

الشعبية الديمقراطية الجزائرية الجمهورية  
العلمي البحث و العالي التعليم وزارة  
People's Democratic Republic of Algeria  
The Minister of Higher Education and Scientific Research  
ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ ⵜⴰⵎⴻⵔⴰⵏⵜ

ABOU BEKR BELKAID UNIVERSITY- TLEMCCEN  
FACULTY OF MEDICINE- Dr. B. BENZERDJEB  
PHARMACY DEPARTMENT



تلمسان – يد بلقا بكر أبو جامعة  
زرجب بن ب. د - الطب كلية  
الصيدلة قسم

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR  
L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTEUR EN PHARMACIE

THÈME :

**Évaluation de la fonction respiratoire par spirométrie chez les  
soudeurs métalliques libéraux dans la ville de Tlemcen, Algérie  
2022-2023.**

Présenté par :  
KHALDOUN Imène  
LARABI Chaima

*Soutenu le 12/07/2023*

Le Jury :

Président :

Dr. Djenfi. A

Maitre-assistant en pneumophtisiologie. Faculté de médecine de Tlemcen.

Membres :

Dr. Bouhssina. L

Praticienne spécialiste en chef en médecine de travail. CHU Tlemcen.

Dr. Beldjilali. S

Praticien spécialiste en toxicologie. CHU Oran.

Encadrante :

Dr. SEDJELMACI. N

Maitre assistante en Toxicologie. Faculté de médecine de Tlemcen.

Co-encadrante :

Pr. Sekkal. S

Professeur en Médecine de Travail. Faculté de médecine de Tlemcen.

*LOUANGE À*

*ALLAH*

*Le tout puissant, le miséricordieux*

*Le clément de nous avoir accordé la vie, la  
santé, la force, et la patience d'aller*

*Jusqu'au bout du rêve.*

*LOUANGE À*

*ALLAH*

*Le tout puissant, le miséricordieux*

*Le clément de nous avoir accordé la vie, la  
santé, la force, et la patience d'aller*

*Jusqu'au bout du rêve.*

## **Dédicace :**

*Je dédie ce mémoire à :*

*Ma mère, la lumière de mes jours, pour son soutien et tous ses sacrifices pour ma réussite, pour ses précieux conseils et sa présence dans ma vie, que dieu la garde.*

*L'homme de ma vie, mon père, qui a changé la nuit en jour pour m'assurer les bonnes conditions, que dieu le garde et le protège.*

*Mon cher frère "Mohammed" et mes chères adorables sœurs : " Khawla "et "Hadjer" qui m'avez toujours soutenu et encouragé.*

*Mes grands-parents qui m'ont accompagné par ses prières et toute ma famille que j'aime.*

*Sans oublier "Imene", ma chère amie avant d'être mon binôme, qui a partagé avec moi les bons comme les moments difficiles tout au long de ce travail.*

*Toutes mes amies et à tous ceux qui m'ont aidé, encouragé et accompagné durant mon chemin d'études.*

**Chaima.**

## **Dédicace :**

*Je dédie ce travail à mes chers parents qui m'ont soutenu tout au long de ma vie. Merci pour tous vos sacrifices et pour être ma source d'amour, d'inspiration et de courage. En particulier, je souhaite dédier ce travail à mon père qui a toujours rêvé de voir sa fille devenir pharmacienne.*

*À mes chères sœurs, “Fatima, Asmaa et Israa”, ainsi qu'à mes chers frères, “Younes et Lokmane”, qui ont toujours été présents pour moi, me prodiguant leur soutien et leurs encouragements.*

*À ma chère binôme Chaima, qui m'a accompagnée pendant ce travail qui n'a pas été facile. Ta gentillesse, ton sourire et ton énergie ont illuminé chaque instant passé ensemble. Tu es bien plus qu'un binôme, tu es une sœur à mes yeux.*

*À mes meilleures amies Bouchra et Aicha, merci d'avoir été à mes côtés, vous avez toujours été là pour moi, votre présence et votre accompagnement ont marqué les meilleurs moments de ma vie .*

**Imène.**

## Remerciements

*Nous souhaitons exprimer notre profonde reconnaissance envers notre encadrante, **Dr SEDJELMACI Nesrine** pour sa patience, sa guidance et surtout ses judicieux conseils qui ont joué un rôle déterminant dans la réussite de ce travail.*

*Nous tenons, tout particulièrement, à remercier notre co-encadrante le **Pr Sekkal Samira**, grâce à qui nous avons pu mener à bien ce travail. Veuillez accepter l'expression de notre respect et notre gratitude.*

*Nos vifs remerciements vont, également, aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Au docteur **Djenfi Aboubakeur**, merci de nous avoir fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury. Nous vous prions d'accepter l'expression de notre reconnaissance et notre respect.*

*Au docteur **Bouhsina Linda**, merci d'avoir eu la gentillesse de juger ce travail. Nous vous sommes très reconnaissantes. Soyez assuré de notre estime et de notre respect.*

*Au docteur **Beldjilali Slimane**, merci d'avoir accepté de prendre part à ce jury nous vous prions de bien vouloir accepter nos sentiments les plus honorables.*

*Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à tous les soudeurs qui ont accepté de participer à ce projet. Sans votre contribution, ce travail n'aurait pas été possible, nous vous sommes profondément reconnaissants pour votre engagement et votre contribution.*

*Enfin, nous souhaitons exprimer notre gratitude à toutes les personnes qui ont participé, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.*

## INTRODUCTION

Au cours des dernières années, le milieu de travail est devenu une menace pour la santé de l'homme avec une augmentation alarmante des morbidités et de la mortalité professionnelles (1).

L'évaluation de l'exposition des travailleurs aux substances chimiques fait l'objet des modifications régulières des indices internationaux d'exposition biologique et de l'émergence récente de valeurs guides à l'échelle mondiale (1).

L'activité du soudage représente l'un des piliers de l'industrie de construction. Elle joue, également, un rôle très important dans la fabrication des machines, d'instruments médicaux de précisions, d'appareils électriques, etc. (2). Il s'agit donc d'une occupation incontournable dans le développement des sociétés (2).

