

## Allergologie-pneumologie professionnelle

# Rhinite et asthme en relation avec les activités de soudage et de brasage

### AUTEUR :

E. Penven, Centre de consultation de pathologie professionnelle, CHRU de Nancy, Vandœuvre-Les-Nancy

Les différents procédés de soudage et techniques connexes ont la particularité de générer des fumées dont la composition et l'intensité d'émission varient selon la technique employée et la nature des métaux travaillés. Si le caractère irritant des fumées de soudage peut en lui-même induire ou aggraver une rhinite ou un asthme, certains de leurs constituants peuvent également être impliqués dans l'apparition de rhinite et d'asthme par l'intermédiaire de mécanismes immunologiques, parfois encore mal définis. Les agents sensibilisants des fumées les plus fréquemment cités sont les oxydes métalliques (nickel, chrome, aluminium, zinc...) et la colophane utilisée dans les flux de brasage.

*Le diagnostic étiologique repose sur l'histoire médicale, la mise en évidence d'une rythmicité professionnelle des symptômes et, si possible, sur un test de provocation nasal ou bronchique spécifique. Pour les rhinites et les asthmes immuno-induits, les tests immunologiques (prick-test, recherche d'IgE spécifiques), s'ils sont disponibles, peuvent être informatifs, mais leur sensibilité n'est pas toujours optimale suivant l'allergène en cause ou le mécanisme immunologique impliqué. La prévention repose sur la réduction maximale du niveau d'exposition des opérateurs aux fumées émises, si possible en utilisant les techniques en générant le moins, et dans tous les cas en les captant à la source par un système d'aspiration localisée adapté.*

### MOTS CLÉS

Affection respiratoire / Rhinite / Asthme / Soudage / Fumée / Soudeur

**L**e soudage consiste à assembler des pièces métalliques de même nature en fusionnant leurs bords avec ou sans métal d'apport. Le métal de base et le métal d'apport se mélangent par dilution pour former le cordon de soudure. La première technique de soudage, apparue dès l'âge de bronze (-3 000 à -1 000 av.J.C.), consistait à combler un joint entre 2 pièces à l'aide d'une poche contenant du métal fondu. C'est ensuite à l'âge de fer que la technique de forgeage et martelage apparaît. Les procédés évoluent peu jusqu'au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle et l'invention de techniques modernes tels que le soudage à la flamme par mélange d'oxygène et d'acétylène et surtout le soudage à l'arc électrique. Aujourd'hui les activités de soudage s'exercent dans de nombreux secteurs d'activité (construction, mé-



© Vincent Nguyen pour l'INRS

tallurgie, aéronautique, automobile, électronique, nucléaire...) que ce soit en production ou en maintenance, en atelier ou sur chantier. Il existe de nombreux procédés de soudage mais, en pratique, seul un petit nombre se retrouve dans la plupart des activités industrielles.

Les principaux procédés en usage sont :

- le soudage à la flamme oxyacétylénique (principe du chalumeau à gaz) ;
- le soudage à l'arc électrique avec électrodes enrobées ;
- le soudage à l'arc électrique avec protection gazeuse<sup>1</sup>, fil plein (MIG/

1. Les gaz de protection assurent la qualité des cordons de soudure ainsi que la stabilité de l'arc.

2. Gaz inerte ou actif : procédé MIG (Metal Inert Gas) ou MAG (Metal Active Gas).

3. Procédé TIG (Tungsten Inert Gas).

MAG<sup>2</sup>) ou fil fourré (MAG) ;  
 ● le soudage à l'arc électrique sans protection gazeuse, fil fourré ;  
 ● le soudage à l'arc électrique avec protection gazeuse, électrode réfractaire (TIG)<sup>3</sup>.

Il existe de nombreux autres procédés (soudage au plasma, par points, par friction, par résistance, par induction, par faisceau d'électrons...) qui concernent non seulement les métaux, mais également les matériaux thermoplastiques. Cette fiche ne concerne que le soudage des métaux.

Les fumées de soudage ont été associées, avec un niveau de preuves variable, à un grand nombre de problèmes de santé potentiels [1]. Sur le plan respiratoire, outre la rhinite et l'asthme, on citera la fièvre des métaux, la bronchopneumopathie chronique obstructive (BPCO) [2], les dysfonctions immunitaires locales et systémiques favorisant les infections des voies respiratoires hautes et basses [3], certaines pneumoconioses (fer, aluminium, étain...) ou encore les cancers bronchopulmonaires.

## NATURE DES EXPOSITIONS [4]

### SOUDAGE

Quel que soit le procédé utilisé, le soudage engendre des fumées qui peuvent être inhalées par le soudeur ou les personnes travaillant à proximité. Ces fumées sont constituées en proportions variables (tableau I) :

● de gaz : gaz protecteurs (argon, hélium...), gaz émis par l'opération elle-même (monoxyde de carbone, dioxyde de carbone, ozone, oxydes d'azote...) et gaz issus de la dégradation thermique ou photochimique de revêtements ou de contaminants éventuellement présents sur les pièces soudées

(phosgène, formaldéhyde, chlorure d'hydrogène...);

● de particules solides métalliques et d'oxydes métalliques (oxydes de fer, composés du chrome hexavalent, oxydes de zinc, oxydes de nickel...). Ces particules présentent généralement un diamètre inférieur à 0,1 µm (soit 100 nm), pouvant atteindre les bronchioles et les alvéoles au-delà de l'action du système mucociliaire.

La composition des fumées de soudage et le débit d'émission dépendent du procédé de soudage, de la composition et du diamètre du fil (ou de l'électrode), de la composition et de l'épaisseur de

l'enrobage (ou du flux), de la composition du métal de base, de la présence d'éventuels revêtements ou contaminants sur le métal de base, du débit et de la composition du gaz protecteur, de la position de soudage (en angle, à plat...), des paramètres de soudage (intensité, tension...) et de la nature de l'opération (assemblage ou recharge-ment).

Les constituants des fumées de soudage proviennent à 95 % des produits d'apport (électrode ou fil), et à moins de 5 % du métal de base. Une électrode en acier doux génère des fumées contenant approximativement 80 % de fer et de

↓ Tableau I

### > PRINCIPAUX CONSTITUANTS POTENTIELS DES FUMÉES DE SOUDAGE (d'après [4])

Particules de, ou oxydes de	Gaz
Aluminium	Aldéhyde formique*
Antimoine	Cyanure d'hydrogène*
Baryum	Dioxyde d'azote
Béryllium	Monoxyde de carbone
Cadmium	Monoxyde d'azote
Chrome	Ozone
Cobalt	Phosgène*
Cuivre	
Étain	
Fer	
Fluorures	
Magnésium	
Manganèse	
Molybdène	
Nickel	
Plomb	
Silice amorphe	
Titane	
Vanadium	
Zinc	
Zirconium	

\* Générés par les contaminants présents sur le métal de base (solvants, graisses...).

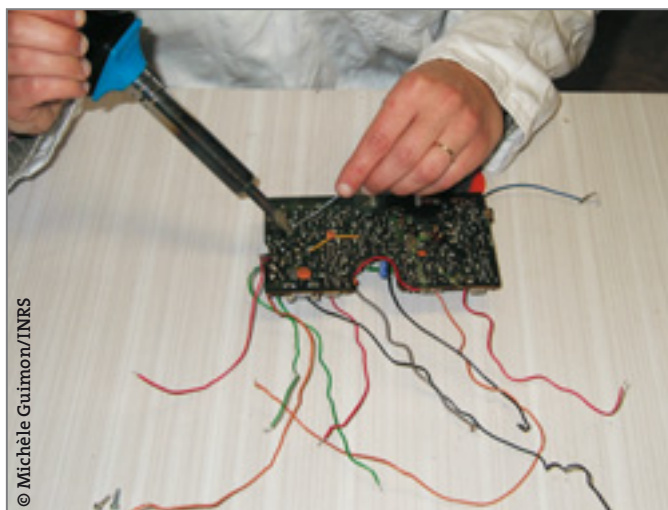
manganèse alors qu'une électrode en acier inoxydable émet des fumées contenant environ 20 % de chrome et 10 % de nickel.

