



anses

Valeurs sanitaires  
de référence

---

**Travaux exposant  
aux fumées de soudage  
à inscrire à la liste  
des substances, mélanges  
et procédés cancérogènes**

Avis de l'Anses

Rapport d'expertise collective

Février 2022

CONNAÎTRE, ÉVALUER, PROTÉGER





Le directeur général

Maisons-Alfort, le 15 février 2022

## AVIS de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif à l'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

---

*L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.*

*L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.*

*Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.*

*Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).*

*Ses avis sont publiés sur son site internet.*

---

L'Anses a été saisie le 17 novembre 2017 par la Direction générale du travail pour la réalisation de l'expertise suivante : « Identification de nouveaux procédés cancérogènes à inscrire à l'arrêté du 5 janvier 1993 modifié fixant la liste des substances, préparations et procédés cancérogènes ».

#### 1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

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 arrêté<sup>1</sup> est essentiellement issue de la transposition de l'annexe I de la directive 2004/37/CE (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.

Dans le cadre des révisions de la directive 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés aux cancérogènes ou mutagènes au travail en cours de discussions au niveau européen, la Direction générale du travail (DGT) a saisi l'Anses le 17 novembre 2017 afin d'apporter un avis sur de nouveaux procédés cancérogènes pouvant relever de cet arrêté.

L'Anses a été saisie, via un appui scientifique et technique, **dans un premier temps**, afin de déterminer si quatre procédés identifiés par la DGT (i.e. travaux exposant aux fumées de soudage, travaux exposant à la silice cristalline, travaux exposant aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et travaux exposant aux cytostatiques) 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 cet arrêté.

Il était 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 qui indiquait, faute de pouvoir conclure dans les délais impartis, la nécessité de poursuivre/approfondir les travaux pour les travaux exposant aux fumées de soudage, aux HAP et aux cytostatiques.

Dans sa note d'AST, l'Anses avait conclu, en ce qui concerne les travaux exposant aux fumées de soudage, à la nécessité de les inclure 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 était 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

---

<sup>1</sup> Il s'agit de l'arrêté du 3 mai 2021 modifiant l'arrêté du 26 octobre 2020 fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes au sens du code du travail

présentant une synthèse de l'évaluation du CIRC. Il n'avait donc pas été possible d'examiner en détails 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.

La problématique des rayonnements UV émis par les procédés de soudage n'a pas été traitée dans le cadre de cette expertise qui fait référence aux expositions aux fumées de soudage et non aux travaux de soudage. Une réflexion globale ultérieure sur les rayonnements UV (sources naturelles et industrielles) a été jugée préférable.

**Dans un second temps**, il a également été 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 rapport d'expertise collective de l'Anses ultérieurement

Les présents travaux visent à déterminer la pertinence de recommander les travaux exposant aux fumées de soudage pour une inclusion à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges ou procédés cancérogènes.

## 2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

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

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « Valeurs sanitaires de référence » (CES VSR). L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail « Procédés cancérogènes ». Les travaux relatifs aux travaux exposant aux fumées de soudage en vue d'une identification en tant que procédés cancérogènes ont été présentés tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques au CES VSR les 4 février et 1<sup>er</sup> juillet 2021.

Le rapport d'expertise collective a été validé pour mise en consultation publique par le CES VSR le 1<sup>er</sup> juillet 2021 avec deux abstentions.

Le rapport d'expertise collective a fait l'objet d'une consultation publique du 27 septembre au 19 novembre 2021. L'unique commentaire reçu a été examiné et discuté par le GT « Procédés cancérogènes » le 6 décembre 2021. Le CES VSR a ensuite adopté la version finalisée le 16 décembre 2021. Deux experts se sont abstenus. Leurs positions sont détaillées en annexe 6 du rapport d'expertise collective.

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

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

L'expertise du présent rapport concerne les travaux exposant aux fumées de soudage. Les activités, procédés étudiés sont uniquement les procédés de soudage définis dans la norme NF EN ISO 4063 de février 2011 ainsi que les techniques connexes (telles que le brasage, le coupage, le gougeage<sup>2</sup>, la projection thermique, le rechargement) émettant des fumées métalliques. L'enquête SUMER 2017<sup>3</sup> définit par « fumées de soudage d'éléments métalliques » les fumées dégagées lors d'opérations de soudage d'éléments métalliques quelle que soit la nature du métal (acier inox<sup>4</sup>, acier, laiton, aluminium, plomb...) et du procédé utilisé (chalumeau, arc électrique, procédés MIG, TIG, MAG...). Le groupe de travail a retenu cette définition et l'emploi du terme « fumées de soudage » dans le reste du rapport fera référence à cette définition. Ainsi, le soudage, le brasage ou autres opérations sur des matières plastiques ne sont pas traités dans cette expertise.

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

L'Anses a sollicité des extractions de la base de données du réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (RNV3P) relatives aux consultations dans les Centres français de consultations de pathologies professionnelles et de l'environnement (CCPPE), motivées par des pathologies cancéreuses associées à des expositions professionnelles à des fumées de soudage. Les résultats de cette enquête sont présentés dans le Tableau 1.

---

<sup>2</sup> Dans ces travaux, il n'est question que du gougeage thermique (et pas du gougeage mécanique).

<sup>3</sup>[https://dares.travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/dares\\_expositions\\_risques\\_professionnels\\_produits\\_chimiques-2.pdf](https://dares.travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/dares_expositions_risques_professionnels_produits_chimiques-2.pdf)

<sup>4</sup> 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](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_FR.pdf))

**Tableau 1 : Consultations pour des pathologies cancéreuses dans les CCPPE (RNV3P : 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 |             |
| <b>Bronchopulmonaires</b>   | 34                                      | 355             | 84                            | 843             | 1316        |
| <b>Mésothéliome pleural</b>                                       |   | 1               |                               | 6               | 7           |
| <b>Nasosinusiens</b>  | 2                                       |                 | 1                             | 5               | 8           |
| <b>Larynx</b>   |   | 2               | 1                             | 6               | 9           |
| <b>Oropharynx</b>   |   |                 |                               | 8               | 8           |
| <b>Voies urinaires</b>  |   | 10              | 10                            | 64              | 84          |
| <b>Rein</b>   |   | 3               | 2                             | 7               | 12          |
| <b>Syndrome myélodysplasique ou Leucémie aigüe myéloïde (LAM)</b> |   |                 | 2                             | 1               | 3           |
| <b>Syndromes myéloprolifératifs</b>                               |   |                 | 1                             | 4               | 5           |
| <b>Lymphomes non-hodgkiniens</b>                                  |   | 1               |                               | 9               | 10          |
| <b>Lymphome de Hodgkin</b>  |   |                 |                               | 1               | 1           |
| <b>Myélome</b>  |   |                 | 1                             |                 | 1           |
| <b>Autres ou non précisés</b>                                     |   |                 |                               | 8               | 8           |
| <b>TOTAL</b>  | <b>36</b>                               | <b>372</b>      | <b>102</b>                    | <b>962</b>      | <b>1472</b> |

Les tumeurs concernées sont essentiellement des cancers bronchopulmonaires (89,4 % des cas), ce qui dénote seulement la fréquence de ces tumeurs et le biais de notoriété<sup>5</sup> concernant leur association avec l'exposition professionnelle aux fumées de soudage (la seule association pour laquelle dans sa dernière évaluation, le CIRC a estimé qu'il y avait des preuves suffisantes de son caractère causal) (Iarc 2018). De même, les autres tumeurs pour lesquelles le nombre de cas dans la base de données du RNV3P est supérieur à 10 sont les cancers

<sup>5</sup> 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

urothéliaux, les cancers du rein et les cancers des voies aérodigestives supérieures<sup>6</sup> (VAS). Ce sont toutes des tumeurs fréquentes et/ou pour lesquelles une association positive avec l'exposition aux fumées de soudage est rapportée. Les cas se répartissent dans une quinzaine de secteurs d'activités différents. Les deux principaux postes de travail concernés sont ceux de « soudeurs et oxycoupeurs » (environ 2 cas sur 3) et de « tôliers-chaudronniers » (un peu moins de 10 % des cas).

Les données de reconnaissance en maladie professionnelle hors tableau des comités régionaux de reconnaissance des maladies professionnelles (CRRMP)<sup>7</sup> entre 2010 et 2020 ont été fournies au groupe de travail, à sa demande, par la Caisse nationale d'assurance maladie (CNAM) pour les cas de cancers chez des soudeurs. Les données transmises ne prennent pas en compte les cas de cancers de soudeurs qui ont pu être reconnus au titre d'un tableau de maladie professionnelle<sup>8</sup>. Au total, entre 2010 et 2020, 132 cas de cancers ont été examinés par les CRRMP, parmi lesquels presque 1/3 (32%) ont été reconnus comme maladie professionnelle (42/132). Sur ces 132 cas, les demandes concernaient majoritairement des cancers de la vessie (45), des cancers bronchopulmonaires (32), des cancers des VAS (12), des cancers du côlon (9) et des cancers du larynx (7). De même que les données issues du RNV3P, celles fournies par la CNAM et concernant l'activité des CRRMP ne constituent pas des indicateurs de l'incidence de pathologies professionnelles. Elles reflètent plutôt la fréquence des tumeurs concernées et/ou la notoriété de leur association avec les activités de soudage.

Une extraction des données de la base COLCHIC<sup>9</sup> a été réalisée par l'Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles (INRS) sur la période 2002-2018 afin d'identifier tout d'abord, la liste des agents chimiques mesurés dans le cadre de travaux de soudage, puis les postes de travail pouvant conduire à une exposition similaire à celle engendrée par des travaux exposant aux fumées de soudage.

Deux recherches bibliographiques ont été réalisées afin de tenir compte des éventuelles données publiées après les conclusions de la monographie du CIRC de 2018 : le 18 mars 2021 sur Scopus afin de documenter les expositions, compositions des fumées de soudage et en mai 2021 sur Scopus et Pubmed afin d'actualiser les données disponibles sur les propriétés cancérigènes des fumées de soudage. Le CIRC ayant conclu à une preuve de

---

<sup>6</sup> 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> )

<sup>7</sup> 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.

<sup>8</sup> à la date des travaux, un seul tableau en lien avec des cancers et des travaux de soudage a pu être identifié, à savoir le tableau 16Bis du Régime Général.

<sup>9</sup> Il s'agit d'une base de données mise en place en 1987 par l'INRS qui collecte les données sur les expositions professionnelles aux agents chimiques (mesures d'exposition individuelle ou d'ambiance) en France effectuées par les laboratoires des caisses d'assurance retraite et sécurité au travail (Carsat) et de l'INRS.



cancérogénicité suffisante chez l'Homme, la recherche bibliographique menée par l'Anses s'est focalisée sur l'actualisation des données épidémiologiques.

### 3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES VSR

#### 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, arrêté qui permet notamment de transposer en droit français l'annexe I de la directive 2004/37/UE lorsque celle-ci est amenée à évoluer. 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 détails les données de cancérogénicité au regard des critères de classification selon le règlement CLP de chacun des composés mais de s'appuyer sur des évaluations de la cancérogénicité pré-existantes pour les fumées de soudage.

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 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 particulaires métalliques compte-tenu des faibles températures atteintes se situant habituellement entre 180°C et 250°C.

#### Cancérogénicité des fumées de soudage

##### Description de la méthodologie mise en œuvre

Le groupe de travail a examiné les travaux des différents organismes évaluant la cancérogénicité d'agents chimiques. Parmi les différents organismes et institutions consultés (ECHA, 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 du CIRC 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.

### Analyse et résultats

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

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

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

Concernant les cancers des voies aéro-digestives supérieures, la monographie de 2018 du CIRC notait que le petit nombre de cas de cancers de la cavité buccale, du pharynx ou du larynx, analysés dans les études ne permettait pas de tirer des conclusions claires sur le rôle des fumées de soudage dans l'incidence de ces cancers. Le groupe de travail de l'Anses considère que l'étude cas-témoins récente de Barul *et al.* (Barul *et al.* 2020) apporte des informations complémentaires solides en faveur du caractère causal de l'association entre l'exposition aux fumées de soudage et le cancer du larynx (preuves suffisantes) et à un moindre degré de la cavité buccale (preuves limitées). Cette conclusion sur le cancer du larynx est également supportée par le lien établi entre les fumées de soudage et les cancers bronchopulmonaires, les voies respiratoires pouvant être considérées comme l'un des organes cibles principaux des fumées de soudage.

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

Les résultats rapportés dans la littérature pour les autres types de cancers analysés précédemment par le CIRC, tels que les cancers des voies urinaires, les gliomes, les cancers du pharynx et les cancers du nasopharynx, n'apportent pas d'informations nouvelles susceptibles de modifier les conclusions de la monographie du CIRC (les données disponibles ne permettent pas de conclure).

Aucune nouvelle donnée n'a été identifiée par le GT concernant les cancers suivants mentionnés dans la monographie du CIRC (2018) : leucémies, lymphomes non Hodgkiniens, cancers du cerveau autres que gliomes, cancers du pancréas, rectocoliques, de l'estomac, de l'œsophage, de la prostate, des testicules et cancers chez les descendants. Par ailleurs, alors qu'aucune donnée n'avait été rapportée pour le cancer du sein dans la monographie du CIRC,

l'étude de Talibov *et al.* 2019 a été identifiée dans le cadre de la recherche bibliographique mais ne permet pas de conclure quant à une association entre le cancer du sein masculin et l'exposition aux fumées de soudage.

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

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

Afin d'investiguer le caractère cancérigène de procédés pouvant générer des fumées similaires, une recherche bibliographique a été réalisée sur des techniques connexes. Deux études, celles de Pesch *et al.* (Pesch *et al.* 2019) (cancer du poumon) et de Barul *et al.* (Barul *et al.* 2020) (cancers des voies aérodigestives supérieures), citées ci-dessus, se sont également intéressées à certaines techniques connexes (découpage au chalumeau, projection thermique, brasage et oxycoupage). Mais en raison des expositions multiples ou d'un nombre limité de sujets exposés à ces techniques connexes, ces études ne permettent pas d'évaluer un risque spécifique associé à ces procédés.

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

L'assemblage à chaud est la technique la plus répandue exposant aux fumées de soudage. Il regroupe différents procédés comme le soudage ou le brasage et est à distinguer d'autres techniques d'assemblage telles que le collage ou l'assemblage mécanique. D'autres procédés (dont le brasage fort, mais également le coupage, le gougeage, la projection thermique, etc.), peuvent également émettre des fumées métalliques et ainsi exposer les professionnels. De nombreuses techniques de soudage existent actuellement et le choix de la mise en œuvre d'une technique ou d'une autre se fait selon les caractéristiques des matériaux à souder et la qualité finale de soudage désirée. Parmi les différents procédés de soudage existants, le procédé MIG-MAG semble être en 2021 celui le plus utilisé en France, suivi de près par le procédé TIG et le procédé avec électrode enrobée. Les procédés sous flux en poudre (plutôt en chaudronnerie) et le soudage par résistance par points semblent être également régulièrement mis en œuvre en France mais de façon moins importante que les procédés précités<sup>10</sup>.

De nombreux professionnels appartenant à des secteurs d'activités variés sont amenés à réaliser des travaux de soudage, sans que cela constitue par ailleurs leur activité principale et peuvent notamment être exposés aux fumées de soudage. Par ailleurs, différents corps de métiers peuvent être exposés à des fumées de soudage de façon indirecte ou passive, de par

---

<sup>10</sup> Communication de M. Scandella de l'Institut de soudure

leur présence à proximité de personnes effectuant des opérations de soudage, sans toutefois en réaliser eux-mêmes.

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

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

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

### **Recommandations**

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

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

**Afin de mettre à jour l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes, le CES recommande d'ajouter à l'arrêté l'intitulé suivant :**

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 cancérigènes, le CES recommande :**

- conformément aux dispositions du code du travail,
  - de réaliser **au moins annuellement** une évaluation du risque de cancérigénicité 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 ;
- d'informer le personnel exposé sur le risque cancérogène lié à des expositions directe et indirecte aux fumées de soudage ou aux fumées métalliques des procédés connexes listés et de le former à l'utilisation des protections collectives et individuelles adaptées ;
- d'informer et de former les employeurs au risque cancérogène lié à des expositions directe et indirecte aux fumées de soudage ou aux fumées métalliques des procédés connexes listés, de façon à les inciter à l'emploi des procédés les plus adaptés et les moins émissifs selon les opérations de soudage à réaliser.

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

- de mener des études épidémiologiques sur le risque de cancers, notamment les cancers autres que les cancers broncho-pulmonaires et du larynx, lié à l'exposition aux fumées métalliques y compris chez les professionnels mettant en œuvre des techniques connexes ;
- de préciser au mieux dans ces études épidémiologiques, le détail des procédés, des métaux et alliages mis en œuvre ainsi que les expositions associées.

Enfin, il faut souligner que cette expertise s'est intéressée uniquement au caractère cancérogène des fumées métalliques mais que les fumées de soudage métalliques peuvent aussi présenter d'autres effets sur la santé qui doivent être également pris en compte pour la prévention des risques professionnels. Elles peuvent en effet induire des effets respiratoires aigus (irritation des voies aériennes, fièvre des métaux, etc.), des effets respiratoires chroniques (pneumoconioses, asthmes, bronchites, etc.) et des affections au niveau du rein et du système nerveux central (Ricaud 2018).

#### **4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE**

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail mène un cycle d'expertises en santé travail relatif à l'identification de procédés cancérogènes à inscrire dans la réglementation française et/ou européenne pour la protection des travailleurs. La finalité de ces travaux est la maîtrise des risques professionnels associés à la mise en œuvre de ces procédés afin de prévenir les effets mutagènes ou cancérogènes. Le présent avis concerne les travaux exposant aux fumées de soudage<sup>11</sup> ainsi qu'aux fumées métalliques de procédés connexes notamment le brasage fort, le gougeage, l'oxycoupage, la projection thermique, le rechargement.

L'Anses endosse les conclusions et les recommandations du CES « Valeurs sanitaires de référence » et en particulier l'inscription **des 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** à la liste des procédés cancérogènes fixé par un arrêté conjoint des ministres chargés du travail et de l'agriculture. Elle tient à souligner que cet intitulé permet de considérer non seulement les professionnels

---

<sup>11</sup> Le périmètre de l'expertise ayant été limitée aux procédés émettant des fumées métalliques, le soudage ou autres opérations sur des matières plastiques n'ont donc pas été traités.

exposés aux fumées de soudage mais également ceux exposés aux fumées métalliques de procédés connexes dont la composition en agents cancérigènes s'avère similaire à celle des fumées de soudage. Il permet également de prendre en compte les travailleurs amenés à avoir des activités exposant à des fumées métalliques de soudage ou de procédés connexes de façon habituelle sans être directement répertoriés comme soudeurs ainsi que les travailleurs **exposés de façon indirecte**.