Certains procédés peuvent être rendus portables pour la mise en œuvre et l'installation de grandes structures sur les sites. Le soudage peut aussi être effectué à distance dans des environnements dangereux (sous l'eau, par exemple) à l'aide de robots et pour la plupart des applications, les coûts peuvent être raisonnables (3).

### **Problématique :**

Outre les avantages du soudage, ce métier constitue une source d'exposition continue des ouvriers à divers risques et dangers professionnels (4).

En effet, les soudeurs sont exposés de façon prolongée à de faibles quantités de multiples toxiques chimiques (métaux, gaz, poussières), physiques (chaleur, énergie électrique, bruit), et radiologiques (rayonnements) qui pourraient avoir des effets néfastes sur leur santé et entraîner des maladies professionnelles dont la plupart sont difficilement diagnostiquées à temps en raison de leur développement chronique et silencieux (4).

Les fumées générées pendant le procédé de soudage sont considérées comme l'exposition la plus nocive (5).

La composition de ces fumées est déterminée principalement selon le métal d'apport ou le procédé de soudage utilisé (6). De nombreux métaux sous forme de particules d'oxydes peuvent être présents dans les fumées de soudage dont (le fer, l'aluminium, le cadmium, le plomb, le cobalt, le chrome, le cuivre, etc.). En plus des métaux, des gaz toxiques sont, également, libérés (7).

L'inhalation de ces fumées pourrait être à l'origine de développement de maladies respiratoires aiguës ou chroniques pouvant entraîner l'altération des fonctions pulmonaires (8). Les examens médicaux complétés par des tests spécifiques telle que la spirométrie permettent la mise en évidence de telles anomalies et aide au diagnostic précoce (8).

De plus, ces fumées sont classées comme cancérigènes pour l'homme (Groupe 1) par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) en 2018 et certains de ses composants sont cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques (CMR) (8). Il est à noter qu'environ 15% des cancers du poumon sont dus à une exposition professionnelle à des cancérigènes pulmonaires reconnus (9).

En Algérie, de nombreux soudeurs, en particulier les libéraux, ne réalisent pas régulièrement des examens cliniques ou des bilans pour vérifier leur état de santé. Aussi, la majorité d'entre eux ne porte pas les moyens de protection nécessaires. Cette négligence peut avoir comme conséquence un développement des maladies chroniques et graves sans même en être conscients.

Il s'avère important de surveiller cette population à haut risque d'exposition professionnelle par l'évaluation des fonctions respiratoires, auditive, etc., des bilans biochimiques (la fonction hépatique, rénale, hématologique) et de les sensibiliser aux risques auxquels ils sont exposés.

Les données sur l'exposition professionnelle des soudeurs en Algérie sont insuffisantes. Notre étude préliminaire vise à apporter plus de résultats chez cette population.

**Objectif principal :**

-Évaluer la fonction respiratoire par la spirométrie chez les soudeurs libéraux dans la ville de Tlemcen.

**Objectifs secondaires :**

-Décrire les conditions de travail, d'hygiène et de protection individuelle et collective chez les soudeurs libéraux dans la ville de Tlemcen.

-Sensibiliser les soudeurs aux principaux risques d'exposition chronique aux fumées de soudage.

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>1</b>
<b>Table des matière</b>	<b>3</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>6</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>7</b>
<b>Liste des abréviations</b>	<b>8</b>
<b>Chapitre I : Processus et FUMEES de soudage</b>	<b>12</b>
<b>I.1. Soudage</b>	<b>13</b>
I.1.1. Définition	13
I.1.2. Historique	13
I.1.3. Classification des procédés de soudage	14
<b>I.2. Fumées de soudage</b>	<b>15</b>
I.2.1. Formation	15
I.2.2. Composition	15
<b>Chapitre II : Exposition professionnelle aux fumées de soudage et risques sanitaires</b>	<b>16</b>
<b>II.1. Risques chimiques</b>	<b>17</b>
II.1.1. Toxicité des métaux	17
II.1.2. Exposition à la silice	32
II.1.3. Toxicité des gaz	32
I.1.1. Incendies et explosions	34
<b>I.2. Risques physiques</b>	<b>34</b>
I.2.1. Énergie électrique	34
I.2.2. Chaleur	35
I.2.3. Bruit	35
<b>I.3. Risques radiologiques</b>	<b>36</b>
I.3.1. Rayons ultraviolets	36
I.3.2. Lumière visible	37
I.3.3. Rayons infrarouges	37
<b>CHAPITRE II : EVALUATION DES RISQUES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX FUMEES DE SOUDAGE</b>	<b>38</b>
<b>II.1. Évaluation des risques chez les soudeurs</b>	<b>39</b>

II.1.1. Examens cliniques.....	39
II.1.2. Spirométrie .....	40
II.1.3. Analyse toxicologique .....	42
II.1.4. Biosurveillance .....	42
<b>II.2. Prévention des risques .....</b>	<b>46</b>
II.2.1. Protection collective .....	46
II.2.2. Protection individuelle .....	47
<b>CHAPITRE III : MATERIELS ET METHODES.....</b>	<b>49</b>
<b>III.1. Type d'étude.....</b>	<b>50</b>
<b>III.2. Période d'étude.....</b>	<b>50</b>
<b>III.3. Population étudiée.....</b>	<b>50</b>
<b>III.4. Critères d'inclusion .....</b>	<b>50</b>
<b>III.5. Critères de non inclusion .....</b>	<b>50</b>
<b>III.6. Critères d'exclusion.....</b>	<b>50</b>
<b>III.7. Recueil des données.....</b>	<b>51</b>
<b>III.8. Éthique.....</b>	<b>51</b>
<b>III.9. Spirométrie .....</b>	<b>51</b>
<b>III.10. Saisie et analyse des données.....</b>	<b>52</b>
<b>CHAPITRE IV : RÉSULTATS .....</b>	<b>53</b>
<b>IV.1. Caractéristiques anthropologiques : âge, taille, poids et IMC.....</b>	<b>54</b>
<b>IV.2. Répartition de la population selon l'âge .....</b>	<b>54</b>
<b>IV.3. Répartition des soudeurs selon l'adresse professionnelle et le niveau d'étude.....</b>	<b>55</b>
<b>IV.4. Répartition des soudeurs selon leur statut de formation sur le soudage .....</b>	<b>55</b>
<b>IV.5. Répartition des soudeurs selon le métal utilisé.....</b>	<b>56</b>
<b>IV.6. Répartition des soudeurs selon l'ancienneté de travail .....</b>	<b>56</b>
<b>IV.7. Répartition des soudeurs selon la fréquence d'exposition.....</b>	<b>57</b>
<b>IV.8. Répartition des soudeurs selon les ATCD .....</b>	<b>57</b>
<b>IV.9. Répartition des symptômes respiratoires chez les soudeurs .....</b>	<b>58</b>
<b>IV.10. Répartition des soudeurs selon les paramètres de la spirométrie : FEV1, FVC, rapport FEV1/FVC .....</b>	<b>58</b>
<b>IV.11. Répartition des soudeurs selon le statut tabagique .....</b>	<b>59</b>
<b>IV.12. Répartition de consommation de l'alcool et des drogues : .....</b>	<b>59</b>