L'intensité d'exposition aux fumées de soudage dépend notamment de la durée de l'opération, de la position de la tête du soudeur, de la vitesse de production des fumées, de la circulation de l'air, de la ventilation et de l'utilisation d'équipements de protection respiratoire. Ainsi, pour un même type de procédé de soudage, la composition des fumées produites et l'intensité de l'exposition du soudeur peuvent être très variable d'une situation à l'autre.

### BRASAGE

Le brasage tendre n'est pas un procédé de soudage mais l'assemblage de deux pièces métalliques à l'aide d'un métal de nature différente. Ce métal d'apport possédant une température de fusion inférieure à celles des pièces à assembler, lui seul participe à la constitution du joint d'assemblage. On distingue le brasage tendre du brasage fort selon que la température de fusion du métal d'apport est respectivement inférieure ou supérieure à 450 °C.

Le brasage tendre est utilisé en plomberie, en électronique (circuits imprimés), en ferblanterie, en électricité (connexion de fils), en zinguerie. Les métaux à assembler peuvent être du cuivre, du zinc, du laiton, de l'acier, de l'aluminium, du plomb... Le métal d'apport est en général un alliage d'étain binaire ou ternaire contenant du plomb, du cuivre, de l'argent, de l'or, de l'antimoine, du cadmium, du zinc, de l'indium. L'alliage le plus fréquemment utilisé est constitué de 60 % d'étain et 40 % de plomb. Les flux, additifs utilisés pour décaper les pièces à assembler, faciliter le mouillage du métal d'apport et évi-



ter la formation d'oxydes, peuvent être résineux (à base de colophane), organiques non résineux (à base d'alcools ou de solvants organiques), inorganiques (à base de chlorures, fluorures, borates, d'acide phosphorique, d'amines...). Les fumées de brasage tendre contiennent peu de polluants particulaires, les principaux polluants émis sont la colophane et ses produits de décomposition (flux à base de colophane). Selon le flux utilisé, il peut y avoir formation d'hydrazine, fluorures, chlorures, isopropanol... Lors du brasage fort, en plus des polluants dépendant des flux (flux contenant principalement des borates et des fluorures), des polluants particulaires peuvent être émis comme les oxydes de cadmium, de cuivre, de zinc...

### AUTRES TECHNIQUES

D'autres procédés tels que la projection thermique (projection thermique à la flamme ou à l'arc électrique, projection thermique plasma) ou le coupage des métaux (coupage à la flamme, coupage plasma et coupage laser) émettent également des fumées.

La quantité de particules générées lors des opérations de projection thermique dépend du procédé

employé alors que leur composition est fonction uniquement du métal à déposer.

Dans le cas du coupage, les polluants particulaires émis dépendent de la composition du métal de base. Leur diamètre est généralement supérieur à celui des poussières émises lors du soudage mais ils appartiennent néanmoins à la fraction alvéolaire.

### ÉPIDÉMIOLOGIE

Le rôle des fumées issues du soudage ou d'autres techniques connexes en tant que facteur de risque de rhinite ou d'asthme est encore sujet à débat sur le plan épidémiologique.

### DONNÉES MÉDICOLÉGALES

Certains auteurs ont avancé une estimation de l'incidence des asthmes professionnels liés aux fumées de soudage à partir des données de déclaration ou de reconnaissance médico-légale en maladies professionnelles. L'incidence annuelle est ainsi estimée à 76 pour 100 000 habitants en Finlande (1989-1995) et à 647 pour un million d'habitants en Suède (1990-1992) [5, 6]. Toutefois, ces

estimations sont très influencées par les spécificités des systèmes de réparation en maladies professionnelles propres à chaque pays. De plus, de nombreux pays, tel que la France, ne recensent pas ces cas d'asthmes indemnisés en tant qu'asthmes liés au soudage ou aux techniques apparentées, mais en fonction de l'agent mis en cause au sein des fumées engendrées (oxydes métalliques, colophane...), et ne peuvent donc avancer de statistiques spécifiques dans ce domaine.

#### DONNÉES ISSUES DES SYSTÈMES DE VEILLE DES ASTHMES PROFESSIONNELS

Différents systèmes de surveillance des asthmes en relation avec le travail existent de par le monde. Ils sont le plus souvent basés sur un signalement de cas documentés médicalement par des praticiens volontaires (pneumologues, allergologues, médecins du travail, médecins des consultations de pathologie professionnelle). Les données

issues de ces différents systèmes sont également très disparates en ce qui concerne les fumées de soudage (tableau II). Il y a sans doute plusieurs explications à cela.

Tout d'abord, certains systèmes ne citent pas explicitement les fumées de soudage comme agents causal. Par conséquent, les cas d'asthme induits par ces fumées peuvent être classés parmi les cas attribués aux métaux ou aux poussières/fumées en général [14].

Par ailleurs, certains systèmes distinguent les asthmes liés aux fumées de soudage des asthmes liés à la colophane libérée lors d'opération de brasage, et d'autres non.

Enfin, la culture médicale du pays influence probablement aussi le classement étiologique des asthmes observés, certaines communautés médicales ayant plutôt tendance à juger les fumées de soudage comme une source d'irritation bronchique susceptible d'aggraver un asthme préexistant mais rarement comme en étant la cause directe.

#### DONNÉES ISSUES D'ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES

##### ● Études transversales

Peu de données de prévalence concernant la rhinite et l'asthme chez les soudeurs sont rapportées dans la littérature.

Dans l'étude de El-Zein et al. [15] menée par questionnaire auprès de 351 soudeurs, 40,5 % des soudeurs rapportent une gêne nasale, 53,3 % une gêne conjonctivale et 14,6 % des symptômes bronchiques à type de toux et de sifflements. Par ailleurs, 5,8 % des sujets signalent à la fois des symptômes évocateurs d'asthme et de fièvre des métaux. Ces deux affections paraissent significativement associées, amenant les auteurs à envisager la fièvre des métaux comme un marqueur de l'apparition ultérieure d'asthme chez les soudeurs. Une seconde étude menée par la même équipe auprès d'apprentis soudeurs suivis durant 15 mois semble renforcer cette hypothèse [16].

Dans une étude espagnole de 1996 menée au sein d'un échantillon de plus de 2 500 travailleurs, un surrisque d'asthme est observé chez les sujets du groupe soudeurs (OR= 2,7 ; IC 95 % [1,01-7,21]) [17].

