion
26 selon laquelle ces techniques émettent des « fumées métalliques similaires » est tout à fait discutable.
27 Comme parfaitement souligné dans le rapport, la composition métallique des fumées varie en fonction de
28 multiples paramètres, au premier rang desquels la composition de l'alliage et la technique mise en œuvre,
29 qui déterminent la température atteinte au niveau de la zone de fusion.

30 Si on considère qu'un métal donné émettra, à partir de son point de fusion, des particules métalliques
31 constituées des atomes le composant, et ce de manière croissante au fur et à mesure que la température de
32 travail s'approche de la température d'ébullition des composants, on peut admettre que les techniques
33 conduisant à sa fusion, qu'il s'agisse de soudage, oxycoupage, gougeage... puissent en effet émettre des
34 particules de composition « similaire », en tout cas au plan qualitatif. Beaucoup d'alliages ferreux, aciers
35 (non, faiblement ou fortement alliés), fontes, alliages à base nickel, etc, vont donc émettre, quelle que soit la
36 technique amenant à leur fusion, des fumées susceptibles de contenir des oxydes métalliques
37 cancérigènes.

38 Mais la poursuite de ce raisonnement conduit à considérer différemment le brasage fort. Cette technique
39 d'assemblage, qui n'est PAS du soudage, met aujourd'hui en œuvre dans l'immense majorité des cas des
40 alliages à base de cuivre, étain, zinc, argent... et ce à des températures deux fois inférieures environ aux
41 techniques de soudage. Si le brasage fort conduit donc en effet à l'émission de fumées métalliques, celles-ci
42 sont de composition fondamentalement différentes des techniques de soudage. A ce jour, depuis
43 l'interdiction du cadmium dans les baguettes de brasage et sauf application de niche sur des alliages
44 spécifiques, aucun composant de ces fumées n'est à ce jour réputé cancérigène. En outre, les techniques
45 de brasage fort concernent également des métiers tout à fait singuliers, tels les bijoutiers, pour lesquels
46 aucune donnée n'est disponible pour pouvoir évoquer un impact cancérigène lié aux fumées de brasage
47 d'or, argent ou platine notamment.

1 L'inclusion du brasage fort dans son ensemble à la liste des procédés connexes, bien que découlant de la
2 méthodologie choisie, me semble donc non pertinente, liée uniquement à l'héritage de décennies d'études
3 insuffisamment discriminantes quant aux techniques mises en œuvre. En clair, il faut, définitivement,
4 distinguer brasage tendre, brasage fort, et soudage. A ce stade des données, attribuer un effet cancérogène
5 aux fumées de brasage sur la base de la majorité des études disponibles revient ni plus ni moins à ne pas
6 prendre en compte un facteur de confusion majeur : l'exposition aux fumées de soudage ! Dit autrement, ce
7 n'est pas parce que la base de données épidémiologiques sur les effets de expositions aux fumées de
8 soudage ne permet pas d'exclure que les fumées de brasage soient également cancérogènes, qu'il est
9 justifié de déclarer qu'elles le sont, surtout lorsque des données techniques et métallurgiques très simples
10 suffisent à démontrer que ces fumées métalliques ne sont en rien de « composition similaire ». Ainsi, de
11 même qu'on a pu considérer dans ces travaux que les fumées de brasage tendre étaient
12 QUANTITATIVEMENT pauvres en fumées métalliques, on aurait pu considérer que les fumées métalliques
13 de brasage fort étaient QUALITATIVEMENT différentes des fumées de soudage auxquelles les travailleurs
14 étaient exposés dans la majorité des études épidémiologiques. Déterminer si l'exposition aux fumées de
15 brasage, et à quelles fumées de brasage, doit être insérée dans la liste des procédés cancérogènes devrait
16 être une autre question, une autre saisine, pour cet autre procédé.

17 Etant néanmoins favorable à l'inclusion des (vraies) fumées de soudage à la liste des procédés
18 cancérogènes, je préfère donc simplement m'abstenir de valider ce rapport, au demeurant tout à fait
19 convaincant sur ce point. »

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

1 **Notes**

- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8

DOCUMENT POUR CONSULTATION