<b>IV.13. Répartition des autres sources d'exposition aux métaux :</b>	<b>60</b>
<b>IV.14. Répartition des problèmes oculaires issus de soudage</b>	<b>60</b>
<b>IV.15. Répartition des pathologies cutanées rencontrées chez les soudeurs</b>	<b>61</b>
<b>IV.16. Répartition des allergies chez les soudeurs</b>	<b>61</b>
<b>IV.17. Répartition des soudeurs selon l'utilisation des moyens de protection</b>	<b>62</b>
<b>IV.18. Répartition des accidents de travail chez les soudeurs</b>	<b>62</b>
<b>IV.19. Répartition des soudeurs selon le lavage et hygiène des mains :</b>	<b>63</b>
<b>IV.20. Répartition des soudeurs selon leurs connaissances sur les risques d'exposition aux fumées de soudage</b>	<b>63</b>
<b>CHAPITRE V : DISCUSSION</b>	<b>64</b>
<b>CONCLUSION</b>	<b>73</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>75</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>91</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I</b> : Valeurs limites d'exposition professionnelle au fer (34), (35) .....	18
<b>Tableau II</b> : Valeurs limites d'exposition professionnelle au cadmium (47) .....	20
<b>Tableau III</b> : Valeurs limites d'exposition professionnelle au plomb (65). .....	24
<b>Tableau IV</b> : Valeurs limites d'exposition professionnelle à l'aluminium (82) .....	27
<b>Tableau V</b> : Valeurs limites d'exposition professionnelle au nickel (94). .....	28
<b>Tableau VI</b> : Principaux gaz toxiques, leurs effets nocifs et leurs valeurs limites lors du soudage (4), (125).....	33
<b>Tableau VII</b> : Principaux paramètres spirométriques et leurs équivalents anglo-saxons (147). .....	40
<b>Tableau VIII</b> : Evaluation de la sévérité du syndrome obstructif pulmonaire selon la valeur du FEV1 (148).....	41
<b>Tableau IX</b> : Milieux de dosage, VBR, VLB et moment de prélèvement pour les différents métaux analysés chez les soudeurs (164), (165), (166), (167), (168), (169), (170), (171), (172). .....	45
<b>Tableau X</b> : Caractéristiques démographiques : âge, taille, poids et IMC des soudeurs.....	54
<b>Tableau XI</b> : Répartition des ouvriers selon l'adresse professionnelle et le niveau d'étude. 55	
<b>Tableau XII</b> : Répartition des soudeurs selon le rythme de travail.....	57
<b>Tableau XIII</b> : Paramètres de la spirométrie chez les soudeurs : FEV1, FVC, rapport FEV1/FVC. ....	58
<b>Tableau XIV</b> : Répartition de consommation de l'alcool et des drogues chez les soudeurs....	59
<b>Tableau XV</b> : Répartition des autres sources d'exposition aux métaux. ....	60
<b>Tableau XVI</b> : Répartition des soudeurs selon le lavage des mains pendant le travail.....	63

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Soudage homogène et hétérogène (12).....	13
<b>Figure 2</b> : Classification des différents procédés de soudage (15).....	14
<b>Figure 3</b> : Fumées de soudage observées en microscopie électronique à balayage (17).....	15
<b>Figure 4</b> : (a) Radiographie thoracique et (b) Tomodensitométrie thoracique de la sidérose pulmonaire (33).....	18
<b>Figure 5</b> : Evolution temporelle de la sidérose oculaire (37).....	19
<b>Figure 6</b> : Micrographies d'os normal (à gauche) vs os ostéoporotique (à droite) (54).....	22
<b>Figure 7</b> : Effets d'un choc électrique pendant deux secondes (131). ....	35
<b>Figure 8</b> : Spectre électromagnétique du rayonnement ultraviolet, visible et infrarouge (4) ...	36
<b>Figure 9</b> : Un coup d'arc (à gauche) et une cataracte (à droite) (140).....	36
<b>Figure 10</b> : courbe volume-temps et courbe débit- volume (148). ....	41
<b>Figure 11</b> : Position idéale de l'appareil de prélèvement d'air à l'intérieur de la visière du soudeur (152). ....	42
<b>Figure 12</b> : Ventilation appliquée à un local (à gauche) et à un atelier (à droite) (41).....	47
<b>Figure 13</b> : Répartition de la population selon les tranches d'âge .....	54
<b>Figure 14</b> : Répartition des soudeurs selon la formation .....	55
<b>Figure 15</b> : Répartition des soudeurs selon le métal soudé.....	56
<b>Figure 16</b> : Répartition des soudeurs selon l'ancienneté de travail .....	56
<b>Figure 17</b> : Répartition des maladies chroniques chez les soudeurs. ....	57
<b>Figure 18</b> : Répartition des symptômes respiratoires chez les soudeurs. ....	58
<b>Figure 19</b> : Répartition du tabagisme chez les soudeurs.....	59
<b>Figure 20</b> : Répartition des problèmes oculaires chez les soudeurs. ....	60
<b>Figure 21</b> : Répartition des maladies de la peau chez les soudeurs.....	61
<b>Figure 22</b> : Répartition des allergies chez les soudeurs.....	61
<b>Figure 23</b> : Répartition de l'utilisation des moyens de protection. ....	62
<b>Figure 24</b> : Répartition des accidents de travail chez les soudeurs. ....	62
<b>Figure 25</b> : Répartition des soudeurs selon leurs connaissances sur les risques d'exposition aux fumées de soudage .....	63