La même année, Beach et al. rapportent les résultats d'une étude comparative de prévalence entre un groupe de soudeurs ayant de 3 à 9 ans d'ancienneté et un groupe d'apprentis soudeurs [18]. Chaque groupe est subdivisé en 3 classes en fonction de l'intensité de leur exposition aux fumées de soudage. La prévalence des symptômes d'asthme est de 14 % à 16 % dans le groupe des soudeurs expérimentés. Par ailleurs, ce groupe présente une prévalence significativement plus élevée d'hyperréactivité bronchique, avec une augmentation croissante en fonction du degré d'exposition (37 %, 44 % et 47 %

#### ↓ Tableau II

#### ➤ PROPORTION D'ASTHMES ATTRIBUÉS AUX FUMÉES DE SOUDAGE PARMI LES CAS D'ASTHMES PROFESSIONNELS (AP) RAPPORTÉS PAR LES SYSTÈMES DE VEILLE DANS DIFFÉRENTS PAYS

Systèmes de veille des AP	Proportion d'AP attribués aux fumées de soudage
PROPULSE (Québec, 1992-1993) [7]	6,3 %
OSHRI (Corée du Sud, 1992-2001) [8]	5,3 %
SORDSA (Afrique du Sud, 1996-1998) [9]	3,6 %
SWORD (Royaume-Uni, 1992-2001) [10]	3 %
SABRE (Australie, 1997-2001) [11]	2,9 %
SENSOR (Michigan, USA, 1988-1992) [12]	1,8 %
ONAP (France, 1996-1999) [13]	0,8 %



respectivement pour les 3 classes,  $p < 0,05$ ). Après ajustement sur l'âge, le tabagisme et l'atopie, les soudeurs réguliers semblent avoir deux fois plus de risque d'avoir une hyperréactivité bronchique que les soudeurs occasionnels.

### ● Études longitudinales

Une étude multicentrique rétrospective portant sur la cohorte scandinave RHINE a récemment été publiée [19]. Cette cohorte a initialement été constituée au début des années 90 par tirage au sort parmi la population adulte de 7 pays du nord de l'Europe afin de participer au 1<sup>er</sup> volet du programme européen de surveillance de la santé respiratoire, ECRHS 1 (*European Community Respiratory Health Survey*). Les sujets ont par la suite périodiquement été recontactés pour répondre à de nouvelles questions concernant l'évolution de leur santé respiratoire, mais également leur parcours professionnel et leurs expositions. Le risque d'apparition d'une rhinite et/ou d'un asthme au cours de la carrière paraît significativement plus important chez les soudeurs que chez les autres professionnels de la cohorte (rhinite : *Hazard ratio* (HR)= 1,4 ; IC 95 % [1,3–1,6] ; asthme : HR=1,4 ; IC 95 % [1,04–1,97]). L'incidence de l'asthme est plus faible dans le groupe des sujets les plus longtemps exposés (> 8 ans), probablement du fait d'un effet « travailleur sain », classique en épidémiologie des risques professionnels et s'expliquant par un arrêt plus précoce de l'exposition chez les travailleurs développant des symptômes en rapport.

Une étude danoise, également publiée en 2015 [20], étudie la consommation de médicaments prescrits pour le traitement de l'asthme chez d'anciens soudeurs en fonction de la durée et de l'intensité de l'exposition aux fumées de sou-

dage au cours de leur carrière et du type de métaux soudés (acier doux ou inoxydable). Après prise en compte des facteurs confondants, seuls les soudeurs d'acier inox, non-fumeurs, avec les expositions estimées les plus longues et fortes, semblent avoir un risque accru de prendre ce type de médicaments (HR=1,46 ; IC 95 % [1,06–2,02]).

Erkinjuntti-Pekkanen et al. publient, en 1999, les résultats d'une étude longitudinale de 2 ans évaluant le déclin de la fonction respiratoire d'un groupe de soudeurs et d'un groupe témoin [21]. Les auteurs ne rapportent pas de différence significative d'altération de la fonction respiratoire entre les 2 groupes. En revanche, lorsque les fumeurs sont étudiés séparément, l'exposition aux fumées de soudage paraît influencer significativement le déclin du volume expiratoire maximum par seconde (VEMS). De plus, les soudeurs les moins bien protégés sur le plan collectif (système de captage à la source des fumées) et individuel (appareil de protection respiratoire) présentent une diminution du VEMS à l'issue du suivi.

Haluza et al., dans une étude longitudinale de 9 ans publiée en 2014, retrouvent également un déclin accéléré de la fonction respiratoire chez les soudeurs les plus exposés aux fumées de soudage et ayant la plus forte co-exposition au tabac [22].

Dans une méta-analyse, publiée en 2013 à partir de 5 études longitudinales, Szram et al. observent eux aussi, bien que de façon non significative, une tendance à un déclin accéléré du VEMS chez les soudeurs fumeurs [23]. Il semblerait donc que la co-exposition aux fumées de tabac contribue à la dégradation accélérée de la fonction respiratoire chez les soudeurs.

Concernant l'exposition aux fumées de brasage, une récente mé-

ta-analyse retrouve une association significative entre l'apparition de sifflements et l'exposition aux fumées engendrées par cette technique dans l'industrie électronique (Méta-OR=2,60 ; IC 95 % [1,46–4,63]) [24].

### ● Cas cliniques

**Concernant le soudage**, 15 publications ont rapporté de façon documentée, depuis les années 80, des cas ou des séries de cas cliniques d'asthme et une publication a décrit un cas de rhinite ([tableau III, pp. 110-111](#)). La symptomatologie a été mise en relation tantôt avec la méthode de soudage employée, tantôt avec la nature des métaux soudés (acier doux, acier inox ou spéciaux, aluminium) ou leur revêtement de surface. La plupart a été objectivée par test(s) de provocation spécifique(s) (TPS, test de provocation bronchique spécifique ou TPN, test de provocation nasale spécifique), soit en reproduisant en milieu hospitalier l'opération de soudage incriminée (test de provocation réaliste ou TPR), soit en exposant le patient, le plus souvent par nébulisation, à une solution de l'agent suspecté, en général un sel métallique présent dans la fumée de soudage. Le plus souvent, la spécificité des résultats positifs observés est recherchée en comparant avec les résultats de tests de provocation réalisés à l'aide d'une autre technique de soudage ou d'un autre métal à titre de témoins négatifs.

Certains cas ont été jugés liés à une réaction irritative non spécifique. Par exemple, Sjögren et al. retiennent ce diagnostic du fait de l'absence de période de latence entre l'exposition aux fumées de soudage incriminées et l'apparition des premiers symptômes d'asthme [25]. Pour Contreras et

Tableau III

RÉSUMÉ DES CAS CLINIQUES ET SÉRIES DE CAS PUBLIÉS DE RHINITE ET D'ASTHME PROFESSIONNELS AUX

Diagnostic retenu	Circonstance d'exposition	Agents incriminés (I) / suspects (S)	Sujet (nombre/statut allergique)	Délai d'apparition des symptômes
Asthme induit par les irritants	Soudage de métal peint [25]	Chlorure d'hydrogène, anhydrides d'acides (I)	2	Quelques heures
	Soudage manuel à l'arc d'acier inox et métal galvanisé [26]	Fumées de soudage (I)	3	1 à 25 ans
	Soudage manuel à l'arc de fer [27]	Fumées de soudage (I)	3	5 à 31 ans
Rhinite/asthme immuno-induits	Soudage manuel à l'arc d'acier inox [28]	Composés de chrome et/ou nickel (S)	2 (1 atopique, 1 eczéma au chrome)	1,5 ans et 16 ans
	Soudage de fer galvanisé [29]	Composés de zinc (S)	2 (1 atopique)	1,5 ans et 2h
	Soudage à l'arc au gaz d'acier doux [30]	Composés métalliques (chrome, nickel, fer, manganèse) (S)	1	3 mois
	Soudage à l'arc au gaz [31]	Fumées de soudage (S)	1	?
	Soudage manuel à l'arc d'aluminium [32]	Composés d'aluminium (S)	1	4 ans
	Soudage de métal peint [33]	Anhydrides d'acides (I)	1	6 mois
	Soudage manuel à l'arc d'aciers inox spéciaux [34]	Composés métalliques (chrome, aluminium, molybdène) (S)	2	Quelques semaines / 10 ans
	Soudage manuel à l'arc [35]	Composés de chrome (I)	1 (atopique)	1 an
	Soudage manuel à l'arc avec électrode en stellite (exposition indirecte) [36]	Composés métalliques (S)	1 (asthme atopique)	?
	Soudage manuel à l'arc d'acier inox (expositions directe et indirecte) [37]	Composés métalliques (chrome nickel...) (S)	34 (11 atopiques)	6 mois à 34 ans (18 ans en moyenne)
	Soudage manuel à l'arc avec électrode contenant du manganèse [38]	Composés de manganèse (I)	1	10 ans
	Soudage à l'arc [39]	Composés métalliques (chrome, nickel, cobalt, manganèse) (I)	9	?
	Soudage à l'arc d'acier galvanisé [40]	Composés métalliques (chrome, nickel) (S)	1	6 mois