L'Anses tient également à rappeler que les radiations UV (ultraviolets) émises par les travaux de soudage sont également classés « cancérigènes pour l'Homme » (groupe 1) sur la base de « preuves suffisantes chez l'Homme » de l'induction de mélanomes oculaires par le CIRC et que les expositions liées aux radiations UV à large spectre sont classées comme « Cancérigène connu pour l'Homme » (« Known to be a human carcinogen ») par le programme national de toxicologie américain (ou NTP). Elle tient donc à souligner la pertinence de mener une expertise plus globale en lien avec sur les rayonnements UV en incluant les sources naturelles et industrielles dans le cadre de l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes.

**Enfin, l'Anses ajoute qu'il serait pertinent de porter au niveau européen l'inscription de ces travaux à l'annexe I de la directive 2004/37 à des fins d'harmonisation de la réglementation sur la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail.**

Dr Roger Genet

## MOTS-CLÉS

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

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

## CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2022). Avis de l'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif à l'identification de travaux ou de procédés à inscrire à l'arrêté fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes – Expertise relative aux travaux exposant aux fumées de soudage. (saisine 2017-SA-0237). Maisons-Alfort : Anses, 12 p.

---

**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 »**

**Décembre 2021**

### **Citation suggérée**

---

Anses. (2021). 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 2017-SA-0237). Maisons-Alfort : Anses, 106 p.

### **Mots clés**

---

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

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



## Présentation des intervenants

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

### GROUPE DE TRAVAIL

---

#### Président

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

#### Membres

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

---

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

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

### Président

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

### Vice-président

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

### Membres

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

M. Frédéric LIRUSSI – Professeur des Universités– Praticien Hospitalier (PU-PH) à l'UFR des Sciences de Santé & CHRU de Besançon - Compétences : Toxicologie Clinique, Toxicologie analytique, Immunité Innée, Reprotoxicité

M. Luc MULTIGNER – Directeur de recherche, INSERM U1085 - IRSET – Compétences : Épidémiologie, Perturbateurs Endocriniens, Pathologies des fonctions et des organes de la reproduction

Mme Nadia NIKOLOVA-PAVAGEAU – Conseiller médical à l'INRS – Compétences : Médecine du travail, toxicologie médicale, IBE

M. Benoît OURY – Responsable d'études à l'INRS – Compétences : Métrologie atmosphérique, Air des lieux de travail, évaluation expositions professionnelles

M. Henri SCHROEDER – Professeur associé à la Faculté des Sciences et Technologies de l'Université de Lorraine– Laboratoire CALBINOTOX, EA 7488 - Pharmacien neurobiologiste - Compétences : Neurotoxicité, polluants environnementaux, comportement animal, développement cérébral, exposition périnatale

M. Olivier SORG – Chef de groupe de recherche à l'Université de Genève - Compétences : Docteur es science en biochimie, toxicologie expérimentale, dermatotoxicologie

M. Jérôme THIREAU – PhD, Chargé de recherche au CNRS - Compétences : Physiologie animale, électrophysiologie, biologie cellulaire, cardiotoxicité

Mme Maeva WENDREMAIRE – Maître de conférences à l'Université de Bourgogne – Compétences : Toxicologie, reprotoxicité, pharmacologie, toxicologie analytique

---

## **PARTICIPATION ANSES**

---

### **Coordination scientifique**

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

### **Contribution scientifique**

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

Mme Sandrine CHARLES – Coordinateur d'expertises scientifiques – Anses

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

### **Secrétariat administratif**

Mme Patricia RAHYR – Anses

---

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

---

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

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

## SOMMAIRE

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

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| <b>2.5</b> | <b>Influence des différents paramètres sur l'émissivité .....</b>                                      | <b>37</b> |
| <b>3</b>   | <b>Données d'exposition .....</b>  | <b>39</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Typologie des populations exposées .....</b>  | <b>39</b> |
| <b>3.2</b> | <b>Nature des expositions.....</b>   | <b>40</b> |
| 3.2.1      | Données de composition des fumées de soudage.....  | 40        |
| 3.2.1.1    | Composition des fumées de soudage .....  | 41        |
| 3.2.1.2    | Composition des fumées émises par les techniques connexes .....  | 43        |
| 3.2.1.2.1  | <i>Brasage</i> .....   | 43        |
| 3.2.1.2.2  | <i>Coupage, Gougeage</i> .....   | 43        |
| 3.2.1.2.3  | <i>La projection thermique</i> .....   | 44        |
| 3.2.2      | Evaluations des expositions .....  | 45        |
| 3.2.2.1    | Données du CIRC .....  | 46        |
| 3.2.2.2    | Données bibliographiques publiées après la monographie du CIRC .....                                   | 50        |
| <b>4</b>   | <b>Le caractère cancérogène des travaux exposant aux fumées de soudage.....</b>                        | <b>55</b> |
| <b>4.1</b> | <b>Organismes évaluant les propriétés de cancérogénicité.....</b>                                      | <b>55</b> |
| <b>4.2</b> | <b>Evaluation par le CIRC.....</b>   | <b>55</b> |
| 4.2.1      | Données épidémiologiques.....  | 57        |
| 4.2.1.1    | Cancer du poumon.....  | 57        |
| 4.2.1.2    | Cancer du rein.....  | 58        |
| 4.2.1.3    | Cancers de la tête et du cou .....   | 58        |
| 4.2.1.4    | Autres cancers .....   | 59        |
| 4.2.1.4.1  | <i>Leucémies</i> .....   | 59        |
| 4.2.1.4.2  | <i>Lymphomes non-Hodgkiniens</i> .....   | 59        |
| 4.2.1.4.3  | <i>Cancer de la vessie</i> .....   | 60        |
| 4.2.1.4.4  | <i>Cancer du cerveau</i> .....   | 60        |
| 4.2.1.4.5  | <i>Autres sites de cancers</i> .....   | 60        |
| 4.2.2      | Données expérimentales et mécanistiques .....  | 60        |
| <b>4.3</b> | <b>Données épidémiologiques récentes.....</b>  | <b>61</b> |
| 4.3.1      | Méthodologie .....   | 61        |
| 4.3.2      | Analyse des données.....   | 62        |
| 4.3.2.1    | Cancer du poumon.....  | 62        |
| 4.3.2.2    | Cancer du rein et du bassinnet .....   | 63        |
| 4.3.2.3    | Cancer des voies urinaires.....  | 63        |
| 4.3.2.4    | Gliomes .....  | 64        |
| 4.3.2.5    | Cancer du sein .....   | 64        |
| 4.3.2.6    | Cancers des voies aéro-digestives supérieures.....   | 64        |
| 4.3.3      | Synthèse des résultats.....  | 66        |
| <b>4.4</b> | <b>Caractère cancérogène des fumées émises par d'autres procédés que les procédés de soudage .....</b> | <b>72</b> |
| 4.4.1      | Cancer du sein.....  | 72        |
| 4.4.2      | Synthèse des résultats.....  | 73        |
| <b>5</b>   | <b>Conclusion .....</b>  | <b>74</b> |
| <b>6</b>   | <b>Recommandations .....</b>   | <b>78</b> |
| <b>7</b>   | <b>Bibliographie .....</b>   | <b>80</b> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>ANNEXES .....</b>  | <b>84</b>  |
| <b>Annexe 1 : Lettre de saisine .....</b>   | <b>85</b>  |
| <b>Annexe 2 : Composés identifiés à l'émission dans les fumées de soudage par l'extraction de la base de données COLCHIC .....</b>    | <b>88</b>  |
| <b>Annexe 3 : Définition des fractions granulométriques et nomenclature des fractions inhalable et alvéolaire en anglais .....</b>    | <b>89</b>  |
| <b>Annexe 4: Cancer et exposition aux fumées de soudage ou aux fumées émises par les techniques connexes. Etudes de cohorte .....</b> | <b>91</b>  |
| <b>Annexe 5 : Cancer et exposition aux fumées de soudage. Etudes cas-témoins.....</b>   | <b>93</b>  |
| <b>Annexe 6 : Présentation des positions d'abstention .....</b>   | <b>102</b> |
| <b>Annexe 7 : Consultation publique.....</b>  | <b>104</b> |
| <b>Annexe 8 : Suivi des actualisations du rapport .....</b>   | <b>105</b> |
| <b>Notes .....</b>  | <b>106</b> |

## Sigles et abréviations

ACGIH®: American Conference of Governmental Industrial Hygienists

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

AST : Appui scientifique et technique

Carsat : Caisses d'assurance retraite et sécurité au travail

CAS : Chemical Abstracts Service

CES : Comité d'experts spécialisés

CE : Communauté Européenne

CER : Comité d'évaluation des risques (ou Risk Assessment Committee (RAC) en anglais)

CIRC : Centre international de recherche sur le cancer (ou IARC en anglais)

CLP : Classification, Labelling, Packaging (classification, étiquetage, emballage)

CMR: Cancérogène, mutagène, reprotoxique

CNAM : Caisse nationale d'assurance maladie

COLCHIC : Collecte des données chimiques des caisses d'assurances retraite et de la santé au travail

CRRMP: Comité régional de reconnaissance des maladies professionnelles

DFG: German Research Foundation (fondation allemande pour la recherche)

DGT : Direction générale du travail

ECHA : European Chemicals Agency (agence européenne des produits chimiques)

GT : Groupe de travail

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

INRS : Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles

IRIS: Integrated Risk Information System

LNH : Lymphomes non hodgkiniens

MAG: Metal Active Gas (ou soudage sous protection de gaz actif)

MEGA: Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz (données de mesures des expositions à des substances dangereuses sur le lieu de travail)

MIG: Metal Inert Gas (ou soudage sous protection de gaz inerte)

mRR : méta-risque relatif

NF: Norme française

NIOSH: National Institute for Occupational Safety and Health (Etats-Unis)

NTP: National Toxicology Program

OR : Odd Ratio

PM2.5 : Particules dont le diamètre est inférieur à 2.5 µm

PM10 : Particules dont le diamètre est inférieur à 10 µm

PME : Petite et moyenne entreprise

PRT: Pathologie en relation avec le travail

PTA : Plasma à arc transféré

PUF : Particules ultrafines

RAHC: Reasonably anticipated human carcinogen

RNV3P: Réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles

RoC : Report of Carcinogens

RR : Risque relatif

SGH : Système global harmonisé

SUMER : Surveillance médicale des risques professionnels

TIG : Tungsten Inert Gas (ou soudage sous protection de gaz inerte avec électrode de tungstène)

TPE : Très petite entreprise

UE : Union européenne

US EPA: United States Environmental Protection Agency

UV: Ultra-violet

VAS: Voies aérodigestives supérieures

## Liste des tableaux

|   |    |
|---|----|
| Tableau 1 : Consultations pour des pathologies cancéreuses dans les CCPPE (RNV3P : 2001-2019).....                                | 14 |
| Tableau 2 : Les trois types de brasage .....  | 29 |
| Tableau 3 : Points de fusion selon le métal de base.....  | 30 |
| Tableau 4 : Principales caractéristiques des différents procédés de projection thermique (Mater et Savary 2014, Savary 2014)..... | 33 |
| Tableau 5 : : Principales caractéristiques des différents procédés de coupage (Moreau et Grzebyk 2009)..                          | 34 |
| Tableau 6 : Description des points forts en fonction des techniques utilisées pour le rechargement .....                          | 36 |
| Tableau 7 : Principaux composés cancérogènes identifiés dans les fumées de soudage.....   | 41 |
| Tableau 8 : Informations sur la composition des fumées selon le type de machine de coupage (Ricaud 2018) .....                    | 44 |



|   |    |
|---|----|
| Tableau 9 : estimation des moyennes géométriques des expositions professionnelles aux fumées de soudage pour les fractions inhalable et alvéolaire..... | 53 |
| Tableau 10: résultat de la recherche bibliographique relative à la cancérogénicité des fumées de soudage  | 62 |
| Tableau 11 : Synthèse des résultats par type de cancer .....  | 69 |
| Tableau 12 : Résultats recherche bibliographique pour les autres procédés .....   | 72 |
| Tableau 12 : Composés identifiés dans les fumées de soudage par l'extraction de la base de données COLCHIC .....  | 88 |

## Liste des figures

|   |    |
|---|----|
| Figure 1 : Soudage à la flamme .....  | 19 |
| Figure 2 : Classification des procédés de soudage selon la nature de l'énergie utilisée pour réaliser l'assemblage (Paillard 2014).....   | 20 |
| Figure 3 : Soudage à l'arc avec électrode enrobée (Anecy Santé au travail 2009).....  | 21 |
| Figure 4 : Soudage MAG fil plein (Anecy Santé au travail 2009).....   | 22 |
| Figure 5 : Electrode utilisée dans le soudage à fil fourré (Cazes 2017).....  | 23 |
| Figure 6 : Soudage TIG (Institut de soudure 2021c).....   | 24 |
| Figure 7 : Soudage à l'arc sous flux en poudre (Institut de soudure 2021b).....   | 25 |
| Figure 8: Soudage plasma (Shigeta, Tanaka, et Ghedini 2019).....  | 26 |
| Figure 9 : Représentation schématique de procédés de soudage électrique par résistance (INRS 2017) ....   | 28 |
| Figure 10 : Opération de brasage tendre sur des circuits imprimés (Ricaud 2018).....  | 30 |
| Figure 11 : Principe de la projection thermique (Savary 2014).....  | 34 |
| Figure 12 : Exemple de gougeage (Symop).....  | 35 |
| Figure 13 : Les principaux polluants émis lors des différents procédés de projection thermique en fonction des matériaux à déposer (Ricaud 2018).....                               | 45 |
| 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)..... | 89 |

# 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 arrêté<sup>1</sup> 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.

---

<sup>1</sup> 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 »

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

Depuis la publication de la note d'AST, l'Anses a sollicité des extractions de la base de données du réseau national de vigilance et de prévention des pathologies professionnelles (RNV3P) relatives aux consultations dans les Centres français de consultations de pathologies professionnelles et de l'environnement (CCPPE), motivées par des pathologies cancéreuses associées à des expositions professionnelles à des fumées de soudage. Les résultats de cette enquête sont présentés dans le Tableau 1.

**Tableau 1 : Consultations pour des pathologies cancéreuses dans les CCPPE (RNV3P : 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 |             |
|   |   |                 |                               |                 |             |
| <b>Bronchopulmonaires</b>   | 34                                      | 355             | 84                            | 843             | 1316        |
| <b>Mésothéliome pleural</b>                                       |   | 1               |                               | 6               | 7           |
| <b>Nasosinusiens</b>  | 2                                       |                 | 1                             | 5               | 8           |
| <b>Larynx</b>   |   | 2               | 1                             | 6               | 9           |
| <b>Oropharynx</b>   |   |                 |                               | 8               | 8           |
| <b>Voies urinaires</b>  |   | 10              | 10                            | 64              | 84          |
| <b>Rein</b>   |   | 3               | 2                             | 7               | 12          |
| <b>Syndrome myélodysplasique ou Leucémie aigüe myéloïde (LAM)</b> |   |                 | 2                             | 1               | 3           |
| <b>Syndromes myéloprolifératifs</b>                               |   |                 | 1                             | 4               | 5           |
| <b>Lymphomes non-hodgkiniens</b>                                  |   | 1               |                               | 9               | 10          |
| <b>Lymphome de Hodgkin</b>  |   |                 |                               | 1               | 1           |
| <b>Myélome</b>  |   |                 | 1                             |                 | 1           |
| <b>Autres ou non précisés</b>                                     |   |                 |                               | 8               | 8           |
| <b>TOTAL</b>  | <b>36</b>                               | <b>372</b>      | <b>102</b>                    | <b>962</b>      | <b>1472</b> |

Les tumeurs concernées sont essentiellement des cancers bronchopulmonaires (89,4 % des cas), ce qui dénote seulement la fréquence de ces tumeurs et le biais de notoriété<sup>2</sup> concernant leur

<sup>2</sup> 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

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

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

## 1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

### 1.3.1 Moyens mis en œuvre et organisation

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

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

---

<sup>3</sup> 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> )

<sup>4</sup> 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.

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

Le rapport d'expertise collective a fait l'objet d'une consultation publique du 27 septembre au 19 novembre 2021. L'unique commentaire reçu (voir annexe 7) a été examiné et discuté par le GT « Procédés cancérogènes » le 6 décembre 2021. Le CES VSR a ensuite adopté la version finalisée le 16 décembre 2021. Deux experts se sont abstenus. Leurs positions sont détaillées en annexe 6 du rapport d'expertise collective.

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

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

### 1.3.2 Autres moyens mis en œuvre et organisation

#### Extraction de la base de données COLCHIC

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

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

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

### 1.4 Champ d'expertise de l'étude

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

L'expertise du présent rapport concerne les travaux exposant aux fumées de soudage. Les activités, procédés étudiés sont uniquement les procédés de soudage définis dans la norme NF EN ISO 4063 de février 2011 ainsi que les techniques connexes (telles que le brasage, le coupage, le gougeage<sup>5</sup>, la projection thermique, le rechargement) émettant des fumées métalliques. L'enquête SUMER 2017<sup>6</sup> définit par « fumées de soudage d'éléments métalliques » les fumées dégagées lors d'opérations de soudage d'éléments métalliques quelle que soit la

---

<sup>5</sup> Dans ces travaux, il n'est question que du gougeage thermique (et pas du gougeage mécanique).

<sup>6</sup> [https://dares.travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/dares\\_expositions\\_risques\\_professionnels\\_produits\\_chimiques-2.pdf](https://dares.travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/dares_expositions_risques_professionnels_produits_chimiques-2.pdf)

nature du métal (acier inox<sup>7</sup>, acier, laiton, aluminium, plomb...) et du procédé utilisé (chalumeau, arc électrique, procédés MIG, TIG, MAG...). Le groupe de travail a retenu cette définition et l'emploi du terme « fumées de soudage » dans le reste du rapport fera référence à cette définition. Ainsi, le soudage, le brasage ou autres opérations sur des matières plastiques ne sont pas traités dans cette expertise.

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

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

## 1.5 Prévention des risques de conflits d'intérêts.

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

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

---

<sup>7</sup> 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](https://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/Euro_Inox/What_is_Stainless_Steel_FR.pdf))

## **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<sup>ème</sup> siècle. Les premiers dispositifs de soudure à l'arc datent de la fin du 19<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> 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, Paillard 2014, Ricaud 2018, Weman 2020).