## LISTE DES ABREVIATIONS

<b>ACGIH</b>	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
<b>ADN</b>	Acide désoxyribonucléique
<b>ALAD</b>	Acide aminolévulinique déshydratase
<b>ALAT</b>	Alanine aminotransférase
<b>ANSES</b>	Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail.
<b>ASAT</b>	Aspartate aminotransférase
<b>ATCD</b>	Antécédent
<b>ATS</b>	American Thoracic Society
<b>BPCO</b>	Bronchopneumopathie chronique obstructive
<b>CIRC</b>	Centre International de Recherche sur le Cancer
<b>CVF</b>	Capacité vitale forcée
<b>DDTC</b>	Diethyldithiocarbamate de sodium
<b>DEM</b>	Débits expiratoires maximaux
<b>DEP</b>	Débit expiratoire de pointe
<b>DFG</b>	Débit de filtration glomérulaire
<b>DFO</b>	Déféroxamine
<b>DFOA</b>	Deferoxamine
<b>DMSA</b>	Acide 2,3-dimercaptosuccinique
<b>EDTA</b>	Acide éthylène diamine tétra acétique calcium disodium
<b>CaNa<sub>2</sub></b>	
<b>ERO</b>	Espèces Réactives de l'Oxygène

<b>EPI</b>	Equipement de protection individuelle
<b>EPO</b>	Erythropoietine
<b>ETAAS</b>	Spectrométrie d'absorption atomique électrothermique
<b>FAAS</b>	Spectrométrie d'absorption atomique à atomisation par flamme
<b>FDA</b>	Food and Drug Administration
<b>FEV1</b>	Forced expiratory volume in one second
<b>FG</b>	Feralex-g
<b>FVC</b>	Forced vital capacity
<b>GOLD</b>	Global Initiative for Obstructive Lung Disease
<b>ICP-MS</b>	Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif
<b>INRS</b>	<b>I.1.</b> Institut National de Recherche et de Sécurité
<b>MEF</b>	Maximum expiratory flows
<b>MT</b>	Métallothionéine
<b>NAG</b>	N-acétyl- $\beta$ glucosaminidase
<b>NFS</b>	Numération formule sanguine
<b>NIOSH</b>	National Institute for Occupational Safety and Health
<b>OSHA</b>	Occupational Safety and Health Administration
<b>PEF</b>	Peak expiratory flow
<b>SCR</b>	Silice cristalline respirable
<b>SAA</b>	Spectrométrie d'absorption atomique
<b>SCOEL</b>	Scientific Committee on Occupational Exposure Limits
<b>SDRA</b>	Syndrome de détresse respiratoire de l'adulte
<b>SH</b>	Groupement thiol
<b>Tf</b>	Transferrine plasmatique

<b>VBR</b>	Valeur biologique de référence
<b>VEMS</b>	Volume expiré maximale lors de la première seconde
<b>VLB</b>	Valeur limite biologique
<b>VLCT</b>	Valeurs limites d'exposition à court terme
<b>VLEP</b>	Valeur limite d'exposition professionnelle
<b>VS</b>	Vitesse de Sédimentation

## **REVUE BIBLIOGRAPHIQUE**

# **CHAPITRE I : PROCESSUS ET FUMÉES DE SOUDAGE**

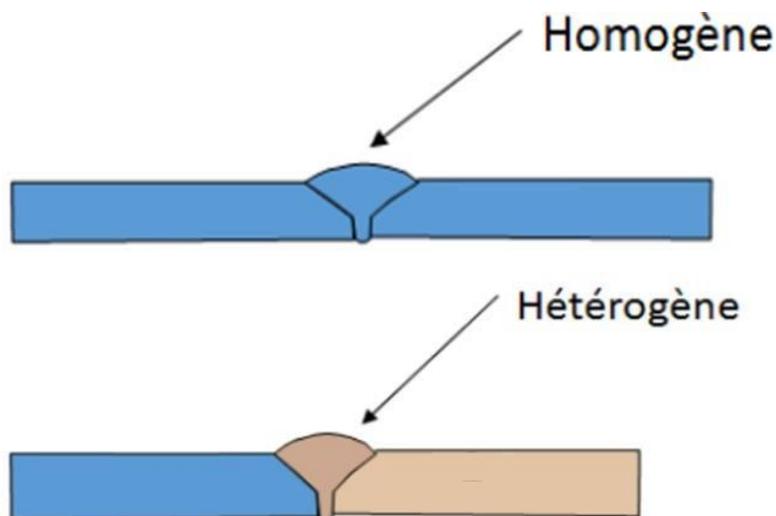
## I.1. Soudage :

### I.1.1. Définition :

Le soudage est un processus d'assemblage aboutissant à la fusion de deux ou plusieurs pièces de nature identique ou différente par chauffage et pression ou par pression seule, et ce avec ou sans utilisation d'un métal d'apport (10).

Il existe deux types de soudage schématisés dans la **figure 1** :

- **Soudage homogène** : où le métal d'apport est de même nature que le métal de base et la température de soudage est supérieure à celle de fusion des pièces à assembler (11).
- **Soudage hétérogène** : où le métal de base diffère du métal d'apport et la température de fusion est inférieure à la température des pièces à assembler (11).



**Figure 1** : Soudage homogène et hétérogène (12).

### I.1.2. Historique :

Le soudage par forgeage était la seule méthode utilisée avant l'apparition des technologies électriques dans la première moitié du XIX<sup>ème</sup> siècle. Cette modernisation a conduit au développement de trois procédés de soudage qui sont le soudage à l'arc, le soudage par résistance et le soudage oxy-acétylène (13) .