LÉGENDES

TPN : test de provocation nasale ; TPR : test de provocation bronchique réaliste ; TPS : test de provocation bronchique spécifique ; PN : polynucléaires neutrophiles ; PEO : polynucléaires éosinophiles ; TNF : Tumor necrosis factor ; IL : Interleukine

## FUMÉES DE SOUDAGE

Confirmation diagnostique		
Tests de provocation	Tests cutanés	Autres
/	/	/
TPR soudage acier inox + (RI) TPR acier doux + (RI) TPS chlorure de zinc -	PT - (nickel, chrome, zinc)	/
TPR soudage fer + RI 2/3 ; RI et RR 1/3	/	↑PN, TNF $\alpha$ TNF $\beta$ et IL8 dans expectorations
TPR soudage manuel acier inox + (RI et RR) TPR soudage au gaz acier inox -	/	/
TPR fer galvanisé + (RR) TPR fer non galvanisé -	/	/
TPR soudage au gaz d'acier doux + (RI et RR) TPR soudage manuel d'acier doux - TPS ozone -	PT - (nickel, zinc, cuivre, manganèse)	/
Journal de DEP	/	/
TPR soudage aluminium + (RR) TPR soudage aluminium (électrode non enrobée) + TPR soudage acier doux -	/	/
TPR soudage métal peint + (RI)	PT + (anhydrides acides)	Dosage d'IgE spécifiques + (anhydrides acides)
TPR acier spéciaux + (RR) TPR acier doux - TPR acier inox -	PT - (chrome, nickel)	/
TPS sels de chrome + (RR) TPS sels de chrome chez témoins non exposés aux fumées de soudage -	PT - (chrome)	IgE spécifiques - (chrome)
TPR soudage avec électrode en stellite + (RI et RR) TPS sels de chrome - TPS sels de cobalt -	PT - (nickel, chrome, cobalt)	/
TPR acier inox + (RI 9/34 ; RR 9/34 ; RI et RR 16/34) TPR acier doux (32/34) - TPR lactose (2/34) -	PT - (chrome, nickel, cobalt)	/
TPR soudage avec électrode au manganèse + (RI et RR) TPS chlorure de manganèse - TPS chlorure de potassium - TPR soudage avec électrode au manganèse chez témoins non exposés -	/	↑PEo dans expectorations
TPS au(x) sel(s) métallique(s) suspect(s) + (RR 8/9 ; RI et RR 1/9)	PT + (chrome, cobalt) 3/9	↑PEo dans expectorations
TPN soudage acier galvanisé + TPN soudage acier noir -	/	/

PT : *prick-test* ; RI : *réaction bronchospastique immédiate* ; RR : *réaction bronchospastique retardée* ; DEP : *débit expiratoire de pointe* ; IGE : *immunoglobulines E*

Chan-Yeung, qui rapportent 3 cas d'asthme chez des soudeurs de métal galvanisé, le faisceau d'arguments en faveur du mécanisme irritatif est la réaction uniquement immédiate au TPR, la positivité du test témoin à l'acier doux et la négativité des prick-tests aux sels de nickel, de chrome et de zinc et du TPS au chlorure de zinc [26]. Pour Muñoz et al. enfin, l'augmentation de la proportion de polynucléaires neutrophiles, de TNF $\alpha$ <sup>4</sup>, de TNF $\beta$  et d'IL8<sup>5</sup> dans les expectorations induites post-TPS semble plaider plutôt pour un mécanisme inflammatoire non immunologique [27]. Concernant les asthmes jugés immuno-induits, les agents le plus souvent incriminés par les auteurs sont les composés métalliques, notamment de chrome et de nickel, libérés en plus forte proportion lors du soudage à l'arc avec électrode enrobée [28], en particulier d'aciers inox et inox spéciaux [36]. Certains types d'électrodes, telles que les électrodes en stellite<sup>6</sup>, favoriseraient encore davantage l'émission d'oxydes métalliques [37]. D'autres composés métalliques sont cités, issus de l'aluminium [32] ou du manganèse composant certaines électrodes [38] ou du zinc utilisé pour la galvanisation de certains métaux soudés [29].

Certains auteurs ont pu conforter leur hypothèse par un TPS positif au sel métallique suspecté [35, 38, 39]. Seuls Wittzack et al. ont confirmé par prick-test l'existence d'une sensibilisation IgE<sup>7</sup>-médiée aux sels métalliques impliqués dans 3 des 9 cas rapportés [39].

Enfin, un cas d'asthme professionnel (AP) induit par les fumées dégagées lors du soudage d'éléments métalliques peints a pu être associé à une sensibilisation IgE-médiée à des anhydrides d'acides libérés lors de la dégradation thermique de la peinture [33].

Un premier cas de rhinite professionnelle par exposition aux fumées de soudage d'acier galvanisé a récemment été documenté par 3 TPR nasaux de durée croissante [40]. Le salarié présentait également une symptomatologie évoquant une pneumopathie d'hypersensibilité subaiguë (myalgies et épisodes fébriles dans les heures suivant l'exposition). L'hyperthermie et la chute de la DLCO (diffusion libre du monoxyde de carbone) constatées dans les heures suivant le TPR nasal le plus long renforce cette hypothèse, sans qu'elle ne soit toutefois d'avantage documentée sur le plan radiologique ou biologique.

**Concernant le brasage**, de nombreux cas d'asthme ont été rapportés à une sensibilisation immuno-allergique à la colophane [41, 42] et, plus ponctuellement, à d'autres constituants des flux : l'aminéthyléthanolamine [43, 44], un mélange de polypropylène-glycol et d'alcool polyéther [45], le chlorure de zinc et d'ammonium [46].

## PHYSIOPATHOLOGIE

Les fumées de soudage semblent pouvoir être à l'origine de rhinite et d'asthme par le biais de différents polluants (particules métalliques, oxydes métalliques, gaz...) et divers mécanismes.