### **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



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

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

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

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

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

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

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

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

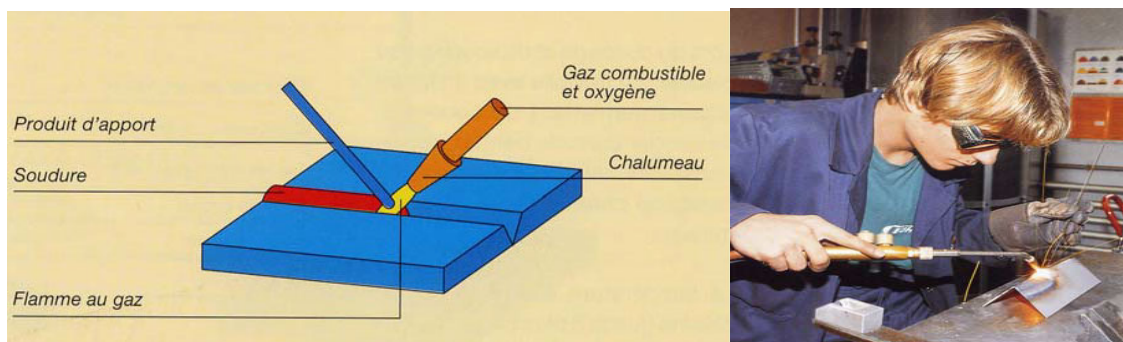


Figure 1 : Soudage à la flamme

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

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

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

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

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

### 2.3.2 Soudage à l'arc électrique

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

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

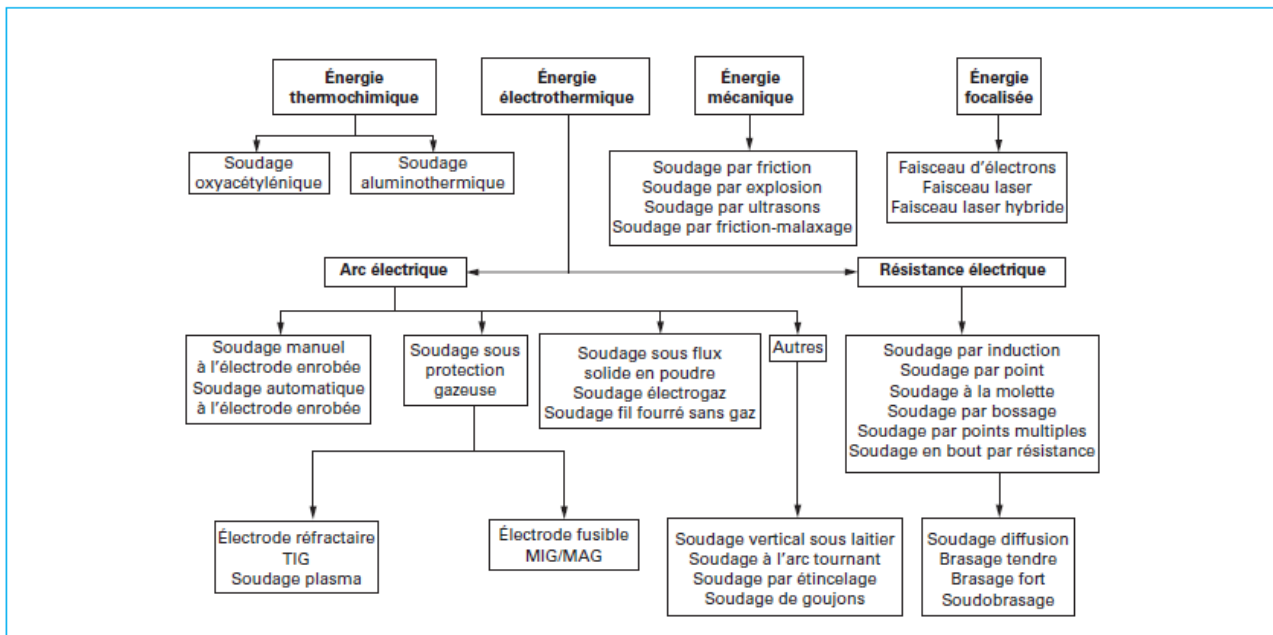


Figure 2 : Classification des procédés de soudage selon la nature de l'énergie utilisée pour réaliser l'assemblage (Paillard 2014)

Un descriptif des principales techniques est présenté ci-dessous.

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

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

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

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

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

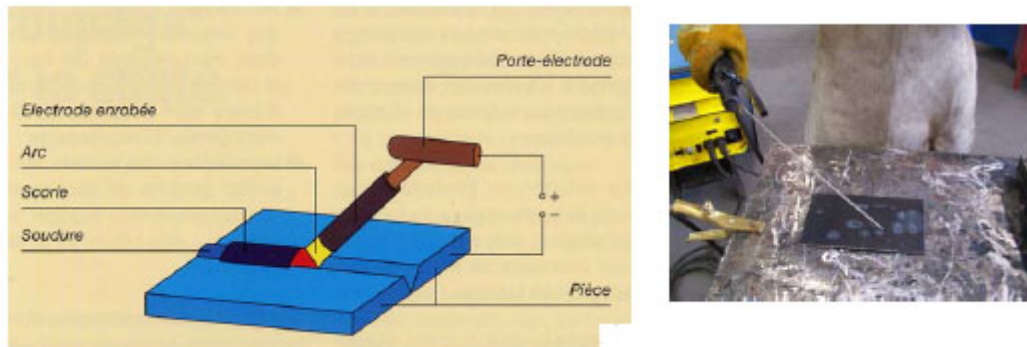


Figure 3 : Soudage à l'arc avec électrode enrobée (Annecy Santé au travail 2009)

Au cours de la fusion du métal de l'électrode, des fumées, des particules incandescentes, du laitier en fusion et des rayonnements optiques de l'arc sont émis (INRS 2011). Leur importance dépend des conditions de soudage, notamment :

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

### 2.3.2.2 Soudage à l'arc sous protection gazeuse

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

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

- procédé de soudage : type, paramètres (intensité, longueur d'onde, etc.), débit du gaz propulseur ;
- fil ou électrode de soudage : diamètre, composition et épaisseur de l'enrobage ;
- composition des pièces à souder : composition métallique et revêtements ;
- positionnement du pistolet de soudage pendant l'opération (CARSAT 2014).

#### 2.3.2.2.1 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)

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

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

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

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

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

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

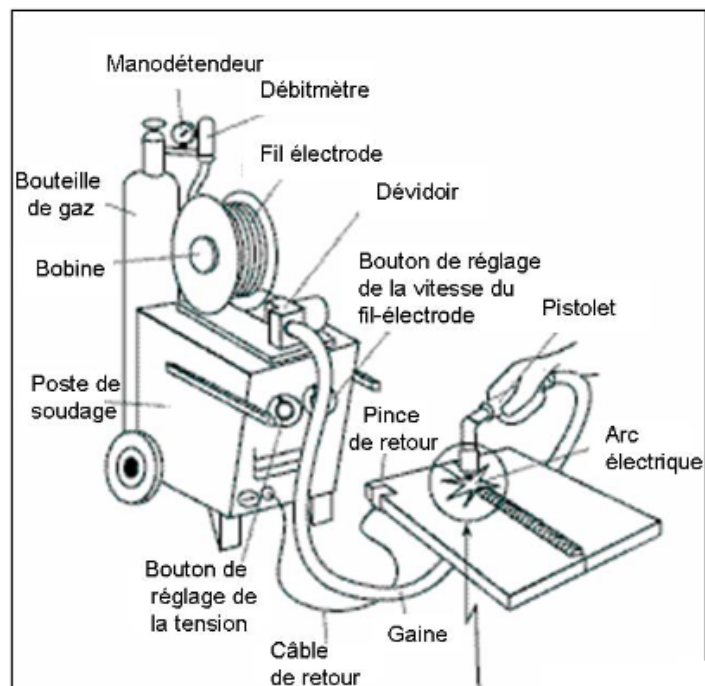


Figure 4 : Soudage MAG fil plein (Annecy Santé au travail 2009)

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

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

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

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

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

Employé automatiquement, on rejoint les avantages du soudage sous flux en poudre sans avoir les difficultés technologiques liées à la nature pulvérulente du flux, à son traitement et à son alimentation dans la zone de l'arc. Les conditions physiques de l'arc avec fil fourré donnent lieu à peu de projections de métal mais, en contrepartie, entraînent un dégagement important de fumées de soudage. Lorsque les fils fourrés nécessitent une protection gazeuse complémentaire, celle-ci est généralement du dioxyde de carbone.

Le soudage avec fil fourré est utilisé en mono- et multipasses pour obtenir des productivités ou des qualités métallurgiques supérieures, lorsque cela s'impose, au soudage MAG dans le cas d'épaisseurs élevées et/ou des facilités de mise en oeuvre par rapport au soudage sous flux.

Les matériaux soudables sont presque exclusivement les aciers au carbone alliés ou faiblement alliés. Les domaines d'emploi sont par suite la construction métallique et la mécano-soudure légère ou moyenne (Cazes 2017).

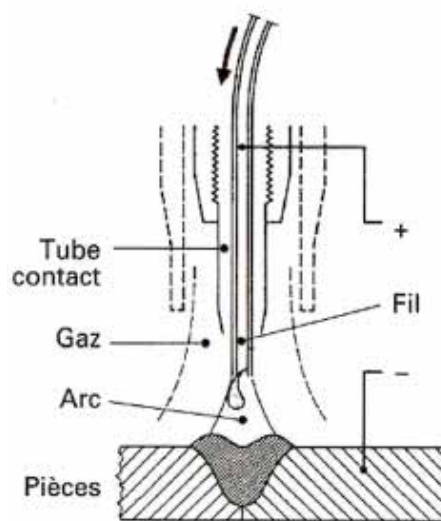


Figure 5 : Electrode utilisée dans le soudage à fil fourré (Cazes 2017)

#### 2.3.2.2.3 Tungsten Inert Gas ou soudage sous protection de gaz inerte avec électrode de tungstène (TIG) (procédé 141 de la norme NF EN ISO 4063)

Le procédé TIG correspond à une autre technique de soudage à l'arc sous protection gazeuse. Il s'agit d'un procédé de soudage par fusion dont la source de chaleur est un arc électrique qui est établi entre une électrode de tungstène non fusible et les pièces à souder.

L'électrode est obligatoirement à base de tungstène, éventuellement additionné de divers oxydes métalliques (NF EN ISO 6848). Son point de fusion étant particulièrement élevé, l'électrode ne fond pas pendant le soudage et ne sert que de vecteur à l'arc électrique. Une baguette métallique est appliquée à la zone de soudage et sert de liant entre les deux pièces.

Le gaz de protection délivré au cours de l'opération de soudage est un gaz inerte composé d'argon ou d'hélium ou d'un mélange des deux. Il est utilisé afin de protéger l'électrode, le bain de fusion et ses abords de l'oxydation.

Les deux métaux principalement soudés à l'aide du procédé TIG sont l'aluminium et l'acier inoxydable (mais le procédé peut être employé sur la plupart des métaux, excepté le zinc). Les métaux d'apport sont très divers, en fonction du support.

Cette technique de soudage, d'un résultat de haute qualité, exige un niveau de compétence particulier. Le procédé TIG est présent certainement dans tous les secteurs industriels réalisant des assemblages soudés : quand il n'est pas utilisé comme moyen d'assemblage principal, il est mis à profit pour réaliser le pointage de pièces car les points TIG sont aisément refondus pendant

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

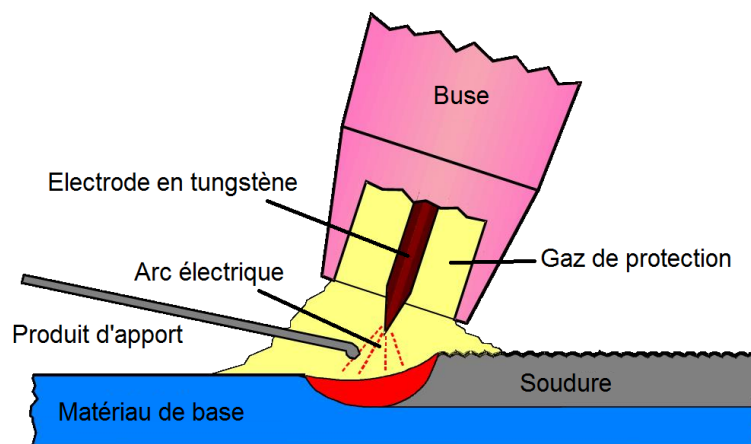


Figure 6 : Soudage TIG (Institut de soudure 2021c)

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

Le procédé TIG produit peu de fumées de soudage à condition que l'on soude des pièces propres et exemptes de revêtements à bas point de fusion. Cela résulte de la stabilité de l'arc électrique, qui est elle-même liée au fait que l'arc électrique et le produit d'apport sont dissociés. Ainsi, on peut le mettre en œuvre sans produit d'apport pour assembler des pièces dont l'épaisseur n'excède pas environ 5 mm. L'émission des fumées de soudage, tant dans le débit d'émission que dans sa composition, dépend de la composition des métaux à assembler (émission de chrome (VI) lors d'assemblage de pièces en acier inoxydable, par exemple) (Annecy Santé au travail 2009, Cazes 2017, Institut de soudure 2021c, Paillard 2017).

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

Le procédé de soudage à l'arc sous flux en poudre est apparu en 1935 avec l'utilisation simultanée de flux sous la forme de granulés et d'électrodes nues. La particularité du procédé de soudage sous flux en poudre est l'ajout séparé de poudre céramique (flux) au produit d'apport pour former un laitier permettant de protéger le bain de métal liquide. En effet, les procédés de soudage à l'arc font, soit appel à un gaz pour assurer cette fonction, soit, quand ils utilisent également de la poudre céramique, celle-ci est déjà présente à l'intérieur ou à l'extérieur du consommable. La pièce à souder et l'électrode sont recouvertes du flux. Un arc électrique est amorcé et fait fondre une partie du flux. Le flux non fondu est récupéré et réutilisé. Le flux contient typiquement de la poudre céramique de granulométrie très fine, qui peut être agglomérée avec un liant, être enrichie en manganèse pour le soudage d'alliages à base de nickel ou fondue. Cette technique de soudage s'utilise en soudage à plat voire en corniche ; elle est généralement automatisée (Cazes 1990, 2017, Iarc 2018, INRS 2015, Institut de soudure 2021b, Symop).

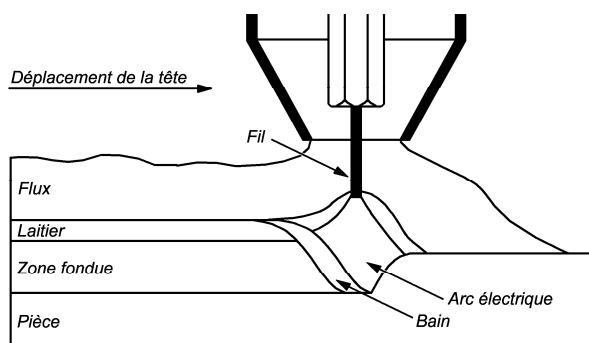


Figure 7 : Soudage à l'arc sous flux en poudre (Institut de soudure 2021b)

Dans ce procédé, les fumées de soudage sont très fortement réduites (Institut de soudure 2021b). Cette technique est adaptée pour des soudures longues et fines (Iarc 2018).

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

Le soudage par faisceau laser est basé sur la capacité du procédé à créer une zone fondue via un « keyhole » (trou de serrure) ou capillaire de vapeur grâce à une très forte densité de puissance. Une source de lumière d'un faisceau laser produit l'intensité qui provoque la fusion et la vaporisation des pièces de métal à souder (Institut de soudure 2010, Ricaud 2018). La température obtenue est plus précise que celle du soudage à la flamme ou à l'arc électrique (Cazes 2001, Symop).

Le matériau d'apport, pour le soudage laser, se présente soit sous forme de fil, soit sous forme de poudre (Ricaud 2018). Le faisceau laser porte le métal jusqu'à son point de fusion. Après le passage du faisceau, il se solidifie à nouveau et assure ainsi la soudure entre les deux pièces métalliques, d'une manière invisible à l'œil nu (Institut de soudure 2010).

Il existe trois types de soudage laser :

- le soudage laser à gaz CO<sub>2</sub> ;
- le soudage laser à solide Nd-YAG (Yttrium Aluminium Garnet ou grenat d'yttrium aluminium dopé au néodyme) ;
- les diodes laser : technologie issue de l'électronique avec un semi-conducteur.

Les vitesses de soudage, dans le deuxième cas, sont plus faibles que dans le premier. En revanche, dans le cas de paramètres de soudage optimisés, les débits d'émission de polluants sont plus faibles (Ricaud 2018).

Le principal avantage du procédé de soudage par faisceau laser est sa possibilité de souder à de grandes vitesses. En comparaison avec des procédés de soudage conventionnels pour lesquels la vitesse se compte généralement en dizaines de centimètres par minute, les vitesses de soudage laser se comptent en mètres par minute, soit une augmentation par un facteur 10 (Institut de soudure 2010).

Le soudage par faisceau laser est en forte progression au niveau industriel et les applications sont très variées, notamment dans l'industrie automobile qui utilise le soudage pour des pièces mécaniques, des renforts, des éléments de carrosserie ou des capteurs chez les équipementiers, ou encore dans l'industrie aéronautique où les raidisseurs sont réalisées par soudage par faisceau laser (Cazes 2001, Institut de soudure 2010).

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

Le procédé de soudage par jet de plasma est une évolution du procédé TIG, la caractéristique principale qui différencie les deux procédés étant la densité de puissance bien plus élevée dans le cas du plasma. Par rapport au procédé TIG, le plasma réduit fortement le temps de soudage (par la réduction du nombre de passes ou l'augmentation de la vitesse de soudage) et les déformations (Institut de soudure 2021a). Dans ces types de soudures, l'augmentation de l'intensité du courant permet d'augmenter la quantité de métal en fusion, mais en même temps, augmente la température de ce dernier avec un risque de diminution de la qualité intrinsèque de la soudure (Dong *et al.* 2019).

Une torche de soudage plasma est constituée, dans son axe de révolution, d'une électrode de tungstène (la cathode) autour de laquelle se trouve une buse en alliage base cuivre (l'anode), refroidie par de l'eau. Entre les deux transite un gaz plasmagène, lequel est ionisé par l'arc électrique établi entre l'anode et la cathode. Il en résulte un plasma qui est un gaz ionisé. Cette ionisation peut être obtenue en soumettant le gaz à un fort chauffage ou à un fort champ électrique (Ecole Polytechnique 2010, Institut de soudure 2021a).

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

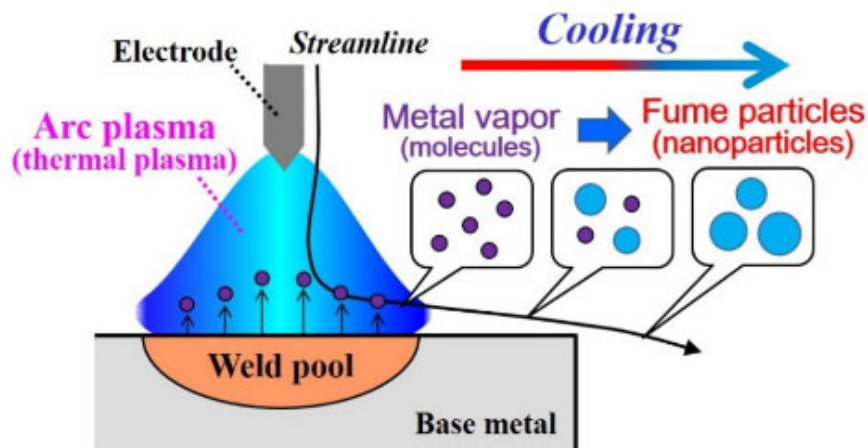


Figure 8: Soudage plasma (Shigeta, Tanaka, et Ghedini 2019)

Le procédé plasma est une bonne alternative au procédé TIG, notamment lorsque l'épaisseur des pièces fait que le procédé TIG ne permet pas de réaliser l'assemblage en une passe. Le procédé plasma est bien accepté pour des applications où le procédé TIG est utilisé, par exemple dans les secteurs nucléaire ou aérospatial. Le soudage plasma se retrouve dans beaucoup d'applications de soudage de viroles. Il est également très populaire dans le secteur de la maintenance pour réaliser des opérations de réparation ou de revêtement : aéronautique (aubes, carters...) ou encore pétrole et gaz (revêtement de sièges de vannes, revêtements durs contenant des carbures de tungstène, etc.) (Institut de soudure 2021a).