Le premier brevet majeur pour le soudage à l'arc a été décerné en 1885, pour l'utilisation d'une électrode de carbone, comme pôle positif, afin d'obtenir un arc avec la pièce (pôle négatif). Au cours des années 1920, un grand intérêt fut porté aux gaz de protection ; l'argon (Ar) et l'hélium (He) ont été expérimentés, puis le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) en 1953 (13).

En 1930, un brevet a été obtenu pour le soudage à l'arc submergé qui est un procédé mécanisé hautement productif.

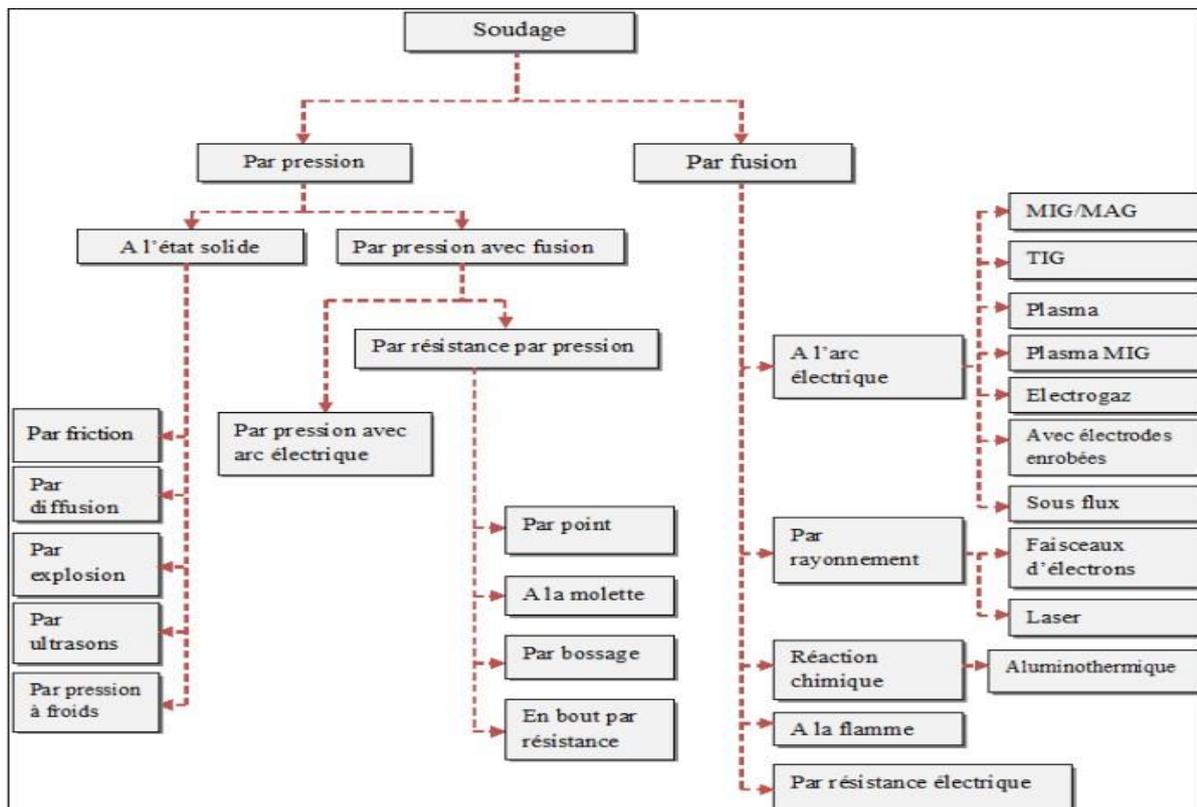
D'autres procédés de soudage ont, également, été développés au fil des ans depuis la dernière partie du XIX<sup>ème</sup> siècle tels que le soudage aluminothermique en 1903, le soudage électro-gaz en 1961, le soudage par faisceau d'électrons en 1950, le soudage à l'arc plasma en 1957 et le soudage laser en 1970 (13).

Actuellement, le soudage à l'arc est le procédé le plus populaire dans ses nombreuses variantes (13).

### I.1.3. Classification des procédés de soudage:

Il existe de nombreux procédés de soudage représentés dans la **figure 2**. Ils peuvent être classés selon :

- **La source d'énergie appliquée** : flamme, arc électrique, plasma, effet Joule, étincelle, induction, frottement, explosion, etc.
- **Et les moyens de protection de la fonte** : gaz ou laitier (14).



**Figure 2** : Classification des différents procédés de soudage (15).

## I.2. Fumées de soudage :

### I.2.1. Formation :

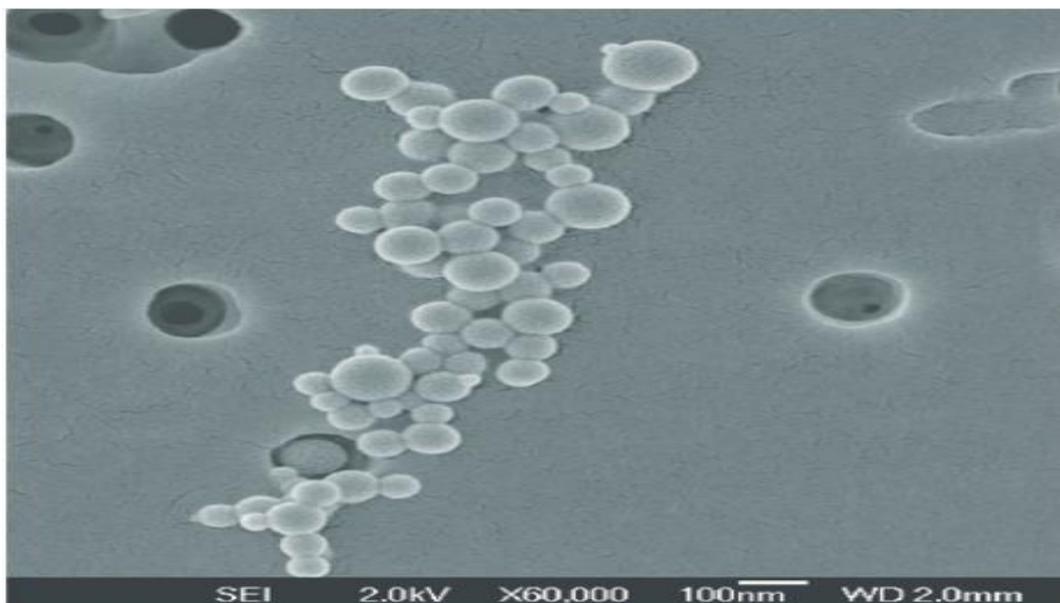
Les fumées de soudage se forment au cours des processus complexes de vaporisation condensation-oxydation. En effet, au cours de la vaporisation, l'extrémité de l'électrode produit des fumées lorsque le métal et le flux recouvrant l'électrode s'évaporent. Ces vapeurs métalliques subissent, par la suite, une condensation puis une oxydation au contact de l'air formant ainsi des petites particules d'un mélange complexe d'oxydes métalliques (16).