Certains cas d'AP aux fumées de soudage ont été rapportés à un mécanisme purement irritatif, soit par le biais d'une exposition accidentelle à une forte concentration de particules et gaz irritants, soit suite à des expositions répétées à des concentrations de fumées plus modérées [25 à 27]. D'un point de vue expérimental, il a été montré chez l'animal que les fumées issues du soudage à l'arc d'acier inox, en particulier par méthode manuelle,

génèrent un degré d'inflammation bronchique plus important et plus persistant que les fumées d'acier doux. Ce phénomène serait lié à une fraction plus importante dans ces fumées d'oxydes métalliques tels que les oxydes de chrome et de nickel, à l'origine de la production locale de nombreux radicaux libres et de cytokines pro-inflammatoires [47]. D'autres investigations semblent encore nécessaires pour confirmer si ce phénomène (ou d'autres) concourt à la pathogénèse de certains cas d'asthme chez les soudeurs, soit en induisant directement des symptômes (asthme induit par les irritants), soit en favorisant la sensibilisation à certains agents présents dans les fumées de soudage (asthme allergique).

Le soudage de métaux peints peut libérer par pyrolyse des substances sensibilisantes pouvant être à l'origine d'asthme allergique [33]. De même, les acides résiniques libérés dans les fumées lors du brasage avec flux de colophane et certains oxydes métalliques retrouvés dans les fumées de soudage (oxydes de chrome, nickel, cobalt, zinc...) peuvent induire une sensibilité IgE-médiée à l'origine de manifestations allergiques immédiates, telles que la rhinite et l'asthme [48, 49].

L'étude prospective de El Zein et al., portant sur une population de 286 apprentis soudeurs suivis durant 15 mois, rapporte l'acquisition d'une sensibilisation à au moins un oxyde métallique chez 11,8 % des sujets au terme du suivi [16]. L'apparition de ces sensibilisations n'est toutefois pas significativement associée à l'apparition de symptômes évocateurs d'asthme au cours de la même période.

Les prick-tests et/ou recherche d'IgE spécifiques de sels métalliques réalisés dans le cadre de

4. TNF : Tumor necrosis factor

5. IL : Interleukine

6. Stellite : alliage particulièrement résistant constitué principalement de cobalt et de chrome.

7. IgE : immunoglobuline E.



l'exploration des cas ou séries de cas publiés d'asthme chez des soudeurs se sont, en revanche, le plus souvent révélés négatifs [26, 30, 34 à 36]. Wittzack et al. observent toutefois que 3 des 9 soudeurs ayant développé un asthme confirmé par TPS à une solution d'oxydes métalliques présentent également un prick-test positif à celui-ci [39]. Il semble que si une sensibilisation IgE-médiée puisse expliquer certains cas de rhinite ou d'asthme immuno-induits, d'autres mécanismes immunologiques puissent être impliqués, ce que paraît confirmer l'observation de réactions préférentiellement retardées ou biphasiques lors des TPS aux fumées de soudage ou aux solutions d'oxydes métalliques qu'elles contiennent.

## DIAGNOSTIC EN MILIEU DE TRAVAIL

### DIAGNOSTIC POSITIF

L'interrogatoire est la phase clé du diagnostic. L'asthme peut être évoqué en cas de toux, de sifflement, de sensation fluctuante d'oppression thoracique ou d'essoufflement. Une rhinite (étternuements répétés, rhinorrhée, occlusion nasale fluctuante, prurit) et/ou une conjonctivite (rougeur, larmolement, prurit oculaire) peuvent parfois l'avoir précédé de plusieurs mois, voire de plusieurs années. Les symptômes d'asthme surviennent de façon progressive ou paroxystique au cours de la journée de travail, ou, en particulier dans le cas de la toux et des sifflements, peuvent apparaître préférentiellement le soir.

La mesure du débit expiratoire de pointe (DEP), de façon pluriquotidienne sur plusieurs semaines, peut permettre de conforter l'hypothèse d'un asthme en relation avec l'activité professionnelle,

qu'il soit aggravé ou directement induit par cette activité. Réalisé par le patient lui-même, le journal de DEP s'effectue idéalement sur 4 à 6 semaines, dont au moins 2 semaines non travaillées, et comprend au minimum 4 mesures par jour. Le programme d'analyse informatique OASYS-2 peut aider à son interprétation en appréciant sa qualité intrinsèque et en calculant des indices et des algorithmes spécifiques capables de déterminer la probabilité d'asthme professionnel [50].

Il est également possible d'objectiver une altération progressive du VEMS au cours d'une journée ou d'une semaine de travail en réalisant un suivi spirométrique rapproché sur le lieu de travail.

### DIAGNOSTIC ÉTIOLOGIQUE

Le diagnostic de rhinite ou d'asthme induit par les fumées de soudage peut être évoqué en cas de survenue de symptômes bronchiques évocateurs chez un sujet réalisant lui-même des opérations de soudage ou travaillant à proximité de soudeurs.

Certaines opérations de soudage peuvent être particulièrement génératrices de fumées irritantes ou rendent difficile la mise en place de mesures de prévention adaptées (soudage en milieu confiné et exigü, soudage sur chantier...). Ces circonstances peuvent favoriser l'apparition de rhinite ou d'asthme induit par les irritants, soit de façon aiguë après une exposition particulièrement intense à ces fumées, soit de façon progressive par des expositions répétées à des concentrations plus modérées.

Dans d'autres cas, les symptômes s'installent progressivement après une période de latence de plusieurs mois ou de plusieurs années après le début de l'exposition. Une fois apparus, les symptômes rhino-

conjonctivaux et/ou asthmatiques s'intensifient lors des périodes d'exposition aux fumées de soudage et s'amendent en dehors. Seuls une technique spécifique et/ou un type de métal soudé déclenchent les symptômes.

Dans tous les cas, ces symptômes peuvent survenir *de novo* ou apparaître chez des sujets présentant une rhinite ou un asthme ancien devenu asymptomatique ou, jusqu'ici, bien contrôlé par un traitement de fond.

## DIAGNOSTIC EN MILIEU SPÉCIALISÉ

### DIAGNOSTIC POSITIF

L'existence d'une rhinite est confirmée par un examen nasal, idéalement réalisé par endoscopie. Cet examen permet de rechercher d'autres pathologies rhino-sinusiennes (polypose naso-sinusienne, déviation septale, pathologie tumorale...). Bien qu'il n'existe pas de signe spécifique d'examen permettant d'affirmer l'origine allergique de la rhinite, une muqueuse pâle et œdématisée ainsi qu'un mucus clair sont des signes évocateurs. En l'absence de signe de complication sinusienne, aucun examen d'imagerie n'est recommandé.

Face à une suspicion d'asthme en relation avec le travail, le clinicien recherche un terrain atopique par l'interrogatoire (notion de rhinite, d'asthme ou de dermatite atopique dans l'enfance), le dosage des IgE totales et la réalisation de prick-tests aux pneumallergènes courants de l'environnement (acariens domestiques, pollens, phanères de chat et chien...). En cas de discordance entre les données de l'interrogatoire et le résultat des prick-tests, les investigations pourront être complétées par une

recherche d'IgE spécifiques vis-à-vis des pneumallergènes les plus courants.

Le diagnostic d'asthme repose sur la réalisation d'un bilan fonctionnel respiratoire de base à la recherche d'une obstruction bronchique distale, voire d'un trouble ventilatoire obstructif (TVO) global réversible sous  $\beta_2$  mimétiques. En l'absence de TVO réversible objectivable à l'état de base, on cherche à apprécier le seuil d'hyperréactivité bronchique non spécifique (HRBNS) par la pratique d'un test de provocation aspécifique (méta-choline, histamine...). Ce dernier est habituellement plus bas que dans la population générale, permettant de conclure à la positivité du test, mais peut être normal au début de l'évolution de l'asthme ou lorsque le test est pratiqué à distance de l'exposition à l'allergène responsable dans le cas d'un asthme allergique.