Sa variante appelée microplasma permet au contraire de souder des pièces extrêmement fines (de l'ordre du dixième de mm) grâce à la stabilité de la colonne de plasma (Cazes 1985, Institut de soudure 2021a).



### 2.3.5 Soudage hybride

Le soudage hybride consiste à combiner deux procédés (Ricaud 2018). Le principe est de plus en plus utilisé. Il a comme avantage d'obtenir des performances en matière de fusion du métal et de vitesse de progression supérieures à celles de chaque procédé pris séparément.

Les hybridations les plus connues sont les suivantes :

- laser + MIG
- laser + TIG
- plasma + MIG
- plasma + TIG
- laser + plasma

### 2.3.6 Autres procédés de soudage

La nomenclature des procédés de soudage figurant dans la norme NF EN ISO 6947 liste tous les types de soudage, certains n'étant utilisés que dans des applications très spécifiques (AFNOR 2011, Weman 2012).

#### 2.3.6.1 Soudage électrique par résistance

Le soudage électrique par résistance ne nécessite pas de métal d'apport. Les pièces à souder sont reliées à un courant électrique qui provoque une forte élévation de la température (INRS 2017). Selon le type de pièces à souder et la longueur de soudage souhaitée, la technique de soudage électrique par résistance peut être choisie parmi une vingtaine de techniques dont les plus fréquemment utilisées sont :

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

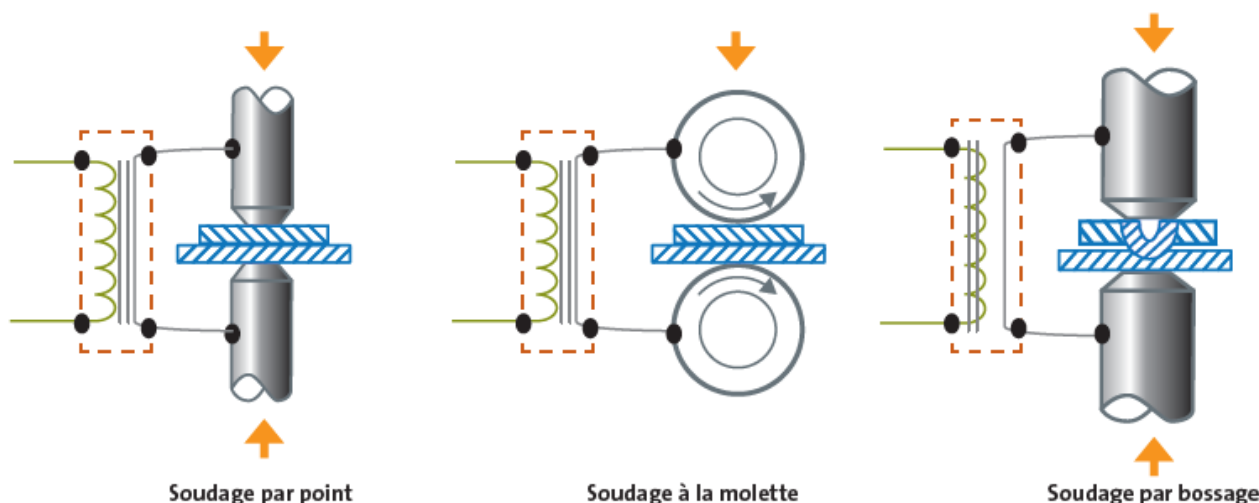


Figure 9 : Représentation schématique de procédés de soudage électrique par résistance (INRS 2017)

Cette technique de soudage est surtout utilisée pour souder de fines épaisseurs (Iarc 2018). Dans le cas de tôles fines, elle permet même de souder trois à quatre épaisseurs en même temps (INRS 2017). Elle est la plupart du temps automatisée ; l'opérateur ne doit assurer que la conduite du matériel. Cette technique est fréquemment retrouvée dans l'industrie automobile (Iarc 2018), l'aérospatiale, l'industrie nucléaire ou la métallurgie (Cazes 1993, Hong *et al.* 2018).

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

- soudage par friction (procédé 42 de la norme NF EN ISO 4063), friction-malaxage (procédé 43 de la norme NF EN ISO 4063), friction par point : ce sont des procédés de soudage qui utilisent la chaleur produite par la friction métal-métal. Ces procédés sont automatisés et peu générateurs de fumées (Cazes 2003, Institut belge de la soudure 2021) ;
- soudage par ultrasons (procédé 41 de la norme NF EN ISO 4063) : procédé de soudage utilisant une énergie vibratoire à haute fréquence, les matériaux ne subissent pas de fusion ;
- soudage par induction (procédé 74 de la norme NF EN ISO 4063) ;
- soudage par explosion (procédé 441 de la norme NF EN ISO 4063) : l'assemblage de deux pièces est réalisé à l'aide d'une explosion contrôlée : un explosif recouvre la surface de la pièce à souder au métal support, l'énergie de l'explosion provoque un assemblage intermétallique grâce à la déformation plastique sous forme de vague (Rocdacier 2020) ;
- soudage par diffusion (procédé 45 de la norme NF EN ISO 4063) : ce type de soudure est réalisé dans une enceinte sous vide, les pièces à assembler sont mises sous pression ; il en résulte une diffusion atomique et la continuité de la matière est assurée (Soudeurs.com 2012a) ;
- soudage par pression à froid (procédé 48 de la norme NF EN ISO 4063).

#### 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 (Soudeurs.com 2012b) ;

- 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 (Soudeurs.com 2018) ;
- 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 (Bienvenu 2010, Iarc 2018, Noël 1984, Ricaud 2018).

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

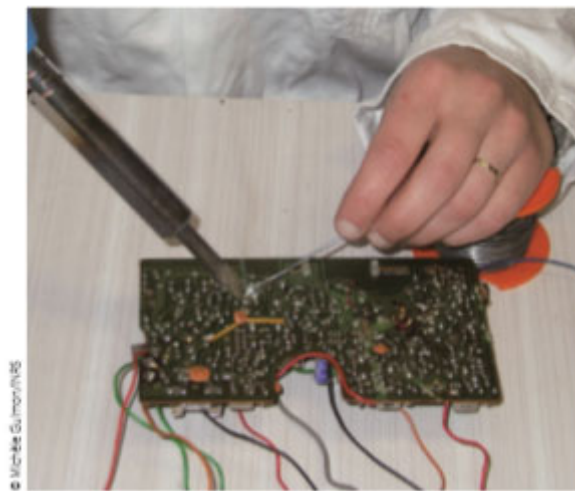
**Tableau 2 : Les trois types de brasage**

| 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 cuivre/zinc/argent | Laiton                     |
| 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 |
|--------|-------------------------|-----------------------------|------------------|

### 2.4.1.1 Brasage tendre (température < 450°C)

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



**Figure 10 : Opération de brasage tendre sur des circuits imprimés (Ricaud 2018)**

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

Les flux peuvent être de plusieurs types (INRS 2020a) :

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

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

### 2.4.1.2 Brasage fort (température > 450°C)

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

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

**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  |

Le poste à souder requiert divers équipements :

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

Le métal d'apport dépend des métaux à assembler. Lors du brasage fort, les produits d'apport sont généralement composés d'alliages à base de cuivre (éventuellement additionné de phosphore), de laiton, d'argent, d'aluminium, à base de cuivre-zinc pouvant inclure du nickel, de l'étain, de l'argent et du cadmium<sup>8</sup>. Les flux, quant à eux, contiennent un mélange d'acides boriques, de fluorures, d'oxyfluorures et de borax (Symop, Vignardet 1993, Ricaud, 2018).

#### 2.4.1.3 Soudo-brasage fort

La technique est similaire à celle du brasage fort, à la différence que l'assemblage des métaux ne se fait pas par capillarité comme dans le brasage fort, mais par accroche pelliculaire.

Dans le cas du soudo-brasage, le métal à assembler est porté à une température légèrement inférieure à sa température de fusion.

La tenue mécanique du soudo-brasage est excellente, en revanche le joint n'est pas étanche. La pratique du soudo-brasage fort dépend donc du résultat souhaité (Symop).

### 2.4.2 Projection thermique

La projection thermique est un traitement de surface qui consiste à projeter un matériau d'apport chauffé à haute température. Un gaz vecteur ou de l'air comprimé sert à transporter les fines particules ; il permet aussi de chauffer les particules jusqu'à leur point de fusion.

---

<sup>8</sup> 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.

Les particules s'écrasent sur le support pour former le revêtement désiré. Les liaisons entre le métal support et le métal d'apport sont purement mécaniques.

En effet, cette technique est utilisée pour conférer au support initial des propriétés anti-corrosion, anti-usure, isolation ou conductibilité électrique, thermique, rechargement de matière, etc.

Elle est utilisée dans des secteurs d'activités variés (revêtement des métaux, aéronautique, ferroviaire, verre...) principalement chez des sous-traitants et des TPE-PME.

Des composés métalliques à effets cancérogènes tels que ceux à base de chrome, de nickel, d'aluminium sont utilisés en projection thermique (Proner 1999).

Tableau 4 : Principales caractéristiques des différents procédés de projection thermique (Mater et Savary 2014, Savary 2014)

| 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 :<br>aéronautique, automobile, papeterie, aciérie, sidérurgie, construction d'infrastructures<br><br>Résolution de problèmes d'abrasion, corrosion, usure, isolation thermique ou électrique | Secteurs :<br>automobile, aéronautique | Secteurs :<br>automobile, aéronautique<br><br>Résolution de problèmes d'usure, corrosion, barrière thermique, frottement ou oxydation | Secteurs :<br>aéronautique, aciérie et papeterie<br><br>Résolution de problèmes d'anticorrosion | Secteurs : textile, sidérurgie, aéronautique et chimie. |

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

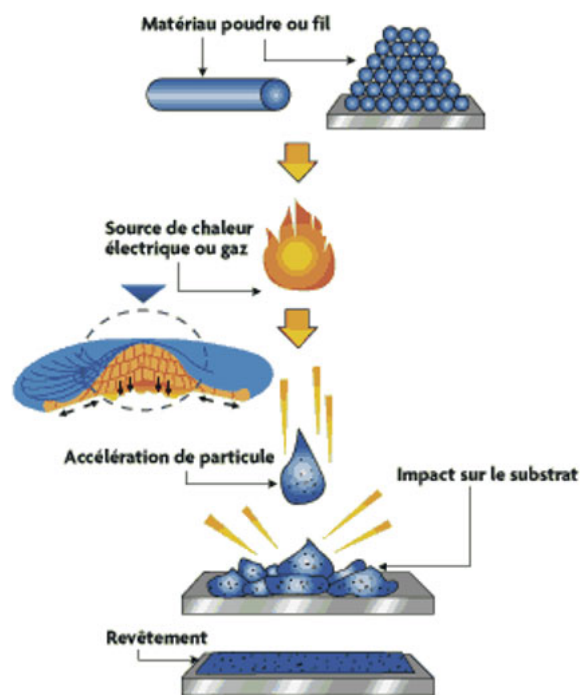


Figure 11 : Principe de la projection thermique (Savary 2014)

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

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

Dans le cas du coupage, chauffer localement le métal jusqu'au point de fusion permet de séparer la pièce en deux ; le métal fondu est expulsé sous forme de gouttelettes ou microparticules par l'action du gaz sous pression nécessaire à la découpe (Moreau et Grzebyk 2009).

On distingue 3 procédés de découpe de métal :

- laser ;
- oxycoupage ;
- plasma.

Tableau 5 : : Principales caractéristiques des différents procédés de coupage (Moreau et Grzebyk 2009)

|                | 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                   | Pièces de dimensions | Petites dimensions |



|   | épaisseur, largeur, longueur | intermédiaires       | 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                            |

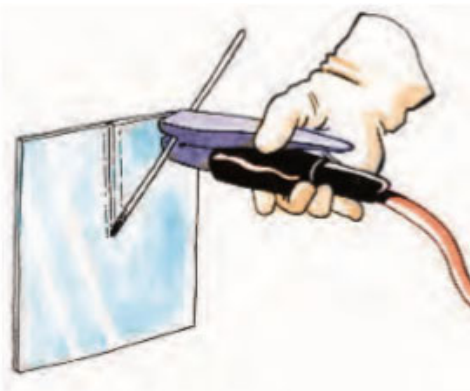
*\*Deux cas particuliers : l'aluminium est principalement découpé par laser, de temps en temps par plasma et exceptionnellement par oxycoupage. Le titane est découpé uniquement par laser*

La fusion du métal et les réactions chimiques associées engendrent l'émission de particules et de gaz. L'émission de ces polluants dépend de la technique de coupe utilisée, de la vitesse de coupe, de la pression et de la composition du gaz de découpe. Les polluants particuliers émis dépendent du matériau de base (CARSAT 2014, Moreau et Grzebyk 2009, Ricaud 2018).

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

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

Il est utilisé pour creuser un sillon destiné à recevoir un cordon de soudure ou pour éliminer un 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

**Figure 12 : Exemple de gougeage (Symop)**

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

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

Le gougeage arc-air se réalise avec une électrode spécifique, une torche de gougeage et un jet d'air comprimé pour éjecter le métal en fusion. Cette technique est simple et rapide à mettre en œuvre mais il s'agit d'une opération très polluante et très bruyante, réalisée généralement en cabine insonorisée avec l'opérateur équipé d'une cagoule ventilée (CARSAT 2014).

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

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

## 2.4.5 Rechargement

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

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

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

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

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

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

| Procédé                                 | Points forts  |
|---|---|
| Chalumeau                               | Coût d'investissement très faible<br>Adapté pour revêtir des pièces de forme complexe<br>Préservation des carbures (dépôts composites avec carbure de tungstène (WC)) |
| Electrode enrobée                       | Coût d'investissement très faible<br>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 »)<br>Taux de dépôt très élevé<br>Taux de dilution faible   |
| Plasma à arc transféré (PTA)            | Taux de dilution faible<br>Préservation des carbures (dépôts composites avec WC)  |
| Laser (poudre ou fil)                   | Taux de dilution très faible (surtout en laser-poudre)<br>Qualité des dépôts, microstructures très fines<br>Préservation des carbures (dépôts composites avec WC)     |

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

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

(Institut de soudure 2021d)

## 2.5 Influence des différents paramètres sur l'émissivité

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

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

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

- l'intensité de soudage,
- le régime d'arc,
- la nature et le débit du gaz protecteur (taux de CO<sub>2</sub> et émission),
- la nature du métal d'apport (diamètre du fil ou de l'électrode, rendement de l'électrode),
- la composition et l'épaisseur de l'enrobage ou du flux (fils fourrés),
- l'épaisseur et la position des pièces assemblées,
- la nature et le revêtement des pièces soudées (revêtement contenant du zinc, plomb, cadmium, chrome, etc. ou des salissures comme des graisses, des peintures ou des traces de solvants),
- la direction et le sens de déplacement de la torche (vitesse de déplacement),
- la position du soudage (à plat, en angle, verticale, etc.),
- la nature de l'opération de soudage (assemblage, rechargement, coupage...).

A noter que 95 % des constituants des fumées de soudage proviennent des produits d'apport, sauf en cas de soudage sur acier galvanisé où la couche de zinc est volatilisée (CARSAT 2014, Descotes *et al.* 2009, Ricaud 2018).

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

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

### 3 Données d'exposition

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

#### 3.1 Typologie des populations exposées

Selon l'enquête SUMER 2017<sup>9</sup>, 528 700 salariés, soit 2,1 % de l'ensemble des salariés français sont exposés aux fumées de soudage d'éléments métalliques contre 597 600 (soit 2,8% de l'ensemble des salariés) en 2010<sup>10</sup>. Les activités économiques ayant les plus grands nombres de salariés exposés, en terme d'effectifs, sont : la construction, le commerce (réparation d'automobiles et de motos), les autres industries manufacturières (réparation et installation de machines et d'équipements), les activités de services administratifs et de soutien rendus aux entreprises<sup>11</sup> (fabrication de machines et équipements, d'équipements électriques, de produits informatiques, électroniques et optiques, industries de l'habillement, du cuir et de la chaussure, industrie pharmaceutique...), la métallurgie et la fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements. En 2017, les familles professionnelles ayant les plus grands nombres de travailleurs exposés aux fumées de soudage d'éléments métalliques étaient les suivantes : ouvriers qualifiés travaillant par formage de métal, ouvriers qualifiés de la réparation automobile, ouvriers qualifiés du second oeuvre du bâtiment, techniciens et agents de maîtrise de la maintenance, ouvriers qualifiés de la maintenance, ouvriers qualifiés du gros oeuvre du bâtiment, ouvriers qualifiés travaillant par enlèvement de métal, ouvriers de la mécanique (qualifiés ou non). Néanmoins, le nombre de professionnels exposés est probablement sous-estimé par l'enquête SUMER. En effet, seules les activités et expositions des 15 jours précédant la réponse au questionnaire de l'enquête sont recensées. De plus, il est à noter que certains professionnels peuvent être amenés à réaliser du soudage sans que cela soit leur activité principale. Ces professionnels peuvent donc être exposés aux fumées de soudage, sans être comptabilisés dans les professionnels exposés (Iarc 2018, Matinet, Rosankis, et Léonard 2020).