### I.2.2. Composition :

Ces fumées sont des aérosols constitués de :

- **Gaz** : tels que le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>), les vapeurs nitreuses, le phosgène (COCl<sub>2</sub>), etc., provenant, essentiellement, de la décomposition de l'air et des éventuels solvants employés.
- **Et de particules ultrafines** : telles que les oxydes métalliques (oxydes de zinc (ZnO), de cadmium (CdO), de chrome (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), de fer (FeO), etc. Elles peuvent atteindre les alvéoles et ont tendance à former des chaînes et des agglomérats spontanément et très rapidement. Leur diamètre varie en fonction du procédé réalisé (17).

La composition des fumées de soudage dépend de celle de l'électrode, du métal de base et du métal d'apport ainsi que des conditions et du procédé de soudage (18). La **figure 3** montre des fumées de soudage observées en microscopie électronique à balayage.



**Figure 3** : Fumées de soudage observées en microscopie électronique à balayage (17).

## **CHAPITRE II : EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX FUMÉES DE SOUDAGE ET RISQUES SANITAIRES**

Dans l'industrie du soudage, les travailleurs sont exposés de façon chronique à divers risques préjudiciables pour leur santé (19).

De plus, les soudeurs sont, quotidiennement, confrontés à des conditions pouvant contribuer directement ou indirectement à la survenue des accidents (19).

## **II.1. Risques chimiques :**

### **II.1.1. Toxicité des métaux :**

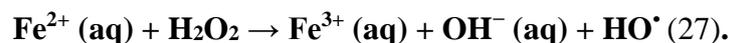
Les fumées métalliques de soudage sont composées de plusieurs métaux comme le cadmium (Cd), le fer (Fe), le plomb (Pb), l'aluminium (Al), le nickel (Ni) et autres. Ils sont toxiques et peuvent entraîner des effets nocifs sur la santé en fonction de leur concentration et de la durée d'exposition (20).

Ces métaux possèdent un mécanisme toxique commun par induction de la surproduction de radicaux libres, en particulier les espèces réactives de l'oxygène (ERO) et un dépassement des défenses antioxydantes entraînant des dommages cellulaires (21),(22). Cet état de déséquilibre conduit au stress oxydant qui est un médiateur de nombreuses maladies (21), (23),(24).

Les ERO endommagent les protéines, l'ADN, les membranes et les constituants lipidiques et peuvent entraîner la mort cellulaire (25).

#### **II.1.1.1. Fer :**

Le fer est le principal métal présent dans les fumées de soudage (26). La surcharge en fer provoque un stress oxydant par la formation des radicaux libres ou ERO selon la réaction de Fenton schématisée comme suit :



### **A. Exposition chronique aux poussières de fer :**

#### **A.1. Toxicité respiratoire :**

L'inhalation à long terme de poussière de fer peut causer une forme de pneumoconiose appelée « la sidérose pulmonaire ». Il s'agit d'une maladie rare mais bénigne, réversible et bien établie chez les soudeurs (28). Elle se caractérise par le dépôt de fer dans les poumons, généralement sous forme d'oxydes de fer (29), (30). Les symptômes fonctionnels incluent des problèmes respiratoires tels que la dyspnée, la bronchorrhée et la toux, et sont confirmés par des tests spécialisés de l'appareil respiratoire (31), (32).

Cliniquement, la radiographie thoracique montre une ombre nodulaire réticulaire diffuse et la tomodensitométrie thoracique montre de petites opacités nodulaires bilatérales dans les deux champs pulmonaires, principalement, dans les zones médiane et supérieure.

Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) aux poussières de fer établies dans différents pays pour une durée de 8 heures sont représentées dans le **tableau I**.

**Tableau I** : Valeurs limites d'exposition professionnelle au fer (34), (35).

Pays	VLEP (mg/m <sup>3</sup> )
France (INRS)	5
Etats unis (NIOSH)	5
Etats unis (OSHA)	10

#### **A.2. Toxicité oculaire :**

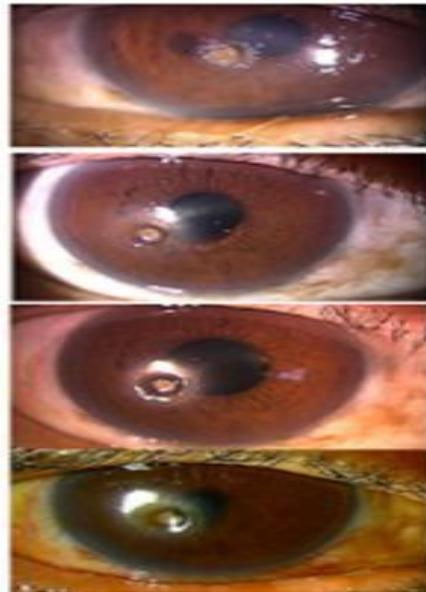
La présence prolongée ou méconnue d'un corps étranger intraoculaire métallique entraîne, inévitablement, des complications telles que la sidérose oculaire. La concentration élevée en fer de l'objet étranger aggrave sa toxicité. Malgré un traitement approprié, il est fréquent que les lésions soient irréversibles, et que le pronostic fonctionnel dépende de la localisation et du temps écoulé avant la prise en charge (36). La **figure 5** montre l'évolution temporelle de la sidérose oculaire.