Si la fluctuation de la fonction respiratoire suivant le travail n'a pas été évaluée au préalable, le clinicien demandera au patient de tenir un journal de DEP suivant les mêmes modalités que celles décrites plus haut.

### DIAGNOSTIC ÉTIOLOGIQUE

Les rapports de cas précédemment cités suggèrent que certains asthmes apparaissant *de novo* chez des soudeurs peuvent être d'origine immuno-allergique, notamment par sensibilisation à un sel métallique ou à un agent libéré lors de la pyrolyse du revêtement présent sur le métal soudé. Toutefois, les tests immunologiques (prick-tests ou recherche d'IgE spécifiques) sont assez peu sensibles en ce qui concerne les agents chimiques. La démarche diagnostique consistera à déterminer, le plus précisément possible, la composition des fumées de soudage émises lors de

l'opération incriminée, en fonction de la technique et du matériel utilisé (type d'électrode, de flux, de métal d'apport...) et des caractéristiques des métaux soudés (alliage, revêtement...).

Si possible, des prick-tests seront ensuite réalisés à partir de solutions contenant les agents potentiellement allergisants repérés (sels métalliques, résine époxy, anhydrides d'acides, isocyanates). Seuls les anhydrides d'acides et les isocyanates peuvent, en routine, faire l'objet de dosage sérique d'IgE spécifiques.

En l'absence de confirmation d'une sensibilisation par tests immunologiques sanguins ou cutanés, un TPS peut permettre de confirmer l'identité de la substance responsable. Il doit être réalisé avec prudence, en cabine, auprès d'un opérateur expérimenté et dans le cadre d'une hospitalisation brève. Il peut consister à reproduire l'opération de soudage, afin de recréer les conditions habituelles d'exposition aux fumées produites sur le lieu de travail (TPR) ou à faire inhaler des doses déterminées de solution d'un agent suspecté présent dans ces fumées, de manière standardisée et contrôlée. La positivité du test est appréciée par la chute du VEMS et l'apparition éventuelle de sibilants à l'auscultation. La réponse peut être immédiate, retardée (de 4 à 6 heures) ou double (immédiate et retardée), ce qui explique la nécessité d'une surveillance prolongée en milieu hospitalier. La réalisation d'un test de provocation de contrôle, avec une autre technique de soudage ou une autre solution est recommandée au préalable afin de conforter la pertinence d'un résultat positif.

Lorsqu'une rhinite allergique aux fumées de soudage est suspectée, un test de provocation nasale (TPN) spécifique peut être réalisé.

Il consiste à appliquer le produit incriminé sur la muqueuse nasale et à mesurer l'obstruction nasale induite par rhinomanométrie antérieure ou postérieure ou par un score clinique.

### ÉVOLUTION

Le devenir à long terme des sujets ayant développé un asthme aux fumées de soudage n'a pour l'heure pas été étudié.

Hannu et al. ont revu, à six mois, 33 de leur 34 sujets ayant un asthme aux fumées de soudage confirmé par TPR. Tous poursuivaient un traitement de fond pour l'asthme et 14 présentaient un trouble ventilatoire obstructif persistant à l'état de base à la spirométrie. Sur le plan professionnel, parmi les 31 sujets interrogés, seuls 6 sujets poursuivaient leur activité de soudage avec des mesures de prévention renforcées limitant l'exposition aux fumées, 4 avaient été reclassés en interne, 14 étaient en cours de reconversion professionnelle et 7 avaient obtenu une pension d'invalidité [36].

### PRÉVENTION

#### PRÉVENTION TECHNIQUE

##### ● Collective

La prévention des affections respiratoires, et notamment des asthmes liés aux opérations de soudage, repose sur un contrôle rigoureux du niveau d'exposition aux fumées émises.

Pour réduire l'émission de fumées de soudage, la modification des procédés doit systématiquement être envisagée, sous réserve que la qualité de la soudure ne soit pas altérée. Il peut être proposé, par exemple, de réduire le diamètre de l'électrode, de remplacer le soudage

avec fil fourré par du soudage sous gaz protecteur avec fil plein, de réduire la longueur de l'arc, de changer le gaz de protection (ajouter de l'argon ou du dioxyde de carbone) ou encore de réduire l'intensité du courant. Il existe également des procédés, développés récemment, qui présentent la particularité d'être moins émissifs, comme le soudage à l'arc submergé ou le soudage par friction-malaxage.

Néanmoins, l'utilisation de ces procédés et produits d'apport moins émissifs peut s'avérer insuffisante. Il est donc également nécessaire de mettre en place des dispositifs d'aspiration localisée pour permettre de capter les fumées de soudage au plus près de leur source d'émission [51]. Il convient de choisir un dispositif spécifiquement adapté au poste de travail (à la technique de soudage employée, aux pièces à souder, à l'environnement et aux conditions de travail...). Il pourra s'agir d'une torche aspirante, d'un gabarit aspirant, d'une table aspirante, d'une cabine de soudage, d'un caisson aspirant voire éventuellement d'un bras articulé ou d'une hotte.

Le système de ventilation générale doit assurer le rejet de l'air chargé de fumées à l'extérieur, en dehors des zones d'entrée d'air neuf.

En France, la valeur limite moyenne d'exposition professionnelle (VLEP-8h) pour la totalité des particules composant les fumées de soudage est de 5 mg.m<sup>-3</sup>. Pour certains constituants des fumées, comme le chrome VI, l'oxyde de cadmium ou l'ozone, il existe également des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP-8h ou VLEP-CT).

#### ● Individuelle

Le port d'un appareil de protection respiratoire ne doit être envisagé que si les dispositifs de ventilation (locale et générale) se révèlent insuffisants. Il convient alors de

choisir l'appareil le plus adapté aux travaux réalisés et à leur durée.

#### PRÉVENTION MÉDICALE

À l'embauche, on sera attentif à rechercher une sensibilité particulière à l'exposition aux irritants, telle qu'un terrain atopique, la préexistence d'une rhino-conjonctivite et/ou d'un asthme, ou d'une autre pathologie respiratoire chronique. L'examen clinique devra être complété par des explorations fonctionnelles respiratoires (EFR) qui serviront d'examen de référence. Il ne s'agit pas d'exclure *a priori* les sujets concernés de ce type d'environnement de travail, mais de les identifier afin de suivre de manière rapprochée l'évolution de leur santé respiratoire afin de dépister précocement la moindre altération. Concernant les sujets aux antécédents de rhino-conjonctivite et/ou d'asthme, il conviendra d'évaluer, dès l'embauche, le degré d'activité de ces affections et de suivre par la suite leur niveau de contrôle.

Au cours des visites périodiques, l'interrogatoire recherchera des signes évocateurs de rhino-conjonctivite ou d'asthme *de novo* ou aggravé par le travail et appréciera le contexte d'apparition de ces symptômes. La répétition, à intervalles réguliers, des EFR permettra d'identifier une obstruction bronchique débutante.

Puisque la coexposition aux fumées de tabac paraît contribuer à la dégradation accélérée de la fonction respiratoire chez les soudeurs, il semble recommandé d'inciter particulièrement ces salariés à arrêter de fumer [21 à 23].

#### RÉPARATION

Au sein des régimes général et agricole de Sécurité sociale, il n'existe actuellement pas de tableau de

maladie professionnelle spécifique concernant les affections de types rhinite ou asthme liés à l'exposition aux fumées de soudage.

Le tableau 66 du régime général intitulé « *Rhinites et asthmes professionnels* » mentionne, parmi la liste limitative, les travaux exposants à la colophane chauffée, notamment de la soudure en électronique.