Au niveau international, les auteurs de la monographie du CIRC (Iarc 2018) soulignent la difficulté d'appréhender le nombre de soudeurs exposés aux fumées de soudage du fait de la variabilité des méthodes d'échantillonnage et de codage, des critères d'inclusion et d'exclusion, de l'année de collecte des données et de la langue des résultats. Conscient de ces limites, le groupe de travail du CIRC a utilisé le système de données « Integrated Public Use Microdata Series, International (IPUMS-International) » pour rassembler les données brutes de 60 pays ayant effectué un recensement professionnel entre 1973 et 2015 (Minnesota Population Center, 2015). Sur la base de données compilées<sup>12</sup>, le groupe de travail du CIRC a calculé que le pourcentage moyen de désignations d'emplois incluant le soudeur, représenté dans la population active, était de 0,31 %. En appliquant ces pourcentages à l'estimation de la population économiquement active mondiale

---

<sup>9</sup>[https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/pdf/dares\\_expositions\\_risques\\_professionnels\\_produits\\_chimiques-2.pdf](https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/pdf/dares_expositions_risques_professionnels_produits_chimiques-2.pdf)

<sup>10</sup><https://dares.travail-emploi.gouv.fr/sites/default/files/pdf/2013-054-2.pdf>

<sup>11</sup> incluant en particulier les salariés intérimaires

<sup>12</sup> La liste des 60 pays inclus dans cette estimation est disponible dans le tableau 1.4 de la monographie du CIRC (Iarc, 2018)

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

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

## 3.2 Nature des expositions

### 3.2.1 Données de composition des fumées de soudage

Les procédés de soudage et de brasage, exercés à haute température, émettent des fumées, constituées d'une phase gazeuse et d'une phase particulaire (Ricaud 2018). Les gaz peuvent être de diverses natures : gaz protecteur, gaz émis par le procédé lui-même ou gaz issus de la dégradation thermique ou photochimique de revêtements ou de solvants éventuellement présents sur les pièces à assembler. Les fumées se composent également de particules (de métaux, d'oxydes métalliques, de composants du flux, de produits de dégradation des revêtements, etc.) qui peuvent être inhalées par les opérateurs. 95% des constituants des fumées de soudage proviennent des produits d'apport et moins de 5% sont issus du matériau de base (Paillard 2014, Ricaud 2018). La taille des particules dépend du type de procédé utilisé. Par exemple, Ricelli *et al.* indiquent la génération de particules d'une taille d'environ 0,15 µm pour le soudage à l'arc à l'électrode enrobée, 0,1 µm pour le procédé MAG, entre 0,1 et 0,15 µm pour les procédés MIG et inférieur à 0,05 µm pour le procédé TIG. Les petites particules sont, pour la plupart, des oxydes métalliques comparativement aux particules plus grosses qui contiennent des éléments volatils (Ricelli *et al.* 2020).

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

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

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

### 3.2.1.1 Composition des fumées de soudage

La composition des fumées ainsi que la quantité de fumées émises diffèrent d'un procédé à un autre. En effet, de nombreux facteurs peuvent influencer sur la composition des fumées : le procédé, l'électrode (diamètre, fil, rendement), les paramètres de soudage (intensité, tension, etc.), la composition du métal de base, le débit et la composition du gaz protecteur, etc (Ricaud 2018).

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

Plusieurs de ces composants sont classés comme cancérogènes par le règlement CLP en catégories 1A (réunissant les substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est avéré) ou 1B (réunissant les substances dont le potentiel cancérogène pour l'être humain est supposé) ou par le CIRC en catégories 1 (cancérogène pour l'Homme) ou 2A (probablement cancérogène pour l'Homme). C'est en particulier le cas de certaines formes ou composés d'arsenic, du béryllium, du cadmium, du chrome (VI), du cobalt, du plomb, du nickel. Il est à noter que le pentaoxyde de vanadium a été classé par le Comité d'évaluation des risques (CER ou Risk Assessment Committee (RAC)) de l'ECHA (European Chemicals Agency) en tant que cancérogène de catégorie 1B selon le CLP en septembre 2020<sup>13</sup>. De plus, les travaux exposant à la silice cristalline alvéolaire issue de procédés de travail sont classés comme procédés cancérogènes selon l'annexe I de la Directive 2017/2398, transposée en droit français par l'arrêté du 26 octobre 2020. D'autres composés peuvent également se retrouver dans cette phase particulaire : du dioxyde de titane, des métaux comme l'aluminium, l'antimoine, le baryum, le cuivre, l'étain, le magnésium, le manganèse, le molybdène, le zinc et leurs oxydes, des fluorures. Le tableau ci-dessous présente les principaux composés cancérogènes identifiés dans les fumées de soudage (Iarc 2018, Ricaud 2018).

Tableau 7 : Principaux composés cancérogènes identifiés dans les fumées de soudage

| Composés              | Classification CIRC | Classification selon le règlement CLP                                      |
|-----------------------|---------------------|--|
| Arsenic et ses oxydes | Groupe 1            | Trioxyc de diarsenic et pentoxyde d'arsenic : cancérogènes de catégorie 1A |

<sup>13</sup> 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.

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

La phase gazeuse peut être composée de différents gaz tels que les oxydes d'azote (générés par l'oxydation de l'azote de l'air), le monoxyde et le dioxyde de carbone (formés lors d'une combustion), l'ozone (résultant de la photolyse de l'oxygène de l'air sous l'action de rayonnements UV), le fluorure d'hydrogène produit par la dégradation des fluorures du flux (Iarc 2018, Ricaud 2018). L'emploi de dégraissants sur le support avant soudage peut entraîner la production de produits de dégradation thermique de ces agents : en particulier, de chlorure d'hydrogène et de phosgène, s'il s'agit d'hydrocarbures chlorés. La dégradation thermique de peintures ou de vernis



présents sur les supports traités peut, de même, libérer, divers agents toxiques : en particulier des isocyanates, des nitriles et du cyanure d'hydrogène s'il s'agit de polyuréthanes, de formaldéhyde s'il s'agit de résines phénoplastes ou aminoplastes...

Les données issues des différentes sources bibliographiques utilisées précédemment pour identifier les composants des fumées de soudage sont confortées par les données obtenues par l'extraction de la base de données COLCHIC de l'INRS sur une période allant de 2002 à 2018. En effet, au total, 204 agents chimiques ont été mesurés dont les plus fréquents étaient le manganèse, le fer et les poussières inhalables (environ 8 000 résultats chacun) suivis par le cuivre, le nickel, le zinc et le chrome (VI) et ses composés. 985 « cocktails » d'agents chimiques ont été identifiés via les données de l'INRS. Cependant, parmi tous les agents chimiques mesurés, il semble que certains ne soient pas en lien avec l'émission de fumées de soudage mais davantage avec une pollution de l'environnement de travail. Ainsi le GT a, sur la base du jugement d'experts, restreint cette liste de 204 à environ 44 agents chimiques jugés d'intérêt pour l'expertise. La liste de ces agents est disponible en annexe 2.

### 3.2.1.2 Composition des fumées émises par les techniques connexes

#### 3.2.1.2.1 *Brasage*

La quantité et la composition chimique des fumées de brasage dépendent des métaux et alliages d'apport, des flux et des paramètres du procédé (température de brasage, durée de brasage et durée du palier de brasage) (Ricaud 2018).

Concernant le brasage tendre, les fumées dégagées sont très pauvres en composés particuliers métalliques compte-tenu des faibles températures atteintes, se situant entre 180°C et 250°C. Les composés métalliques se volatilisent au-delà de ces températures expliquant ainsi la faible quantité de composés particuliers dans les fumées de brasage tendre. Les fumées sont constituées de produits de dégradation des flux (essentiellement des produits de dégradation thermique de la colophane et des amines aliphatiques). En fonction du flux, des produits gazeux tels que des fluorures et des chlorures peuvent également être présents dans ces fumées. Dans le cas où de fortes températures seraient atteintes (supérieures à 250°C), des émissions minimales des métaux constitutifs de la brasure (plomb, cadmium, argent, étain...) peuvent se produire (Ricaud 2018).

Concernant le brasage fort, les températures mises en œuvre sont supérieures à 450°C. Les produits d'apport sont composés d'alliages cuivre-zinc pouvant inclure du nickel, de l'étain, de l'argent ou du cadmium<sup>14</sup> et les flux sont composés de mélanges d'acides boriques, de fluorures, d'oxyfluorures et de borax. Ainsi, les polluants particuliers susceptibles de se retrouver dans les fumées sont les oxydes de cadmium, de cuivre, de zinc, d'argent, de bore, de nickel, d'antimoine ou d'étain selon le type de métal d'apport ainsi que des fluorures, des chlorures et des silicates selon le flux utilisé (Ricaud 2018).

#### 3.2.1.2.2 *Coupage, Gougeage*

Les procédés de type coupage et gougeage génèrent également des fumées métalliques composées d'une phase gazeuse et d'une phase particulaire. Aucune information précise n'a été

---

<sup>14</sup> 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.

retrouvée sur le gougeage dans la littérature. Du fait de la similitude des matrices impliquées et des températures de mise en œuvre, il est raisonnablement prévisible que la composition des fumées soit voisine de celles des fumées de soudage.

Les particules générées lors du coupage ont un diamètre généralement supérieur au diamètre de celles générées pendant les travaux de soudage (Ricaud 2018).

**Tableau 8 : Informations sur la composition des fumées selon le type de machine de coupage (Ricaud 2018)**

| 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> |

### 3.2.1.2.3 La projection thermique

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

La projection thermique plasma semble être la technique la plus émettrice en raison d'une vitesse de projection plus élevée, suivie de la projection thermique à l'arc électrique et enfin la projection thermique à la flamme (Ricaud 2018).

Les polluants émis sont uniquement fonction du matériau à déposer. Le métal de base n'influe ni sur les quantités ni sur la composition des polluants générés (Ricaud 2018).

La figure ci-dessous décrit les principaux constituants des fumées en fonction du type de procédé de projection thermique. Il est toutefois à noter que cette liste n'est pas exhaustive et que d'autres 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<br>Dioxyde d'azote         |
|  | Acier chrome-nickel (≤ 27 % Cr et ≤ 22 % Ni)             | Oxyde de nickel<br>Dioxyde d'azote       |
|  | Nickel et alliages de nickel (> 60 % Ni)                 | Oxyde de nickel<br>Dioxyde d'azote       |
|  | Aluminium et alliages d'aluminium                        | Oxyde d'aluminium<br>Dioxyde d'azote     |
|  | Alliages de plomb  | Oxyde de plomb<br>Dioxyde d'azote        |
|  | Cuivre et alliages de cuivre                             | Oxyde de cuivre<br>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<br>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 (Ricaud 2018)

### 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 (CARSAT 2014, Ricaud 2018).

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 alvéolaire<sup>15</sup> qui est, dans l'étude de Lehnert *et al.* fortement corrélée à l'échantillonnage de la fraction inhalable (Lehnert *et al.* 2014). 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 souvent

<sup>15</sup> La norme NF EN 481 (AFNOR 1993) 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.

analysés individuellement. En plus des fumées métalliques, les gaz (tels que O<sub>3</sub>, CO et NOx) provenant des activités de soudage sont mesurés (Iarc 2018).

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

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

### 3.2.2.1 Données du CIRC

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

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

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

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

#### Expositions aux fumées de soudage

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

Le groupe de travail du CIRC rapporte les expositions professionnelles aux fumées de soudage générées par divers procédés de soudage sur acier inoxydable et sur acier doux. Les concentrations en fumées de soudage sur l'acier inoxydable varient de moins de 1 mg/m<sup>3</sup> à plus

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

Une étude sur les apprentis soudeurs fait état de très faibles expositions lors d'opérations de soudage au gaz oxyacétylénique, avec une moyenne arithmétique de 0,0052 mg/m<sup>3</sup> (Baker *et al.*, 2016, citée par IARC, 2018) comparables aux expositions relatives au soudage TIG sur acier inoxydable comme sur acier doux (moyenne arithmétique, 0,0055 mg/m<sup>3</sup>). Ces expositions sont près de 7 fois inférieures au soudage manuel avec électrode enrobée sur acier doux (moyenne arithmétique à 0,035 mg/m<sup>3</sup>) et 5,5 fois inférieures au soudage MAG sur acier doux (moyenne arithmétique à 0,029 mg/m<sup>3</sup>) (Baker *et al.*, 2016, citée par IARC, 2018)<sup>16</sup>.

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

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

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

---

<sup>16</sup> 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

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

Le procédé de soudage et le degré d'enclassement expliqueraient 76 % de la variabilité des expositions moyennes aux particules des fumées de soudage (Hobson et *al.*, 2011 citée par Iarc, 2018). Les principaux déterminants de l'exposition aux fumées de soudage spécifiques à la taille des particules constatés par Lehnert (Lehnert et *al.* 2014), Hobson (Hobson et *al.*, 2011 citée par Iarc, 2018), Liu (Liu et *al.*, 2011 citée par Iarc, 2018) et Kromhout (Kromhout et *al.*, 2004, citée par Iarc, 2018), sont : le procédé de soudage, l'utilisation d'une ventilation et le degré d'enclassement.

Lehnert et *al.* (Lehnert et *al.* 2014) ont constaté que le soudage à l'arc avec fil fourré générait la plus forte concentration de fumées de soudage, suivi du soudage MAG et du soudage manuel avec électrode enrobée.

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

L'utilisation des trois modèles d'exposition élaborés à partir de mesures des fumées de soudage inhalables, totales et alvéolaires (Kromhout et *al.*, 2004, Liu et *al.*, 2011 et Lehnert et *al.*, 2014 citées par Iarc, 2018) par Suarathana et *al.* (Suarathana et *al.*, 2014 citée par Iarc, 2018) pour estimer l'exposition aux PUF chez les apprentis soudeurs canadiens a montré qu'ils ont une meilleure corrélation entre eux que n'importe lequel des trois modèles avec les concentrations mesurées de PUF<sup>17</sup>.

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

### Expositions au chrome et au nickel

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

- les intervalles de concentration moyenne pour le soudage manuel avec électrode enrobée et le soudage MAG étaient respectivement de 4 à 230 µg/m<sup>3</sup> (Angerer et Lehnert, 1990 ; Karlsen et *al.*, 1994 ; Edmé et *al.*, 1997 citées par Iarc, 2018) et de 10 à 185 µg/m<sup>3</sup> (Angerer et Lehnert, 1990 ; Knudsen et *al.*, 1992 ; Edmé et *al.*, 1997 citées par Iarc, 2018) ;

---

<sup>17</sup> 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/m<sup>3</sup> et 9 µg/m<sup>3</sup> (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/m<sup>3</sup> (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/m<sup>3</sup>) (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/m<sup>3</sup>) (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/m<sup>3</sup>) (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/m<sup>3</sup>) (Stridsklev et al., 2004 ; Ellingsen et al., 2006 citées par Iarc, 2018) ;
- le soudage MAG (intervalle des moyennes : 11,6-100 µg/m<sup>3</sup>) (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 doux<sup>18</sup> (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.

Persoos et al. (Persoos 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

---

<sup>18</sup> 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](http://www.a3ms.fr/wp-content/uploads/2017/02/3-1-tableau_1.pdf))

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

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

#### Expositions relatives au soudage de l'aluminium

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

Généralement, les expositions à l'aluminium des soudeurs sont mesurées dans l'urine ou le plasma. Cependant, l'aluminium en suspension dans l'air a été mesuré dans une étude portant sur 52 soudeurs d'aluminium selon le procédé MAG et 18 selon le procédé TIG ; des concentrations moyennes d'aluminium de 2,1 mg/m<sup>3</sup> (intervalle : 0,1-7,7 mg/m<sup>3</sup>) et de 0,17 mg/m<sup>3</sup> (intervalle : 0,07-0,50 mg/m<sup>3</sup>) ont été respectivement mesurées dans les fumées de soudage MAG et TIG (Maczak & Gromiec, 2002 citée par Iarc, 2018).

#### 3.2.2.2 Données bibliographiques publiées après la monographie du CIRC

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

```
( TITLE-ABS-KEY ( "welding fumes" ) AND TITLE-ABS-KEY ( composition ) OR TITLE-ABS-KEY ( component* ) OR TITLE-ABS-KEY ( substance* ) OR TITLE-ABS-KEY ( chemical* ) OR TITLE-ABS-KEY ( characterization ) OR TITLE-ABS-KEY ( characterisation ) OR TITLE-ABS-KEY ( measurement* ) OR TITLE-ABS-KEY ( analysis ) OR TITLE-ABS-KEY ( exposure ) ) AND ( LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2021 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2020 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2019 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2018 ) OR LIMIT-TO ( PUBYEAR , 2017 ) ) .
```

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

#### Etude de Kirichenko et al. (Kirichenko et al. 2018)

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



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

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

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

#### Etude de Pesch et al. (Pesch et al. 2018)

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

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

Les auteurs ont montré que la teneur en Cr (VI) variait considérablement dans les fumées de soudage. La majorité des soudeurs utilisant le procédé MIG-MAG ou le procédé TIG étaient exposés à des concentrations par poste de travail (8 heures) de Cr (VI) pour la fraction alvéolaire 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) pouvaient être rencontrées, par exemple, lors du soudage à l'arc avec électrode enrobée. Ils concluent que la concentration urinaire en Cr total, ne peut pas être utilisée pour déterminer avec précision l'exposition au Cr (VI) chez les soudeurs.

#### Etude de Kendzia et al. (Kendzia et al. 2019)

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

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

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

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

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

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

Pour les deux fractions granulométriques, les moyennes géométriques variaient de 0,1 à 0,9 mg/m<sup>3</sup> lors de la mise en œuvre des procédés TIG, autogène, résistance (soudage par points), soudage ou pulvérisation au laser et au plasma.

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

---

<sup>19</sup>L'intervalle interquartile correspond à l'intervalle entre les percentiles 25 et 75 et contient 50% des résultats.

**Tableau 9 : estimation des moyennes géométriques des expositions professionnelles aux fumées de soudage pour les fractions inhalable et alvéolaire****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 <sup>3</sup>       |         |  |         | Inhalable fraction, mg/m <sup>3</sup>        |         |  |         |
|----------------------------|-----------------------|--|---------|--|---------|--|---------|--|---------|
|                            |                       | 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 |

***Etude de Berlinger et al. (Berlinger et al. 2019)***

Cette étude a consisté à mesurer les expositions à diverses particules au cours de certains processus de travail à chaud, tels que le soudage MAG (gaz actif : oxygène, CO<sub>2</sub> ou les deux) et à l'arc manuel métallique (MMA), le coupage à la flamme et au plasma, le gougeage à l'arc air-carbone et le meulage de surface. En effet, bien que l'exposition à des contaminants de l'air issus du soudage à l'arc métallique sur les lieux de travail ait été étudiée au cours des cinq dernières décennies, d'autres processus de travail à chaud, tels que le découpage à la flamme (chalumeau oxyacétylénique) et au plasma, le gougeage à l'arc air-carbone et le meulage de surface n'ont pas fait l'objet d'autant d'études. Le meulage a été considéré dans l'étude mais les données spécifiques à cette technique ne seront pas renseignées dans la suite du rapport car le meulage ne relève pas du champ de cette expertise.

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

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

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

Les concentrations atmosphériques en particules, Cr, Fe, Mn, Ni et Cu mesurées dans la zone de respiration des travailleurs sur de courtes périodes (15 à 75 min) pendant les processus de travail

à chaud se sont avérées élevées par rapport aux valeurs limites d'exposition professionnelle moyennées sur 8 heures et utilisées dans de nombreux pays internationaux.