**1 mois après la blessure.  
Même date que le retrait  
du fer.**

**40 jours après la blessure.  
10 jours après le retrait du  
fer.**

**3 mois après la blessure.**

**4 mois après la blessure.  
Perforation cornéenne.**



**Figure 5 :** Evolution temporelle de la sidérose oculaire (37).

### **A.3. Toxicité hépatique :**

Des études ont rapporté l'existence d'une nouvelle forme acquise et professionnelle de surcharge en fer hépatique associée à une exposition prolongée aux fumées de soudage (38).

### **A.4. Cancérogénèse :**

L'expérimentation animale n'a pas clairement démontré l'effet cancérogène des oxydes de fer seuls (39). En revanche, des études ont rapporté un risque accru de cancer broncho- pulmonaire chez les mineurs de fer, les soudeurs et les travailleurs des fonderies de fer et d'acier (40).

### **B. Exposition aiguë aux poussières de fer :**

La fièvre des fondeurs est un phénomène observé chez les travailleurs exposés aux fumées de fonderie. Elle se manifeste en soirée suivant l'exposition, par l'apparition de symptômes ressemblant à ceux de la grippe, tels qu'une fièvre, des maux de tête, des frissons, des malaises diffus comprenant des douleurs musculaires et osseuses, ainsi qu'une légère toux (41). La Déféroxamine (DFO ou DFOA) est approuvée par la Food And Drug Administration (FDA) pour traiter la surcharge en fer, qu'elle soit aiguë ou chronique (42).

### II.1.1.2. Cadmium :

Les particules d'oxydes de cadmium (CdO) des fumées de soudage sont, principalement, absorbées par inhalation. Elles se déposent au niveau des voies respiratoires en fonction de leur propriété physico-chimique (diamètre). La gravité des effets pulmonaires dépend de la concentration atmosphérique (43). Le passage par voie digestive à travers les mains souillées ou par déglutition est faible (5%) et est négligeable par voie cutanée (44).

Dans la circulation sanguine, environ 70 à 80% du cadmium est intra-érythrocytaire, sa demi-vie sanguine est de 40 à 80 jours. Il s'accumule dans le foie et les reins, lié à la métallothionéine (MT) qui est une protéine riche en groupements thiol (-SH), et sera très lentement éliminé, essentiellement, dans les urines (demi-vie biologique de 10 à 30 ans) (44).

Le complexe Cd-MT est réabsorbé par pinocytose au niveau du tubule contourné proximal puis la MT est détruite par les lysosomes, libérant ainsi le cadmium qui sera lié à une nouvelle MT (45). Lorsque la capacité de production de MT est dépassée, le cadmium exerce des effets toxiques tubulaires, ce qui explique l'élévation de ses concentrations au niveau du cortex rénal par rapport à la région médullaire (45).

#### A. Exposition chronique aux poussières de cadmium :

##### A.1. Toxicité respiratoire :

L'exposition professionnelle prolongée à des faibles concentrations de cadmium (inférieures à celles provoquant une inflammation pulmonaire) pourrait entraîner une dyspnée et un emphysème (46). Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP), pendant une durée de 8 heures, établies dans différents pays sont représentées dans le **tableau II**.

**Tableau II** : Valeurs limites d'exposition professionnelle au cadmium (47).

Pays	VLEP (mg/m <sup>3</sup> )
France (ANSES)	0,05
États-Unis (ACGIH)	0,01
États-Unis (OSHA)	0,005

### **A.2. Toxicité rénale :**

Dans les milieux d'exposition professionnelle, l'inhalation de doses relativement élevées de Cd dans les poussières et les fumées entraîne l'élévation de sa concentration rénale (110µg/g poids humide) chez les travailleurs (48). Ce qui provoque un dysfonctionnement tubulaire rénal caractérisé par l'augmentation de l'excrétion urinaire de biomarqueurs protéiques tels que les protéines de faible poids moléculaire ( $\beta$ 2-microglobuline,  $\alpha$ 1-microglobuline ou glycoprotéine du complexe humain et la protéine de liaison du rétinol) et des enzymes intracellulaires telles que la N-acétyl- $\beta$  glucosaminidase (NAG) (49).

À des niveaux d'exposition plus élevés, des taux urinaires accrus de protéines de poids moléculaire élevé telles que l'albumine ont été signalés, témoignant des lésions tubulaires ou glomérulaires graves avec une diminution du débit de filtration glomérulaire (DFG) et une diminution de la réabsorption tubulaire des acides aminés, du glucose, du calcium, du cuivre et du phosphate inorganique (50), (51).