Le tableau 37 bis du régime général, intitulé « *Affections respiratoires causées par les oxydes et sels de nickel* », cite, parmi les affections concernées, la rhinite et l'asthme. En revanche, la liste limitative des travaux exposant ne mentionne que le nickelage électrolytique des métaux. Si une déclaration en maladie professionnelle pour rhinite et/ou asthme en lien avec les sels de nickel libérés dans les fumées de soudage était effectuée au titre de ce tableau, le comité régional de reconnaissance des maladies professionnelles (CRRMP) devrait établir l'existence d'un lien direct entre la pathologie déclarée et l'exposition rapportée. Il se baserait alors sur les données d'exposition aux fumées de soudage à sa disposition, notamment le type de soudage, les matériaux en présence et l'environnement de travail, afin de déterminer la probabilité et l'intensité d'exposition du déclarant aux composés de nickel.

Dans le cadre de ces tableaux, la rhinite ou l'asthme objectivé par EFR doivent récidiver en cas de nouvelle exposition au risque ou être confirmés par test.

Si les manifestations d'asthme surviennent de façon aiguë au décours d'un accident d'exposition à de fortes concentrations de fumées de soudage, une déclaration d'accident de travail pour asthme aigu induit par des irritants peut être effectuée.

POINTS À RETENIR  
ET BIBLIOGRAPHIE



## POINTS À RETENIR

- Plusieurs études épidémiologiques, publiées ces vingt dernières années, ont mis en évidence un risque accru de symptômes respiratoires à type de rhinite ou d'asthme chez les soudeurs.
- La co-exposition aux fumées de tabac et de soudage semble être un facteur d'accélération du déclin de la fonction respiratoire.
- Les fumées produites par les procédés de soudage et autres techniques connexes peuvent favoriser le développement de rhinite et d'asthme par un mécanisme pro-inflammatoire lié à leur caractère irritant.
- Certains constituants de ces fumées peuvent également être à l'origine de cas de rhinite et d'asthme immuno-induits : oxydes métalliques (nickel, chrome, aluminium, zinc...), anhydrides d'acides, colophane...
- Le diagnostic de rhinite ou d'asthme lié aux activités de soudage repose sur une clinique compatible et une rythmicité professionnelle des symptômes. L'asthme peut être confirmé par la mise en évidence soit d'un trouble ventilatoire obstructif réversible, soit d'une hyperréactivité bronchique non spécifique.
- Le test de provocation spécifique, nasal ou bronchique, réalisé en milieu hospitalier, permet d'objectiver le rôle des fumées de soudage, voire d'un de leurs constituants en particulier, dans la genèse des symptômes de rhinite ou d'asthme, sans préjuger du ou des mécanisme(s) physiopathologique(s) impliqué(s).
- La prévention repose prioritairement sur le choix de techniques les moins génératrices de fumées, sur l'installation de systèmes de captage à la source et, si ces mesures de prévention collective se révèlent insuffisantes, sur les mesures de protection individuelle, comme le port d'un appareil de protection respiratoire adapté à l'activité.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 | ANTONINI JM - Health effects of welding. *Crit Rev Toxicol*. 2003 ; 33 (1) : 61-103.
- 2 | LILLIENBERG L, ZOCK JP, KROMHOUT H, PLANA E ET AL. - A population-based study on welding exposures at work and respiratory symptoms. *Ann Occup Hyg*. 2008 ; 52 (2) : 107-15.
- 3 | ZEIDLER-ERDELY PC, ERDELY A, ANTONINI JM - Immunotoxicology of arc welding fume: worker and experimental animal studies. *J Immunotoxicol*. 2012 ; 9 (4) : 411-25.
- 4 | RICAUD M - Les fumées de soudage et des techniques connexes. Aide-mémoire technique. Édition INRS ED 6132. Paris : INRS ; 2012 : 25 p.
- 5 | KARIJAINEN A, KURPPA K, VIRTANEN S, KESKINEN H ET AL. - Incidence of occupational asthma by occupation and industry in Finland. *Am J Ind Med*. 2000 ; 37 (5) : 451-58.
- 6 | TORÉN K - Self reported rate of occupational asthma in Sweden 1990-2. *Occup Environ Med*. 1996 ; 53 (11) : 757-61.
- 7 | PROVENCHER S, LABRÈCHE FP, DE GUIRE L - Physician based surveillance system for occupational respiratory diseases: the experience of PROPULSE, Québec, Canada. *Occup Environ Med*. 1997 ; 54 (4) : 272-76.
- 8 | OH SS, KIM KS - Occupational asthma in Korea. *J Korean Med Sci*. 2010 ; 25 (Suppl) : S20-25.
- 9 | HINIZDO E, ESTERHUIZEN TM, REES D, LALLOO UG - Occupational asthma as identified by the Surveillance of Work-related and Occupational Respiratory Diseases programme in South Africa. *Clin Exp Allergy*. 2001 ; 31 (1) : 32-39.
- 10 | McDONALD JC, CHEN Y, ZEKVELD C, CHERRY NM - Incidence by occupation and industry of acute work related respiratory diseases in the UK, 1992-2001. *Occup Environ Med*. 2005 ; 62 (12) : 836-42.
- 11 | ELDER D, ABRAMSON M, FISH D, JOHNSON A ET AL. - Surveillance of Australian workplace Based Respiratory Events (SABRE): notifications for the first 3,5 years and validation of occupational asthma cases. *Occup Med (Lond)*. 2004 ; 54 (6) : 395-99.
- 12 | REILLY MJ, ROSENMAN KD, WATT FC, SCHILL D ET AL. - Surveillance for occupational asthma-Michigan and New Jersey, 1988-1992. *MMWR CDC Surveill Summ*. 1994 ; 43 (1) : 9-17.
- 13 | AMEILLE J, PAULI G, CALASTRENG-CRINQUAND A, VERVLOËT D ET AL. - Reported incidence of occupational asthma in France, 1996-99: the ONAP programme. *Occup Environ Med*. 2003 ; 60 (2) : 136-41.
- 14 | IWATSUBO Y, BÉNÉZET L, IMBERNON E - Observatoire national des asthmes professionnels II. Bilan de la phase pilote 2008-2009. InVS, 2011 ([www.invs.sante.fr/fr/Publications-et-outils/Rapports-et-syntheses/Travail-et-sante/2011/Observatoire-national-des-asthmes-professionnels-II](http://www.invs.sante.fr/fr/Publications-et-outils/Rapports-et-syntheses/Travail-et-sante/2011/Observatoire-national-des-asthmes-professionnels-II)).
- 15 | EL-ZEIN M, MALO JL, INFANTE-RIVARD C, GAUTRIN D - Prevalence and association of welding related systemic and respiratory symptoms in welders. *Occup Environ Med*. 2003 ; 60 (9) : 655-61.
- 16 | EL-ZEIN M, INFANTE-RIVARD C, MALO JL, GAUTRIN D - Is metal fume fever a determinant of welding related respiratory symptoms and/or increased bronchial responsiveness? A longitudinal study. *Occup Environ Med*. 2005 ; 62 (10) : 688-94.
- 17 | KOGEVINAS M, ANTÓ JM, SORIANO JB, TOBIAS A ET AL. - The risk of asthma attributable