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

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

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

## 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) (Guha *et al.* 2017, Iarc 2018).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 4.2.1 Données épidémiologiques

### 4.2.1.1 Cancer du poumon

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

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

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

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

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

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

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

#### 4.2.1.2 Cancer du rein

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

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

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

#### 4.2.1.3 Cancers de la tête et du cou

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



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

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

#### 4.2.1.4 Autres cancers

##### 4.2.1.4.1 *Leucémies*

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

##### 4.2.1.4.2 *Lymphomes non-Hodgkiniens*

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

#### 4.2.1.4.3 Cancer de la vessie

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

#### 4.2.1.4.4 Cancer du cerveau

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

#### 4.2.1.4.5 Autres sites de cancers

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

### 4.2.2 Données expérimentales et mécanistiques

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

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

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

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

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

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

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

## 4.3 Données épidémiologiques récentes

### 4.3.1 Méthodologie

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

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

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

| Requêtes      | Nombre de publications |                    |
|---------------|------------------------|--------------------|
|               | Scopus (Title/Abs/Key) | Pubmed (Title/Abs) |
| Welding fumes | 168                    | 76                 |

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

### 4.3.2 Analyse des données

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

#### 4.3.2.1 Cancer du poumon

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

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

Pour étudier le risque de cancer du poumon associé à divers procédés de soudage ainsi qu'à l'exposition au chrome hexavalent (Cr(VI)) et au nickel (Ni), Pesch *et al.* (Pesch *et al.* 2019)<sup>20</sup> ont comparé les expositions de 3 418 cas de cancer du poumon et 3 488 témoins de sexe masculin de deux études cas-témoins en population générale conduites en Allemagne entre 1988 et 1996. Des indices d'exposition cumulée aux fumées de soudage, au Cr(VI) et au Ni sur l'ensemble de la carrière professionnelle ont été calculés en couplant l'historique des activités de soudage au cours de la carrière, recueilli par questionnaire, à une matrice permettant de déterminer le niveau d'exposition aux fumées, au Cr(VI) et au Ni à partir des procédés de soudage utilisés. Les ORs de cancer du poumon pour les soudeurs dans les catégories d'expositions cumulées les plus élevées par rapport aux non exposés, ajustés sur l'âge, le tabagisme et un historique d'emploi dans d'autres professions à risque de cancer du poumon, étaient de 1,55 (IC 95%, 1,17-2,05) pour l'exposition aux fumées de soudage, 1,85 (IC 95%, 1,35-2,54) pour l'exposition au Cr(VI), et 1,60 (IC 95%, 1,21-2,12) pour l'exposition au Ni. Des tendances significatives à l'augmentation du risque de cancer avec l'augmentation de l'exposition étaient observées. Les résultats de cette étude confortent l'hypothèse que le Cr (VI) et le nickel, issus des fumées de soudage, contribuent à l'augmentation du risque de cancer du poumon chez les soudeurs.

#### 4.3.2.2 Cancer du rein et du bassinnet

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

#### 4.3.2.3 Cancer des voies urinaires

Michalek *et al.* (Michalek, Martinsen, Weiderpass, Kjaerheim, *et al.* 2019) ont étudié la relation entre emploi et risque de cancer du bassinnet rénal (un cancer rare dont l'étiologie est mal connue) dans une cohorte de 14,9 millions d'individus de cinq pays nordiques (Nordic Occupational Cancer

<sup>20</sup> Cette étude n'est pas incluse dans la méta-analyse de Honaryar *et al.*, 2019.

Study – NOCCA : Danemark, Islande, Finlande, Norvège et Suède), suivie de 1960 à fin 2003 ou 2005 (385 millions de personnes/années). Les participants étaient âgés de 30 à 64 ans à l'entrée dans la cohorte. Les professions occupées étaient renseignées à partir des données de recensement de la population au cours de la période 1960-1990. Les données d'incidence de cancer du bassinet rénal ont été obtenues à partir des registres de cancer nationaux. Pour chacun des 54 emplois étudiés, les taux d'incidence standardisés (SIR = rapport entre le nombre de cas observés et le nombre de cas attendus calculé à partir des taux d'incidence nationaux) ont été calculés pour les emplois déclarés à l'inclusion dans la cohorte lors du premier recensement. S'agissant des soudeurs, 56 cas de cancer du bassinet rénal ont été observés (SIR = 1,37, IC 95% 1,03–1,78), tous chez des hommes. Les experts du GT notent que cette étude suggère une association entre le risque de cancer du bassinet rénal et l'emploi de soudeur et indique même une tendance ascendante non significative des SIRs (0,95, 1,44 et 1,40 pour les périodes 1961-1975, 1976-1990, et 1991-2005 respectivement) mais ne prend pas en compte l'exposition à des facteurs tels que le tabac ou l'amiante.

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

#### 4.3.2.4 Gliomes

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

#### 4.3.2.5 Cancer du sein

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

#### 4.3.2.6 Cancers des voies aéro-digestives supérieures

Barul *et al.* (Barul *et al.* 2020) ont étudié les relations entre l'exposition professionnelle au soudage et le risque de cancer de la tête et du cou dans une grande étude cas-témoins en

population française, l'étude ICARE (Investigation of occupational and environmental CAuses of REspiratory cancers) conduite entre 2001 et 2007 dans 10 départements couverts par un registre du cancer. 1588 cas incidents de sexe masculin de cancers épidermoïdes de la cavité buccale (n=301), du pharynx (472 cancers de l'oropharynx, 316 cancers de l'hypo-pharynx, 107 cancers non spécifiés du pharynx) ou du larynx (n=392), âgés de 18 à 75 ans, ont été inclus. Les témoins (n=2703) étaient appariés par fréquence aux cas de cancer par département et classe d'âge. Le taux de participation des témoins était de 80,6%, celui des cas de 82,5%. Un questionnaire spécifique explorant la totalité de l'histoire professionnelle a été complété lors d'entretien en face à face par des enquêteurs spécialement formés pour l'étude. Des informations détaillées sur la durée et la fréquence du soudage pour chaque emploi occupé au cours de la carrière, les procédés de soudage et techniques connexes utilisés (soudage, brasage, oxycoupage), les métaux soudés, les traitements de surface ont été recueillies. L'exposition au soudage a été évaluée en considérant les emplois de « soudeur » (code ISCO=872) déclarés au cours de la carrière, ou en considérant toute activité de soudage ou de découpage thermique au chalumeau pendant au moins 5% du temps de travail dans un poste de travail. Les analyses ont porté sur 3 indicateurs : avoir déjà eu une activité de soudage versus jamais ; la durée cumulée des activités de soudage calculée comme la somme des durées  $D_i$  des périodes où le sujet avait une activité de soudage ; la durée cumulée pondérée par la fréquence de l'activité de soudage, calculée comme la somme des produits  $D_i \times F_i$ , où  $D_i$  est la durée de l'emploi  $i$  en années et  $F_i$  la fréquence du soudage dans cet emploi, exprimée en proportion du temps de travail. Dans les analyses, des ajustements ont été pratiqués sur l'âge et le lieu de résidence, le tabac, la consommation d'alcool et l'exposition à l'amiante, ainsi que, pour le cancer du larynx, l'exposition professionnelle aux acides forts. Des analyses similaires ont été faites pour différents types de procédés de soudage, de traitements de nettoyage avant soudage et de métal soudé. Les résultats montrent que le soudage était associé à une augmentation du risque de cancer de l'ensemble des voies aéro-digestives supérieures (OR = 1,31 ; IC 95% 1,03-1,67). L'association était plus marquée pour le cancer du larynx (OR = 1,66 ; IC 95% 1,15-2,38) et augmentait avec la durée d'exposition au soudage. Une durée d'exposition cumulée et une durée d'exposition pondérée au soudage de plus de 10 ans étaient associées à une augmentation significative du risque de cancer de la cavité buccale (OR = 1,82, IC 95% 1,00-3,04 et OR = 2,10, IC 95% 0,99-4,45, respectivement). Le soudage n'était pas associé au risque de cancer de l'oropharynx et de l'hypo-pharynx. Une longue durée pondérée de soudage à l'arc était associée au cancer du larynx (OR = 2,42, IC 95% 1,27-4,60) et une longue durée de soudage par point était associée au cancer de la cavité buccale (OR = 3,47, IC 95% 1,27-9,48). L'utilisation d'acide pour nettoyer le métal avant soudage était associée à une augmentation du risque de cancer de la cavité buccale (OR = 4,42, IC 95% 1,53-12,72) et du larynx (OR = 4,53, IC 95% 1,73-11,89) ; aucune association n'a été observée pour les autres traitements chimiques. Les résultats de cette étude de grande ampleur et de qualité indiquent que le soudage (et le nettoyage acide du métal) augmente le risque de cancer du larynx et à un moindre degré de cancer de la cavité buccale.

D'Errico *et al.* (d'Errico *et al.* 2020) ont conduit une étude cas-témoins pour évaluer le rôle d'expositions professionnelles sur le risque de cancers naso-sinusiens étudiés par type histologique. Les cas incidents diagnostiqués entre 1996 et 2014 ont été recrutés dans la région du Piémont à partir du registre régional des cancers naso-sinusiens. Parmi les 477 cas incidents confirmés histologiquement, 102 cas (21%) ont été exclus (refus de participation, décès, non retrouvés ou trop malades pour répondre), laissant 375 cas inclus dans l'analyse. Les témoins recrutés entre 1998-2002 et 2010-2012 dans les services d'otorhinolaryngologie et d'orthopédie, ont été appariés aux cas par classe d'âge (10 ans), sexe et province de résidence. Parmi les 435 témoins contactés, 27 ont été exclus (refus de participation, absence d'entretien) laissant 408 témoins dans les analyses. Les participants ont répondu en face à face à un questionnaire sur leurs données personnelles (tabagisme) et les emplois occupés (description, fréquence et durée) au cours de leur vie professionnelle. Les expositions à 17 agents (poussières, vapeurs et fumées, produits chimiques utilisés) ont été évaluées par des enquêteurs entraînés (non en aveugle du diagnostic) sur la base du questionnaire en termes de probabilité (4 niveaux) et d'intensité (4 niveaux) d'exposition. Les OR ont été calculés après ajustement sur l'âge, le sexe, le lieu de

résidence, le tabagisme et l'année d'inclusion. Les résultats obtenus confirment l'association des cancers naso-sinusiens à l'exposition aux poussières de bois ou de cuir et au nickel et indiquent que l'exposition aux solvants organiques, aux poussières de textiles et aux fumées de soudage pourraient aussi être des facteurs de risque de ces cancers. S'agissant spécifiquement de l'exposition aux fumées de soudage, l'OR pour une exposition par rapport à la non-exposition était de 1,53 (IC 95% 0,92-2,54) pour l'ensemble des types histologiques. Après stratification par type histologique, cette association n'était observée que pour les cancers épidermoïdes (OR = 2,80, IC 95% 1,47-5,36) mais pas pour les adénocarcinomes (OR 1,02, IC 95% 0,53-1,97). L'ajustement sur les co-expositions aux agents associés aux cancers naso-sinusiens ne modifiait pas l'association observée pour les cancers épidermoïdes (OR = 2,50, IC 95% 1,29-4,87). De plus, pour ces cancers, une relation dose-réponse significative était observée avec l'exposition cumulée aux fumées de soudage, exprimée en catégories (ORs expositions faible et forte : 2,39 (IC 95% 1,00 – 5,71) et 3,13 (IC 95% 1,29 – 7,61), respectivement) ou en exposition cumulée continue (augmentation par année d'exposition, OR = 1,06 (IC 95% 1,01 – 1,11)). En excluant les sujets exposés aux composés de chrome ou de nickel pour éliminer un possible confondant résiduel (dû à la soudure d'acier inoxydable), l'association entre les cancers épidermoïdes et l'exposition aux fumées de soudage (O/N) restait significative : OR = 2,39, IC 95% 1,20 – 4,77. Les experts du GT notent que cette étude montre des résultats cohérents en faveur d'un risque élevé de cancers épidermoïdes naso-sinusiens associé à une exposition aux fumées de soudage, qui devraient être confirmés par d'autres études sur les cancers naso-sinusiens.

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

### 4.3.3 Synthèse des résultats

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

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



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

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

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

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

Les experts du GT considèrent que les résultats rapportés dans la littérature pour les autres types de cancers analysés précédemment par le CIRC, tels que les cancers des voies urinaires, les gliomes, les cancers du pharynx et les cancers du nasopharynx, n'apportent pas d'informations nouvelles susceptibles de modifier les conclusions de la monographie du CIRC (les données disponibles ne permettent pas de conclure).

Aucune nouvelle donnée n'a été identifiée par le GT concernant les cancers suivants mentionnés dans la monographie du CIRC (2018) : leucémies, lymphomes non Hodgkiniens, cancers du cerveau autres que gliomes, cancers du pancréas, rectocoliques, de l'estomac, de l'œsophage, de la prostate, des testicules et cancers chez les descendants. Par ailleurs, alors qu'aucune donnée n'avait été rapportée pour le cancer du sein dans la monographie du CIRC, l'étude de Talibov *et al.* de 2019 a été identifiée dans le cadre de la recherche bibliographique mais ne permet pas de conclure quant à une association entre cancer du sein masculin et exposition aux fumées de soudage (Talibov *et al.* 2019).

Toutes ces données ont été synthétisées dans le tableau ci-dessous :



**Tableau 11 : Synthèse des résultats par type de cancer**

| Type de cancer               | Sous-type de cancers                      | Conclusions CIRC 2018                      | Conclusions du groupe de travail Anses (rapport 2021)   |
|------------------------------|---|--|---|
| Cancer du poumon             |   | Preuves suffisantes chez l'Homme           | Trois nouvelles études (Honaryar <i>et al.</i> 2019, Michalek, Martinsen, Weiderpass, Kjaerheim, <i>et al.</i> 2019, Pesch <i>et al.</i> 2019) confortent les conclusions du CIRC.<br><br><b>Preuves suffisantes chez l'Homme</b>   |
| Cancer du rein               |   | Preuves limitées                           | Les données épidémiologiques publiées après l'évaluation du CIRC (Michalek, Martinsen, Weiderpass, Hansen, <i>et al.</i> 2019) ne motivent pas de modification de l'évaluation des experts du CIRC.<br><br><b>Preuves limitées</b>  |
| Cancers de la tête et du cou | Cancers du larynx et de la cavité buccale | Pas de conclusion sur le niveau de preuves | Les experts du GT considèrent que l'étude cas-témoins récente de Barul (Barul <i>et al.</i> 2020) apporte des informations complémentaires solides en faveur d'une association causale entre l'exposition aux fumées de soudage et les risques du cancer du larynx et à un moindre degré de la cavité buccale.<br><br>Cette association causale est également supportée par le lien établi entre les fumées de soudage et les cancers bronchopulmonaires, les voies respiratoires pouvant être considérées comme l'un des organes cibles principaux des fumées de soudage<br><br><b>Cancer du larynx : Preuves suffisantes (nouveau)</b><br><br><b>Cancer de la cavité buccale : preuves limitées (nouveau)</b> |

|                           |                                     |  |  |
|---------------------------|-------------------------------------|--|--|
|                           | Cancers naso-sinusiens              |  | La nouvelle étude de d'Errico et <i>al.</i> (d'Errico <i>et al.</i> 2020) porte sur un nombre élevé de cas de ce cancer rare et constitue un élément important en faveur d'un lien entre l'exposition aux fumées de soudage et les cancers des fosses nasales et des sinus de type épidermoïde.<br><br><b>Cancer naso-sinusiens : Preuves limitées (nouveau)</b> |
|                           | Cancer du pharynx et du nasopharynx |  | Les experts du GT considèrent que les résultats rapportés n'apportent pas d'informations nouvelles permettant d'éliminer le rôle de co-expositions ou de facteurs de confusion dans les associations observées et ne sont pas susceptibles de modifier les conclusions de la monographie du CIRC.<br><br>Les données disponibles ne permettent pas de conclure.  |
| Mélanomes oculaires       |                                     | Preuves suffisantes de la cancérogénicité des radiations UV à partir des activités de soudage.   | Radiations UV hors champ de cette expertise.   |
| Leucémies                 |                                     | Pas de conclusion sur le niveau de preuves   | Pas de nouvelles données identifiées.<br><br>Les données disponibles ne permettent pas de conclure.  |
| Lymphomes Hodgkiniens non |                                     | Pas de conclusion sur le niveau de preuves<br><br>La base de données est inadéquate pour évaluer l'association entre le soudage et des sous-types spécifiques de LNH | Pas de nouvelles données identifiées.<br><br>Les données disponibles ne permettent pas de conclure.  |

|   |                           |  |  |
|---|---------------------------|--|--|
| Cancers de la vessie / voies urinaires  |                           | Pas de conclusion sur le niveau de preuves | <p>Les experts du GT considèrent que les résultats rapportés n'apportent pas d'informations nouvelles permettant d'éliminer le rôle de co-expositions ou de facteurs de confusion dans les associations observées et ne sont pas susceptibles de modifier les conclusions de la monographie du CIRC.</p> <p>Les données disponibles ne permettent pas de conclure.</p> |
| Cancers du cerveau  | Gliome                    | Pas de conclusion sur le niveau de preuves | <p>Les experts du GT considèrent que les résultats rapportés n'apportent pas d'informations nouvelles permettant d'éliminer le rôle de co-expositions ou de facteurs de confusion dans les associations observées et ne sont pas susceptibles de modifier les conclusions de la monographie du CIRC.</p> <p>Les données disponibles ne permettent pas de conclure.</p> |
|   | Autres tumeurs cérébrales |  | <p>Pas de nouvelles données identifiées.</p> <p>Les données disponibles ne permettent pas de conclure</p>  |
| Autres sites de cancers : cancer du pancréas, rectocolique, de l'estomac, œsophage, prostate, testicules, cancer chez les descendants |                           | Pas de conclusion sur le niveau de preuves | <p>Pas de nouvelles données identifiées.</p> <p>Les données disponibles ne permettent pas de conclure.</p>   |
| Cancer du sein  |                           | Non discuté dans la monographie            | Les données disponibles ne permettent pas de conclure.   |

## 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 ainsi qu'au brasage tendre, 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 12 : Résultats recherche bibliographique pour les autres procédés

| Requêtes   | Traduction FR                               | Nombre de publications    |                        |
|--|---|---------------------------|------------------------|
|  |   | Scopus<br>(Title/Abs/Key) | Pubmed<br>(Title/Abs)  |
| Brazing  | Brasage                                     | 1                         | 0                      |
| Soldering  | Brasage tendre                              | 22                        | 10                     |
| Thermal spray  | Projection thermique                        | 22                        | 2                      |
| Gouging<br>- Arc<br>- Flame<br>- Plasma  | Gougeage à l'arc, à la flamme, plasma       | 8<br>0<br>0               | 0<br>0<br>0            |
| Cutting<br>- Arc<br>- Flame<br>- Plasma<br>- Laser                             | Coupage à l'arc, à la flamme, plasma, laser | 0<br>1<br>1<br>1          | 0<br>2<br>1<br>0       |
| Hard facing<br>Field welding<br>Surfacing<br>Building up<br>Deposition welding | Rechargement <sup>21</sup>                  | 1<br>0<br>8<br>2<br>0     | 0<br>11<br>1<br>0<br>2 |

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

### 4.4.1 Cancer du sein

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

<sup>21</sup> [2015\\_10\\_12\\_2015-862-317dd.pdf \(academiepro.com\)](#)

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

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

#### 4.4.2 Synthèse des résultats

Il est à noter que certaines études identifiées dans le cadre de la requête bibliographique sur les fumées de soudage se sont également intéressées aux techniques connexes, telles que celles menées par Pesch *et al.* (Pesch *et al.* 2019) (découpage au chalumeau, projection thermique en lien avec le cancer du poumon) et Barul *et al.* (Barul *et al.* 2020) (brasage tendre et brasage fort, oxycoupage en lien avec les cancers des voies aérodigestives supérieures). Cependant, en raison des expositions multiples ou d'un nombre limité de sujets exposés à ces techniques connexes, ces études ne permettent pas d'évaluer un risque spécifique associé à ces procédés.

Une seule étude épidémiologique (Ekenga, Parks et Sandler 2015) a été identifiée spécifiquement pour l'analyse des effets cancérogènes chez des travailleurs mettant en oeuvre des techniques connexes. Cette étude ne permet pas de conclure sur le rôle du brasage tendre dans l'apparition de cas de cancers du sein chez les femmes en pré-ménopause.

## 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 détails 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 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 habituellement 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.



### Analyse et résultats

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

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

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

Concernant les cancers des voies aéro-digestives supérieures, la monographie de 2018 du CIRC notait que le petit nombre de cas de cancers de la cavité buccale, du pharynx ou du larynx, analysés dans les études ne permettait pas de tirer des conclusions claires sur le rôle des fumées de soudage dans l'incidence de ces cancers. Le groupe de travail de l'Anses considère que l'étude cas-témoins récente de Barul *et al.* (Barul *et al.* 2020) apporte des informations complémentaires solides en faveur du caractère causal de l'association entre l'exposition aux fumées de soudage et le cancer du larynx (preuves suffisantes) et à un moindre degré de la cavité buccale (preuves limitées). Cette conclusion sur le cancer du larynx est également supportée par le lien établi entre les fumées de soudage et les cancers bronchopulmonaires, les voies respiratoires pouvant être considérées comme l'un des organes cibles principaux des fumées de soudage.

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

Les résultats rapportés dans la littérature pour les autres types de cancers analysés précédemment par le CIRC, tels que les cancers des voies urinaires, les gliomes, les cancers du pharynx et les cancers du nasopharynx, n'apportent pas d'informations nouvelles susceptibles de modifier les conclusions de la monographie du CIRC (les données disponibles ne permettent pas de conclure).

Aucune nouvelle donnée n'a été identifiée par le GT concernant les cancers suivants mentionnés dans la monographie du CIRC (2018) : leucémies, lymphomes non Hodgkiniens, cancers du cerveau autres que gliomes, cancers du pancréas, rectocoliques, de l'estomac, de l'œsophage, de la prostate, des testicules et cancers chez les descendants. Par ailleurs, alors qu'aucune donnée n'avait été rapportée pour le cancer du sein dans la monographie du CIRC, l'étude de Talibov *et al.* 2019 a été identifiée dans le cadre de la recherche bibliographique mais ne permet pas de conclure quant à une association entre cancer du sein masculin et exposition aux fumées de soudage.

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

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

Afin d'investiguer le caractère cancérogène de procédés pouvant générer des fumées similaires, une recherche bibliographique a été réalisée sur des techniques connexes. Deux études, celles de Pesch *et al.* (Pesch *et al.* 2019) (cancer du poumon) et de Barul *et al.* (Barul *et al.* 2020) (cancers des voies aérodigestives supérieures), citées ci-dessus, se sont également intéressées à certaines techniques connexes (découpage au chalumeau, projection thermique, brasage et oxycoupage). Mais en raison des expositions multiples ou d'un nombre limité de sujets exposés à ces techniques connexes, ces études ne permettent pas d'évaluer un risque spécifique associé à ces procédés.

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

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

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

La diversité des procédés de soudage est un élément important à considérer dans l'évaluation des expositions des professionnels car il est rare qu'un soudeur mette en œuvre une seule technique de soudage durant sa carrière professionnelle. Par ailleurs, il faut souligner que la composition et la quantité de fumées émises auxquelles sont exposés les soudeurs diffèrent en fonction de nombreux paramètres : types de procédés et d'électrodes mis en œuvre, composition des pièces à

---

<sup>22</sup> Communication de M. Scandella de l'Institut de soudure

souder et des produits d'apport, paramètres de soudage (intensité, tension, débit et composition des gaz protecteurs...), etc.

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

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

### Conclusion

Au regard de ces éléments, le groupe de travail de l'Anses propose **d'ajouter à l'arrêté l'intitulé suivant : « 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 »**. Cet intitulé permet de considérer non seulement les professionnels exposés aux fumées de soudage mais également ceux exposés aux fumées métalliques de procédés connexes dont la composition en agents cancérogènes s'avère similaire à celle des fumées de soudage. Cet intitulé permet également de prendre en compte les travailleurs amenés à avoir des activités exposant à des fumées métalliques de soudage ou de procédés connexes de façon habituelle sans être directement répertoriés comme soudeurs ainsi que les travailleurs **exposés de façon indirecte**.

Enfin, il faut souligner que cette expertise s'est intéressée uniquement au caractère cancérogène des fumées métalliques mais que les fumées de soudage métalliques peuvent aussi présenter d'autres effets sur la santé qui doivent être également pris en compte pour la prévention des risques professionnels. Elles peuvent en effet induire des effets respiratoires aigus (irritation des voies aériennes, fièvre des métaux, etc.), des effets respiratoires chroniques (pneumoconioses, asthmes, bronchites, etc.) et des affections au niveau du rein et du système nerveux central (Ricaud 2018).

## 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 ;
  - d'informer le personnel exposé sur le risque cancérogène lié à des expositions directe et indirecte aux fumées de soudage ou aux fumées métalliques des procédés connexes listés et de le former à l'utilisation des protections collectives et individuelles adaptées ;
- d'informer et de former les employeurs quant au risque cancérogène lié à des expositions directe et indirecte aux fumées de soudage ou aux fumées métalliques des procédés connexes listés de façon à les inciter à l'emploi des procédés les plus adaptés et les moins émissifs selon les opérations de soudage à réaliser.

### **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 les cancers broncho-pulmonaires et du larynx, lié à l'exposition aux fumées métalliques y compris chez les professionnels mettant en œuvre des techniques connexes ;
- de préciser au mieux dans ces études épidémiologiques, le détail des procédés, des métaux et alliages mis en œuvre ainsi que les expositions associées.

**Date de validation du rapport d'expertise collective :** le 6 décembre 2021 par le GT « Procédés cancérogènes » et le 16 décembre 2021 par le CES VSR

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

## 7 Bibliographie

- AFNOR. 1993. Atmosphères des lieux de travail - Définition des fractions de taille pour le mesurage des particules en suspension dans l'air (référence : X43-276). La Plaine Saint-Denis: AFNOR.
- AFNOR. 2011. Soudage et techniques connexes - Nomenclature et numérotation des procédés - NF EN ISO 4063. La Plaine Saint-Denis: AFNOR.
- Annecy Santé au travail, AGEMETRA, AST Grand Lyon. 2009. "Soudage." : Annecy Santé au Travail. 22 p.
- Anses. 2018. "Note d'appui scientifique et technique de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail, relative à l'identification de nouveaux procédés cancérogènes à inscrire à l'arrêté du 5 janvier 1993 fixant la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes - Analyse du caractère cancérogène de quatre procédés identifiés par la Direction générale du travail en vue d'une inclusion dans l'arrêté du 5 janvier 1993." Maisons-Alfort: Anses. 36 pages.
- Barul, Christine, Mireille Matrat, Aviane Auguste, Julien Dugas, Loredana Radoï, Gwenn Menvielle, Joëlle Févotte, Anne-Valérie Guizard, Isabelle Stücker, et Danièle Luce. 2020. "Welding and the risk of head and neck cancer: the ICARE study." *Occup Environ Med* 77:oemed-2019. doi: 10.1136/oemed-2019-106080.
- Benoît, A. 2015. "Soudage à l'arc semi-automatique (MIG/MAG) - BM7732 V2." : Techniques de l'Ingénieur. 14p.
- Berlinger, B., S. Weinbruch, D. G. Ellingsen, E. Zibarev, V. Chashchin, M. Chashchin, et Y. Thomassen. 2019. "On the bio-accessibility of 14 elements in welding fumes." *Environ Sci Process Impacts* 21 (3):497-505. doi: 10.1039/c8em00425k.
- Bienvenu, Y. 2010. "Assemblage par diffusion (soudage ou brasage) - BM 7747 V1." : Techniques de l'Ingénieur. 14p.
- CARSAT, INRS; CRAM;. 2014. "Opérations de soudage à l'arc et de coupage - Guide pratique de ventilation n°7 - ED 668." Paris: INRS. 36p.
- Cazes, R. 1985. "Soudage à l'arc - soudage au plasma et autres procédés - B616P5 V1." : Techniques de l'Ingénieur. 11p.
- Cazes, R. 1990. "Soudage à l'arc - soudage sous flux en poudre - B616P2 V1." : Techniques de l'Ingénieur. 11p.
- Cazes, R. 1993. "Soudage par résistance - B7720 V1." : Techniques de l'Ingénieur. 22p.
- Cazes, R. 2001. "Soudage laser - Faisceaux lasers de puissance - BM7742 V1." : Techniques de l'Ingénieur. 11p.
- Cazes, R. 2003. "Soudage par friction - malaxage - BM7746 V1." : Techniques de l'Ingénieur. 14 p.
- Cazes, R. 2017. "Soudage à l'arc - B7730 V1." : Techniques de l'Ingénieur. 31p.
- Chen, Y., E. T. Chang, Q. Liu, Y. Cai, Z. Zhang, G. Chen, Q. H. Huang, S. H. Xie, S. M. Cao, W. H. Jia, Y. Zheng, Y. Li, L. Lin, I. Ernberg, D. Wang, W. Chen, R. Feng, G. Huang, Y. X. Zeng, H. O. Adami, et W. Ye. 2021. "Occupational exposures and risk of nasopharyngeal carcinoma in a high-risk area: A population-based case-control study." *Cancer* 127 (15):2724-2735. doi: 10.1002/cncr.33536.
- d'Errico, A., J. Zajacova, A. Cacciato, S. Alfonzo, F. Beatrice, F. Ricceri, et G. Valente. 2020. "Exposure to occupational hazards and risk of sinonasal epithelial cancer: results from an extended Italian case-control study." *Occup Environ Med*. doi: 10.1136/oemed-2020-106738.
- Descotes, J, C Payen, C Pulce, F Testud, et T Vial. 2009. "Vigitor n°41 - Question/Réponse : Risques en relation avec le soudage de l'acier galvanisé " Lyon: Centre antipoison - centre de pharmacovigilance. 6p.
- Dong, S., F. Jiang, B. Xu, et S. Chen. 2019. "Influence of Polarity Arrangement of Inter-Wire Arc on Droplet Transfer in Cross-Coupling Arc Welding." *Materials (Basel)* 12 (23). doi: 10.3390/ma12233985.
- Ecole Polytechnique. 2010. "Les plasmas." *Flash X - La lettre scientifique de l'école polytechnique* N°12:36p.

- Ekenga, C. C., C. G. Parks, et D. P. Sandler. 2015. "Chemical exposures in the workplace and breast cancer risk: A prospective cohort study." *Int J Cancer* 137 (7):1765-74. doi: 10.1002/ijc.29545.
- Farion, Nicolas. 2019. "Thèse d'exercice pour l'obtention du Diplôme d'État de Docteur en Pharmacie - COMPARAISON DES SYSTÈMES DE CLASSIFICATION DES AGENTS CANCÉROGÈNES CAUSES DE DIVERGENCES ET PROPOSITION D'ÉQUIVALENCES."
- Guha, N., D. Loomis, K. Z. Guyton, Y. Grosse, F. El Ghissassi, V. Bouvard, L. Benbrahim-Tallaa, N. Vilahur, K. Muller, et K. Straif. 2017. "Carcinogenicity of welding, molybdenum trioxide, and indium tin oxide." *Lancet Oncol* 18 (5):581-582. doi: 10.1016/s1470-2045(17)30255-3.
- Honaryar, M. K., R. M. Lunn, D. Luce, W. Ahrens, A. t Mannetje, J. Hansen, L. Bouaoun, D. Loomis, G. Byrnes, N. Vilahur, L. Stayner, et N. Guha. 2019. "Welding fumes and lung cancer: a meta-analysis of case-control and cohort studies." *Occup Environ Med* 76 (6):422-431. doi: 10.1136/oemed-2018-105447.
- Hong, Y., B. Chang, G. Peng, Z. Yuan, X. Hou, B. Xue, et D. Du. 2018. "In-Process Monitoring of Lack of Fusion in Ultra-Thin Sheets Edge Welding Using Machine Vision." *Sensors (Basel)* 18 (8). doi: 10.3390/s18082411.
- Iarc. 1990. "Chromium, nickel and welding - volume 49." Lyon: IARC. 687p.
- Iarc. 2012. "Arsenic, metals, fibres and dusts - Volume 100C." Lyon: IARC. 527p.
- Iarc. 2018. "Welding, Molybdenum trioxide, and indium tin oxide - Volume 118." Lyon: IARC. 320p.
- INRS. 2011. "Fiche pratique de sécurité ED 83 - Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées." Paris: Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. 4p.
- INRS. 2017. "Champs électromagnétiques - ED 4219 - Soudage par résistance." Paris: INRS. 4p.
- INRS. 2020a. "Fiche pratique de sécurité - ED 122 - Le brasage tendre." Paris: INRS. 4p.
- INRS. 2020b. Webinaire – Fumées de soudage : risques pour la santé et prévention - <https://www.inrs.fr/footer/actes-evenements/webinaire-fumees-soudage.html>.
- INRS, Assurance Maladie Risques Professionnels;. 2015. "Fiche d'aide au repérage (FAR 15) - Soudage/brasage des métaux." ; . 4p.
- Institut belge de la soudure. 2021. "Soudage par friction." Dernière mise à jour Juillet 2021 Consulté le Juin 2021. <https://bil-ibs.be/fr/soudage-par-friction>.
- Institut de soudure. 2010. "Le soudage laser." *Soudage et techniques connexes*, Mai-Juin 2010, 2p.
- Institut de soudure. 2021a. "Le soudage plasma." 2021.
- Institut de soudure. 2021b. "Le soudage sous flux en poudre." 2021.
- Institut de soudure. 2021c. "Le soudage TIG."
- Institut de soudure. 2021d. "Un tour d'horizon du rechargement dur ".
- Kendzia, B., D. Koppisch, R. Van Gelder, S. Gabriel, W. Zschesche, T. Behrens, T. Brüning, et B. Pesch. 2019. "Modelling of exposure to respirable and inhalable welding fumes at German workplaces." *J Occup Environ Hyg* 16 (6):400-409. doi: 10.1080/15459624.2019.1566734.
- Kirichenko, K. Y., A. I. Agoshkov, V. A. Drozd, A. V. Gridasov, A. S. Kholodov, S. P. Kobilyakov, D. Y. Kosyanov, A. M. Zakharenko, A. A. Karabtsov, S. R. Shimanskii, A. K. Stratidakis, Y. O. Mezhev, A. M. Tsatsakis, et K. S. Golokhvast. 2018. "Characterization of fume particles generated during arc welding with various covered electrodes." *Sci Rep* 8 (1):17169. doi: 10.1038/s41598-018-35494-1.
- Knudsen, L. E., T. Boisen, J. M. Christensen, J. E. Jelnes, G. E. Jensen, J. C. Jensen, K. Lundgren, C. Lundsteen, B. Pedersen, K. Wassermann, et et al. 1992. "Biomonitoring of genotoxic exposure among stainless steel welders." *Mutat Res* 279 (2):129-43. doi: 10.1016/0165-1218(92)90255-x.
- Lehnert, M., T. Weiss, B. Pesch, A. Lotz, S. Zilch-Schöneweis, E. Heinze, R. Van Gelder, J. U. Hahn, et T. Brüning. 2014. "Reduction in welding fume and metal exposure of stainless steel welders: an example from the WELDOX study." *Int Arch Occup Environ Health* 87 (5):483-92. doi: 10.1007/s00420-013-0884-7.
- Mater, G, et B Savary. 2014. "Projection thermique : état des lieux en 2012." *Hygiène et sécurité au travail*, Septembre 2014, 5p.
- Matinet, B., E. Rosankis, et M. Léonard. 2020. "Enquête SUMER 2017 : Les expositions aux risques professionnels - Les produits chimiques." : DARES. 323.

- Michalek, I. M., J. I. Martinsen, E. Weiderpass, J. Hansen, P. Sparen, L. Tryggvadottir, et E. Pukkala. 2019. "Heavy metals, welding fumes, and other occupational exposures, and the risk of kidney cancer: A population-based nested case-control study in three Nordic countries." *Environ Res* 173:117-123. doi: 10.1016/j.envres.2019.03.023.
- Michalek, I. M., J. I. Martinsen, E. Weiderpass, K. Kjaerheim, E. Lynge, P. Sparen, L. Tryggvadottir, et E. Pukkala. 2019. "Occupation and risk of cancer of the renal pelvis in Nordic countries." *BJU Int* 123 (2):233-238. doi: 10.1111/bju.14533.
- Moreau, B, et M Grzebyk. 2009. "Point de repère : Utilisation des machines automatiques de découpe des métaux par oxycoupage, plasma et laser." *Hygiène et sécurité au travail*, Décembre 2009, 13p.
- Noël, L. 1984. "Constructions soudées, brasage - B5195 V1." : Techniques de l'Ingénieur. 23p.
- Paget-Bailly, S., F. Guida, M. Carton, G. Menvielle, L. Radoï, D. Cyr, A. Schmaus, S. Cénée, A. Papadopoulos, J. Févotte, C. Pilorget, M. Velten, A. V. Guizard, I. Stücker, et D. Luce. 2013. "Occupation and head and neck cancer risk in men: results from the ICARE study, a French population-based case-control study." *J Occup Environ Med* 55 (9):1065-73. doi: 10.1097/JOM.0b013e318298fae4.
- Paillard, P. 2014. "Procédés de soudage - Introduction - BM 7700." Saint-Denis: Techniques de l'Ingénieur. 9p.
- Paillard, P. 2017. "TIG : soudage à l'arc sous protection gazeuse avec électrode non fusible - BM 7733 V1." : Techniques de l'Ingénieur. 20p.
- Paillard, P. 2019. "Soudage à l'arc à l'électrode enrobée - BM 7734 V1." : Techniques de l'Ingénieur. 15 p.
- Parent, M. E., M. C. Turner, J. Lavoué, H. Richard, J. Figuerola, L. Kincl, L. Richardson, G. Benke, M. Blettner, S. Fleming, M. Hours, D. Krewski, D. McLean, S. Sadetzki, K. Schlaefer, B. Schlehofer, J. Schüz, J. Siemiatycki, M. van Tongeren, et E. Cardis. 2017. "Lifetime occupational exposure to metals and welding fumes, and risk of glioma: a 7-country population-based case-control study." *Environ Health* 16 (1):90. doi: 10.1186/s12940-017-0300-y.
- Persoons, Renaud, Damien Arnoux, Théodora Monssu, Olivier Culié, Gaëlle Roche, Béatrice Duffaud, Denis Chalaye, et Anne Maitre. 2014. "Determinants of occupational exposure to metals by gas metal arc welding and risk management measures: A biomonitoring study." *Toxicology Letters* 231 (2):135-141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2014.09.008>.
- Pesch, B., B. Kendzia, H. Pohlabein, W. Ahrens, H. E. Wichmann, J. Siemiatycki, D. Taeger, W. Zschesche, T. Behrens, K. H. Jöckel, et T. Brüning. 2019. "Exposure to Welding Fumes, Hexavalent Chromium, or Nickel and Risk of Lung Cancer." *Am J Epidemiol* 188 (11):1984-1993. doi: 10.1093/aje/kwz187.
- Pesch, B., M. Lehnert, T. Weiss, B. Kendzia, E. Menne, A. Lotz, E. Heinze, T. Behrens, S. Gabriel, W. Schneider, et T. Brüning. 2018. "Exposure to hexavalent chromium in welders: Results of the WELDOX II field study." *Ann Work Expo Health* 62 (3):351-361. doi: 10.1093/annweh/wxy004.
- Proner, A. 1999. "Revêtements par projection thermique - M1645 V2." : Techniques de l'Ingénieur. 25p.
- Ricaud, M. 2018. "Les fumées de soudage et des techniques connexes - ED 6132." Paris: INRS. 28 p.
- Riccelli, M. G., M. Goldoni, D. Poli, P. Mozzoni, D. Cavallo, et M. Corradi. 2020. "Welding Fumes, a Risk Factor for Lung Diseases." *Int J Environ Res Public Health* 17 (7). doi: 10.3390/ijerph17072552.
- Rocdacier. 2017. "Le rechargement par soudage." Dernière mise à jour Juillet 2021 Consulté le Juin 2021. <https://www.rocdacier.com/le-rechargement-par-soudage/>.
- Rocdacier. 2020. "Soudage par explosion." Dernière mise à jour Juillet 2021 Consulté le Juin 2021. <https://www.rocdacier.com/soudage-par-explosion/>.
- Savary, B. 2014. "Panorama de la projection thermique en France: résultats de l'enquête 2012 - NS 326." Paris: INRS. 78p.
- Scandella, F, et A Gutschmidt. 2020. "Exposition aux fumées de soudage : tour d'horizon et dernières évolutions réglementaires." 21 avril 2020.
- Shigeta, M., M. Tanaka, et E. Ghedini. 2019. "Numerical Analysis of the Correlation between Arc Plasma Fluctuation and Nanoparticle Growth-Transport under Atmospheric Pressure." *Nanomaterials (Basel)* 9 (12). doi: 10.3390/nano9121736.
- Soudeurs.com. 2012a. "Qu'est-ce-que le soudage par diffusion (procédé 45)?", Dernière mise à jour 27 avril 2012 Consulté le Juin 2021. <https://www.soudeurs.com/site/qu-est-ce-que-le-soudage-par-diffusion-procede-45-373/>.