- to occupational exposures. A population-based study in Spain. Spanish Group of the European Asthma Study. *Am J Respir Crit Care Med.* 1996 ; 154 (1) : 137-43.
- 18 | BEACH JR, DENNIS JH, AVERY AJ, BROMLY CL ET AL. - An epidemiologic investigation of asthma in welders. *Am J Respir Crit Care Med.* 1996 ; 154 (5) : 1394-400.
- 19 | STORAAS T, ZOCK JP, MORANO AE, HOLM M ET AL. - Incidence of rhinitis and asthma related to welding in Northern Europe. *Eur Respir J.* 2015 ; 46 (5) : 1290-97.
- 20 | KRISTIANSEN P, JØRGENSEN KT, HANSEN J, BONDE JP - Redemption of asthma pharmaceuticals among stainless steel and mild steel welders: a nationwide follow-up study. *Int Arch Occup Environ Health.* 2015 ; 88 (6) : 743-50.
- 21 | ERKINJUNTTI-PEKKANEN R, SLATER T, CHENG S, FISHWICK D ET AL. - Two year follow up of pulmonary function values among welders in New Zealand. *Occup Environ Med.* 1999 ; 56 (5) : 328-33.
- 22 | HALUZA D, MOSHAMMER H, HOCHGATTERER K - Dust is in the air. Part II: Effects of occupational exposure to welding fumes on lung function in a 9-year study. *Lung.* 2014 ; 192 (1) : 111-17.
- 23 | SZRAM J, SCHOFIELD SJ, COSGROVE MP, CULLINAN P - Welding, longitudinal lung function decline and chronic respiratory symptoms: a systematic review of cohort studies. *Eur Respir J.* 2013 ; 42 (5) : 1186-93.
- 24 | MENDY A, GASANA J, FORNO E, VIEIRA ER ET AL. - Work-related respiratory symptoms and lung function among solderers in the electronics industry: a meta-analysis. *Environ Health Prev Med.* 2012 ; 17 (3) : 183-90.
- 25 | SJÖGREN B, BÄCKSTRÖM I, FRYK G, JAKOBSSON R ET AL. - Fever and respiratory symptoms after welding on painted steel. *Scand J Work Environ Health.* 1991 ; 17 (6) : 441-43.
- 26 | CONTRERAS GR, CHAN-YEUNG M - Bronchial reactions to exposure to welding fumes. *Occup Environ Med.* 1997 ; 54 (11) : 836-39.
- 27 | MUÑOZ X, CRUZ MJ, FREIXA A, GUARDINO X ET AL. - Occupational asthma caused by metal arc welding of iron. *Respiration.* 2009 ; 78 (4) : 455-59.
- 28 | KESKINEN H, KALLIOMÄKI PL, ALANKO K - Occupational asthma due to stainless steel welding fumes. *Clin Allergy.* 1980 ; 10 (2) : 151-59.
- 29 | MALO JL, CARTIER A - Occupational asthma due to fumes of galvanized metal. *Chest.* 1987 ; 92 (2) : 375-77.
- 30 | VANDENPLAS O, DARGENT F, AUVERDIN JJ, BOULANGER J ET AL. - Occupational asthma due to gas metal arc welding on mild steel. *Thorax.* 1995 ; 50 (5) : 587-88, discussion 589.
- 31 | KHOO GT - Occupational asthma from welding: a case report. *Ann Acad Med Singapore.* 1996 ; 25 (2) : 293-95.
- 32 | VANDENPLAS O, DELWICHE JP, VANBILSEN ML, JOLY J ET AL. - Occupational asthma caused by aluminium welding. *Eur Respir J.* 1998 ; 11 (5) : 1182-84.
- 33 | KESKINEN H, PFÄFFLI P, PELTTARI M, TUPASELA O ET AL. - Chlorendic anhydride allergy. *Allergy.* 2000 ; 55 (1) : 98-99.
- 34 | HANNU T, PIIPARI R, KASURINEN H, KESKINEN H ET AL. - Occupational asthma due to manual metal-arc welding of special stainless steels. *Eur Respir J.* 2005 ; 26 (4) : 736-39.
- 35 | FERNÁNDEZ-NIETO M, QUIRCE S, CARNÉS J, SASTRE J - Occupational asthma due to chromium and nickel salts. *Int Arch Occup Environ Health.* 2006 ; 79 (6) : 483-86.
- 36 | HANNU T, PIIPARI R, TUUPURAINEN M, TUOMI T - Occupational asthma due to welding fumes from stellite. *J Occup Environ Med.* 2007 ; 49 (5) : 473-74.
- 37 | HANNU T, PIIPARI R, TUUPURAINEN M, NORDMAN H ET AL. - Occupational asthma caused by stainless steel welding fumes: a clinical study. *Eur Respir J.* 2007 ; 29 (1) : 85-90.
- 38 | WITCZAK T, DUDEK W, KRAKOWIAK A, WALUSIAK J ET AL. - Occupational asthma due to manganese exposure: a case report. *Int J Occup Med Environ Health.* 2008 ; 21 (1) : 81-83.
- 39 | WITCZAK T, DUDEK W, WALUSIAK-SKORUPA J, ŚWIERCZYŃSKA-MACHURA D ET AL. - Metal-induced asthma and chest X-ray changes in welders. *Int J Occup Med Environ Health.* 2012 ; 25 (3) : 242-50.
- 40 | CASTANO R, SUARTHANA E - Occupational rhinitis due to steel welding fumes. *Am J Ind Med.* 2014 ; 57 (12) : 1299-302.
- 41 | KEIRA T, AIZAWA Y, KARUBE H, NIITUYA M ET AL. - Adverse effects of colophony. *Ind Health.* 1997 ; 35 (1) : 1-7.
- 42 | ROSENBERG N - Asthme professionnel à la colophane. Fiche d'allergologie professionnelle TR 31. *Doc Méd Trav.* 2003 ; 94 : 195-200.
- 43 | STERLING GM - Asthma due to aluminium soldering flux. *Thorax.* 1967 ; 22 (6) : 533-37.
- 44 | PEPYS J, PICKERING CA - Asthma due to inhaled chemical fumes--amino-ethyl ethanolamine in aluminium soldering flux. *Clin Allergy.* 1972 ; 2 (2) : 197-204.
- 45 | STEVENS JJ - Asthma due to soldering flux: a polyether alcohol-polypropylene glycol mixture. *Ann Allergy.* 1976 ; 36 (6) : 419-22.
- 46 | WEIR DC, ROBERTSON AS, JONES S, BURGE PS - Occupational asthma due to soft corrosive soldering fluxes containing zinc chloride and ammonium chloride. *Thorax.* 1989 ; 44 (3) : 220-23.
- 47 | ANTONINI JM, TAYLOR MD, ZIMMER AT, ROBERTS JR - Pulmonary responses to welding fumes: role of metal constituents. *J Toxicol Environ Health A.* 2004 ; 67 (3) : 233-49.
- 48 | ELMS J, FISHWICK D, ROBINSON E, BURGE S ET AL. - Specific IgE to colophony? *Occup Med (Lond).* 2005 ; 55 (3) : 234-37.
- 49 | MERGET R, VAN KAMPEN V - Asthme aux métaux et sels métalliques. In: Bessot JC, Pauli G, Vandenplas O - L'asthme professionnel. Paris : Édition Margaux Orange ; 2012 : 391-404, 631 p.
- 50 | GANNON PF, NEWTON DT, BELCHER J, PANTIN CF ET AL. - Development of OASYS-2: a system for the analysis of serial measurement of peak expiratory flow in workers with suspected occupational asthma. *Thorax.* 1996 ; 51 (5) : 484-89.
- 51 | Opérations de soudage à l'arc et de coupage. 3<sup>e</sup> édition. Guide pratique de ventilation 7. Édition INRS ED 668. Paris : INRS ; 2010 : 40 p.