- Soudeurs.com. 2012b. "Qu'est-ce que le soudage vertical sous laitier (procédé 72) ?", Dernière mise à jour 21 avril 2012 Consulté le Juin 2021. <https://www.soudeurs.com/site/qu-est-ce-que-le-soudage-vertical-sous-laitier-procede-72-348/>.
- Soudeurs.com. 2018. "Aluminothérapie: qu'est-ce que le soudage aluminothermique (procédé 71) ?", Dernière mise à jour 26 juillet 2018 Consulté le Juin 2021. <https://www.soudeurs.com/site/aluminothermie-qu-est-ce-que-le-soudage-aluminothermique-procede-71-349/>.
- Sympo. "Chapitre 1 - Les matériels de soudage et de coupage thermiques les plus courants." Dans *Guide de mise en oeuvre des technologies du soudage - coupage*, 38p. : Sympo.
- Talibov, Madar, Johnni Hansen, Sanna Heikkinen, Jan-Ivar Martinsen, Pär Sparen, Laufey Tryggvadottir, Elisabete Weiderpass, et Eero Pukkala. 2019. "Occupational exposures and male breast cancer: A nested case-control study in the Nordic countries." *The Breast* 48:65-72. doi: <https://doi.org/10.1016/j.breast.2019.09.004>.
- Vignardet, L. 1993. "Soudage à la flamme - BM 7710." : Techniques de l'Ingénieur. 11 p.
- Wallace, M., S. Shulman, et J. Sheehy. 2001. "Comparing exposure levels by type of welding operation and evaluating the effectiveness of fume extraction guns." *Appl Occup Environ Hyg* 16 (8):771-9. doi: 10.1080/10473220117155.
- Weiss, T., B. Pesch, A. Lotz, E. Gutwinski, R. Van Gelder, E. Punkenburg, B. Kendzia, K. Gawrych, M. Lehnert, E. Heinze, A. Hartwig, H. U. Käfferlein, J. U. Hahn, et T. Brüning. 2013. "Levels and predictors of airborne and internal exposure to chromium and nickel among welders--results of the WELDOX study." *Int J Hyg Environ Health* 216 (2):175-83. doi: 10.1016/j.ijheh.2012.07.003.
- Weman, K. 2012. "Procédés de soudage." : L'Usine Nouvelle. 29p.
- Weman, K. 2020. *Procédés de soudage, Technique et ingénierie*: Dunod.

---

## **ANNEXES**

---

## 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](http://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](mailto:matthieu.lassus@travail.gouv.fr) / [elise.vigier@travail.gouv.fr](mailto:elise.vigier@travail.gouv.fr) /  
[olivier.calvez@travail.gouv.fr](mailto: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

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 CIRC<sup>1</sup>) 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.).


<sup>1</sup> 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 1.10<sup>2</sup> et 1.11<sup>3</sup> 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-STRUILLOU

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

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

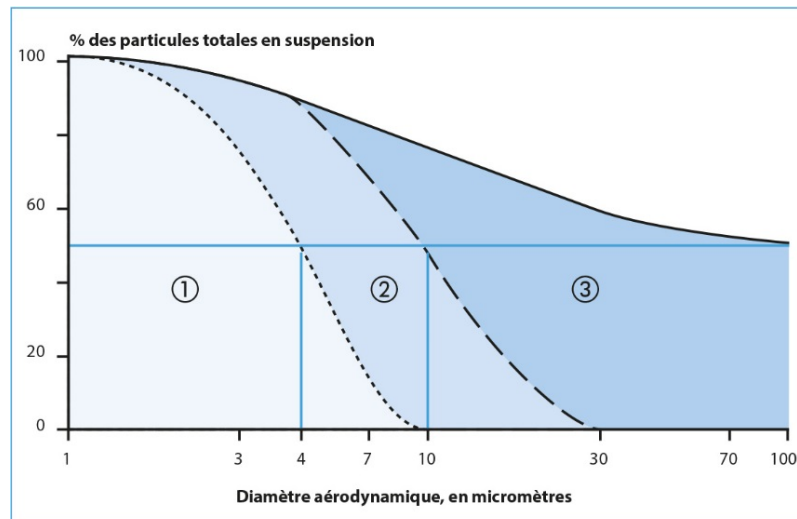
## Annexe 2 : Composés identifiés à l'émission dans les fumées de soudage par l'extraction de la base de données COLCHIC

Tableau 13 : Composés identifiés dans les fumées de soudage par l'extraction de la base de données 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                        | Acétaldéhyde                         |
| 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                          |                                      |

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

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.



**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)**

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

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

La fraction thoracique (①+②) correspond à la fraction massique des particules inhalées pénétrant au-delà du larynx. L'échantillonnage de cette fraction doit être conforme à la convention suivante : le pourcentage de la convention inhalable à collecter, est donné par une distribution log-normale cumulée dont le D<sub>ae</sub> médian est 11,64 µm et l'écart type géométrique 1.5. Le diamètre de coupure par rapport à l'aérosol ambiant est de 10 µm.

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

Deux autres fractions et conventions peuvent être déduites des précédentes :

- La fraction extrathoracique (③) correspond à la fraction massique des particules totales en suspension dans l'air inhalée qui ne peuvent pas pénétrer au-delà du larynx. La fraction conventionnelle extrathoracique se déduit des conventions inhalable et thoracique par différence.
- La fraction trachéobronchique (②) correspond à la fraction massique des particules totales en suspension dans l'air inhalée qui pénètrent au-delà du larynx mais ne peuvent pas pénétrer

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

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

| <b>Français</b> | <b>Anglais</b> |
|-----------------|----------------|
| inhalable       | inhalable      |
| alvéolaire      | respirable     |
| thoracique      | thoracic       |



## Annexe 4: Cancer et exposition aux fumées de soudage ou aux fumées émises par les techniques 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)<br>USA, Porto Rico<br>2003-2009<br>Suivi moyen 5,2 ans | 47 640 femmes, sœurs de femmes atteintes de cancer du sein et ayant travaillé hors de chez elles.<br><br>1966 cas.<br><br>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).<br><br>(exposition 'au moins une fois par semaine' pour un emploi) | Sein                    | Matériaux de soudure | Cancers du sein : 48<br><br>Cancers invasifs : 36<br><br>Cancers <i>in situ</i> : 11<br><br>Cancers du sein<br>>990 jours : 15<br>312 - ≤990 jours : 8<br>96 - ≤312 jours : 10<br><96 jours : 14<br>non exposés 1918<br><br>Cancers invasifs<br>>990 jours : 10<br>312 - ≤990 jours : 6<br>96 - ≤312 jours : 9<br><96 jours : 10<br>non exposés 1385 | 1,1 (0,8-1,4)<br><br>1,1 (0,8-1,6)<br><br>0,9 (0,5-1,7)<br><br><br><br>1,3 (0,8- 2,3)<br>0,8 (0,4- 1,7)<br>0,7 (0,4- 1,4)<br>1,3 (0,8- 2,2)<br>1,0<br><br>1,4 (0,8-2,6)<br>0,9 (0,4-1,9)<br>0,9 (0,4-1,8)<br>1,3 (0,7-2,4)<br>1,0 | Facteurs de risque connus de cancer du sein :<br>race/ethnicité,<br>niveau d'éducation et de revenu,<br><br>parité et âge à la première naissance. |              |

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

\* SIR (Standardized Incidence Rate) Taux d'incidence standardisé = rapport entre le nombre de cas observés et le nombre de cas attendus.

‡ SIR calculé pour chaque profession en fonction du premier emploi déclaré à l'entrée dans l'étude. Référence : taux d'incidence national

## 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)<br>10 centres dans 7/13 pays participant à l'étude Interphone<br>(Australie, Canada, France, Allemagne, Israël, Nouvelle Zélande, et Royaume Uni)<br>2000 - 2004 | <p>Cas : 1800 cas incidents de gliome, âgés de 30-69 ans</p> <p>Taux de participation : 68%</p> <p>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.</p> <p>Taux de participation : 50%</p> <p>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.</p> | Cerveau<br>Gliomes      | <p>Pour chaque exposition : 3 métriques (au moins 1 fois vs jamais, exposition cumulée, durée d'exposition)</p> <p>Prévalence exposition (Cas/Témoins) :</p> <p>Cadmium : 2,2/1,7</p> <p>Chrome : 9,9/7,0</p> <p>Fer : 13,6/10,2</p> <p>Plomb : 8,8/7,5</p> <p>Nickel : 11,9/8,6</p> <p>Fumées de soudage : 10,1/7,5</p> | <p>Cadmium : 40</p> <p>Chrome : 178</p> <p>Fer : 244</p> <p>Plomb : 159</p> <p>Nickel : 215</p> <p>Fumées de soudage : 182</p> | <p>1,1 (0,7–1,6)*</p> <p>0,9 (0,7 – 1,1)</p> <p>0,9 (0,7–1,1)</p> <p>0,8 (0,7–1,0)</p> <p>0,9 (0,8 – 1,1)</p> <p>0,9 (0,7–1,1)</p> | Age, niveau d'éducation, prestige du travail, atopie, statut du répondant (proxy) | <p>Les résultats ne sont pas différents si les analyses sont restreintes à un seul sexe, ni en fonction de la sévérité des gliomes.</p> <p>Pas d'effet du niveau d'exposition ni de la durée d'exposition.</p> <p>* ORs ajustés : risque de gliome associé à une exposition de ≥ 1an- un délai de 5 ans et P ≥ 25%</p> |
| Michalek <i>et al.</i> (2019a)<br>Finlande, Islande et   | Cas : 59 778 cancers du rein survenus dans la cohorte NOOCA (Nordic Occupational Cancer Study),  | Rein                    | Exposition aux métaux lourds (Cr, FE, Ni, Pb) et aux fumées de soudage, et à 24 autres   | <p>Chrome</p> <p>Non exposé</p> <p>Faible</p>  | <p>1,00 Ref</p> <p>0,99 (0,91–1,09)</p>  | 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   |

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

|  |  |        |   | 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/m<sup>3</sup>/an</p> <p>Cr(VI)</p> <p>≥ 1,4µg/m<sup>3</sup> x an</p> <p>Ni</p> <p>≥9µg/m<sup>3</sup> x an</p> <p><i>Durée d'exposition</i></p> <p><i>Fumées de soudage</i></p> <p>&lt;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> | Age, tabagisme, autres emplois à risques et autres variables d'exposition analysées |  |

|  |  |                      |  |   |   |  |  |
|--|--|----------------------|--|---|---|--|--|
|  |  |                      |  | <p><i>Cr(VI)</i></p> <p>&lt;1 an</p> <p>1-5 ans</p> <p>≥5ans</p> <p><i>Ni</i></p> <p>&lt;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</i><sup>a</sup></p> <p>≤5,1 : 103</p> <p>5,2-55 : 77</p> <p>&gt;55 : 23toutes catégories : 203</p> <p><i>Chrome</i><sup>b</sup></p> <p>≤24,4 : 132</p> <p>24,5-152 : 93</p> <p>&gt;152 : 20</p> <p>toutes catégories : 245</p> <p><i>Fumées de soudage</i><sup>a</sup></p> <p>≤3,0 : 92</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><sup>a</sup> catégorisation en utilisant 50<sup>ème</sup> et 90<sup>ème</sup> percentile de la distribution de l'exposition</p> <p><sup>b</sup> µg/m<sup>3</sup> années</p> |

|   |  |  |   |   |   |   |  |
|---|--|--|---|---|---|---|--|
|   |  |  |   | 3,1-142 : 88  | 0,86 (0,68-1,08)  |   |  |
|   |  |  |   | >142 : 23   | 1,04 (0,82-1,33)  |   |  |
|   |  |  |   | toutes catégories : 203   | 1,11 (0,70-1,75)  |   |  |
|   |  |  |   |   | 0,95 (0,81-1,13)  |   |  |
| Barul <i>et al.</i> (2020)<br>France, 10 zones géographiques couvertes par un registre du cancer<br>2001-2007 | <p>Cas : 1588 cas incidents (masculins) âgés de 18 à 75 ans, diagnostiqués pendant la période d'étude.</p> <p>Taux de participation : 82,5%</p> <p>Témoins : 2703 témoins (masculins) sélectionnés dans les mêmes zones géographiques et appariés par sexe et âge.</p> <p>Taux de participation : 80,6%</p> <p>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 d'emploi.</p> | Cancers de la tête et du cou :<br>cavité buccale, oropharynx, hypopharynx, larynx. | <p><i>Soudage (O/N)</i></p> <p>-tête et cou</p> <p>-cavité buccale</p> <p>-oropharynx</p> <p>-hypopharynx</p> <p>-larynx</p> <p>&gt;10 ans</p> <p>-tête et cou</p> <p>-cavité buccale</p> <p>-oropharynx</p> <p>-hypopharynx</p> <p>-larynx</p> <p><i>durée pondérée**</i></p> <p>&gt;10 ans</p> <p>-tête et cou</p> <p>-cavité buccale</p> <p>-oropharynx</p> <p>-hypopharynx</p> <p>-larynx</p> | <p>242</p> <p>43</p> <p>68</p> <p>51</p> <p>62</p> <p>150</p> <p>30</p> <p>39</p> <p>29</p> <p>40</p> <p>65</p> <p>13</p> <p>14</p> <p>16</p> <p>19</p> | <p>1,31 (1,03-1,67)</p> <p>1,29 (0,85-1,97)</p> <p>0,96 (0,67-1,38)</p> <p>1,37 (0,91-2,06)</p> <p>1,66 (1,15-2,38)</p> <p>1,50 (1,10-2,04)</p> <p>1,82 (1,09-3,04)</p> <p>1,04 (0,70-1,75)</p> <p>1,29 (0,76-2,18)</p> <p>1,87 (1,20-2,94)</p> <p>1,61 (0,99-2,62)</p> <p>2,10 (0,99-4,45)</p> <p>0,90 (0,44-1,82)</p> <p>1,58 (0,78-3,23)</p> <p>2,42 (1,25-4,69)</p> | 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<br><br>** 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 |

|  |  |  |   |     |                   |  |
|--|--|--|---|-----|-------------------|--|
|  |  |  | <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>                       |     |                   |  |
|  |  |  | >1,7 ans                                      |     |                   |  |
|  |  |  | -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>                       |     |                   |  |
|  |  |  | >1,7 ans                                      |     |                   |  |
|  |  |  | -cavité buccale                               | 7   | 3,47 (1,27- 9,48) |  |
|  |  |  | <i>Nettoyage acide du métal avant soudage</i> |     |                   |  |



|   |  |  |   |  |  |  |  |
|---|--|--|---|--|--|--|--|
|   |  |  | -tête et cou<br>-cavité buccale<br>-oropharynx<br>-hypopharynx<br>-larynx   | 26<br>7<br>3<br>4<br>10  | 2,69 (1,19-6,09)<br>4,42 (1,53-12,72)<br>0,91 (0,24-3,52)<br>1,92 (0,55-6,66)<br>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 :<br/>191 adénocarcinomes<br/>119 épidermoïdes<br/>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 agents : poussières, vapeurs, fumées,</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>faible</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>2,39 (1,00-5,71)</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 &lt;0,05</p> |

|  |  |                             |                         |  |                   |  |   |
|--|--|-----------------------------|-------------------------|--|-------------------|--|---|
|  | produits chimiques.  |                             |                         | forte  | 3,13 (1,29-7,61)  |  |   |
|  |  |                             |                         | <i>Exposition cumulée continue (augmentation par an)</i> |                   |  |   |
|  |  |                             |                         | Tous cancers   | 1,05 (1,00-1,09)  |  |   |
|  |  |                             |                         | C. épidermoïdes  | 1,06 (1,01-1,11)† |  |   |
| Chen <i>et al.</i> (2021)<br>Chine (3 régions du Sud de la Chine)<br>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 professionnelle depuis</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 capside 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> |

|  |   |  |  |  |  |  |  |
|--|---|--|--|--|--|--|--|
|  | 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. |  |  |  |  |  |  |
|--|---|--|--|--|--|--|--|

## Annexe 6 : Présentation des positions d'abstention

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

### Expert 1:

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

### Expert 2:

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

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

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

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

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

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

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

## **Annexe 7 : Consultation publique**

Ce rapport et les conclusions ont fait l'objet d'une consultation publique du 27 septembre 2021 au 19 novembre 2021.

Les personnes ou organismes suivants ont fait parvenir leurs commentaires lors de la phase de consultation publique :

- M. Julien Perrin



## Notes







**anses**

**CONNAÎTRE, ÉVALUER, PROTÉGER**

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE  
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex  
[www.anses.fr](http://www.anses.fr) — @Anses\_fr