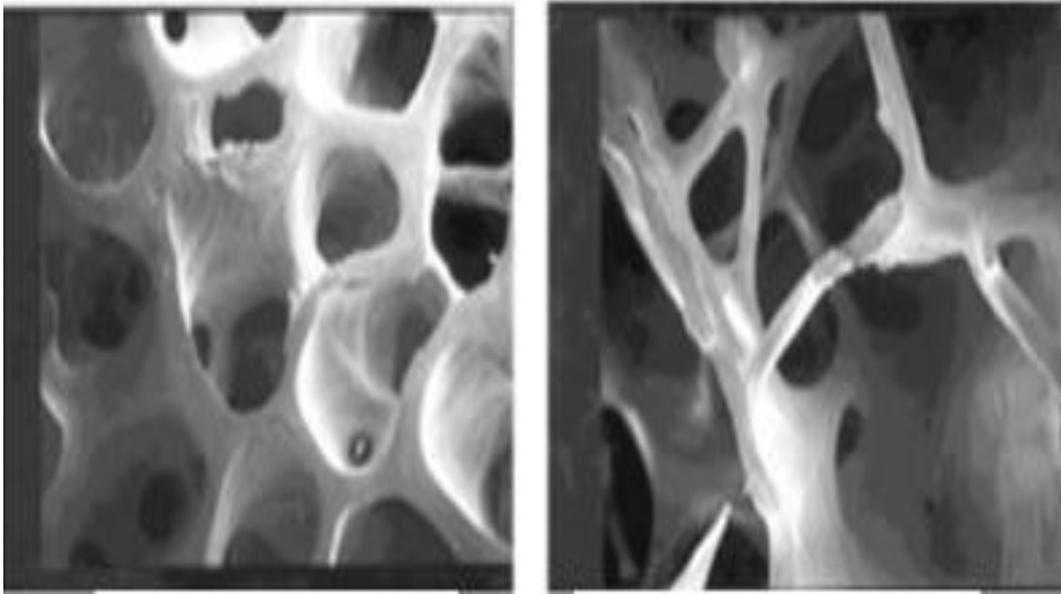
### **A.3. Toxicité osseuse :**

Le cadmium s'accumule dans les os et est associé à la prévalence de l'ostéomalacie et de l'ostéoporose. Une étude a révélé une augmentation significative des taux sériques de Cd et de calcium (Ca) urinaire avec des douleurs osseuses et articulaires plus fréquentes chez les sujets exposés (52).

Plusieurs mécanismes d'effets indirects du cadmium sur l'os ont été suggérés. Cependant, le cadmium peut l'affecter directement par :

1. Diminution de l'activité des enzymes rénales activant la vitamine D,
2. Augmentation de l'excrétion de calcium urinaire,
3. Réduction de l'absorption intestinale du calcium,
4. Interférence directe avec l'incorporation de calcium dans les cellules osseuses,
5. Et l'interférence directe avec la production de collagène dans les cellules osseuses (53).

La **figure 6** montre la radiographie d'un os normal et d'un os ostéoporotique.



**Figure 6 :** Micrographies d'os normal (à gauche) vs os ostéoporotique (à droite) (54).

#### **A.4. Cancérogenèse :**

Le cadmium et ses composés ont été classés par le Centre International de recherche sur le Cancer (CIRC) comme cancérogène certain pour l'homme (Groupe 1) en cas d'inhalation. Il peut entraîner des cancers de la prostate, du pancréas, des reins et des poumons (55). De nombreuses recherches ont confirmé les risques élevés de cancer des voies respiratoires et une augmentation significative de la mortalité par cancer du poumon (56).

#### **B. Exposition aiguë aux poussières de cadmium :**

L'intoxication aiguë aux poussières de CdO peut provoquer une forte irritation des voies respiratoires mais les symptômes peuvent être retardés. Trois phases sont observées :

- ***Pendant et immédiatement après l'exposition (jusqu'à 2 heures)*** : symptômes de toxicité limités à la toux et à une légère irritation de la gorge et des muqueuses.
- ***De 4 à 10 heures après l'exposition*** : apparition des symptômes pseudo-grippaux (toux, oppression thoracique, dyspnée, malaises, douleurs, frissons, sueurs, douleurs au dos et aux membres).
- ***De 8 heures à 7 jours après l'exposition*** : dyspnée sévère, respiration sifflante, douleurs thoraciques et constriction précordiale, toux persistante, faiblesse et malaise, anorexie, nausées, diarrhée, nycturie, douleurs abdominales, hémoptysie et prostration (57).

Une altération de la fonction pulmonaire peut être observée des années après une seule exposition aiguë. De nombreuses études ont montré que l'inhalation du cadmium, lors d'accidents du travail, peut être mortelle par insuffisance respiratoire suite au

développement d'un œdème pulmonaire sévère et d'une pneumonie chimique quelques jours après l'exposition (46).

Dans ce cas, le traitement chélateur par éthylène diamine tétra acétique de calcium di-sodium (EDTA CaNa<sub>2</sub>) est recommandé mais il est efficace uniquement s'il est instauré très tôt après l'exposition. Dans l'intoxication chronique, le chélateur n'aurait pas d'effet et il n'existe qu'un traitement symptomatique (58).

### **II.1.1.3. Plomb :**

L'inhalation est la principale voie d'absorption de poussière de plomb en milieu professionnel. Ses particules pénètrent jusqu'aux alvéoles et passent dans la circulation sanguine (59). Le plomb est réparti dans trois grands compartiments de l'organisme :

- **Le sang** : fixé à 95% aux globules rouges avec une demi-vie de 35 jours. Il possède une forte affinité aux groupements thiols (-SH), ce qui conduit à l'inhibition de la synthèse de l'hème par l'inhibition de l'activité de deux enzymes : l'acide aminolévulinique déshydratase (ALAD) et la ferrocélatase (60).
- **Les tissus mous** : comme le foie, les reins, la moelle osseuse et le cerveau avec une demi-vie de 40 jours (61).
- **L'os** : où il s'accumule avec une demi-vie de 20 à 30 ans et entre en compétition avec le calcium, entraînant des perturbations de nombreuses fonctions cellulaires dépendantes du calcium (62).

Il est principalement éliminé par les reins mais aussi par les fèces, la sueur, la salive, les cheveux et les ongles, en trois phases: rapide, lente et très lente selon sa fixation (63).

## **A. Exposition chronique aux poussières de plomb (saturnisme):**

### **A.1. Toxicité respiratoire :**

L'inhalation de poussières de plomb peut entraîner une diminution de la fonction respiratoire avec un risque accru d'asthme et de broncho-pneumopathie chronique obstructive (64). Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP-8h), établies en France et aux Etats-Unis sont représentées dans le **tableau III**.

**Tableau III** : Valeurs limites d'exposition professionnelle au plomb (65).

<b>Pays</b>	<b>VLEP (mg/m<sup>3</sup>)</b>
France (INRS)	0,1
États-Unis (ACGIH)	0,05

### **A.2. Toxicité hématologique :**

Le saturnisme est responsable d'une anémie hémolytique qui résulte, principalement, de l'inhibition de l'ALAD, de la ferrochélatase et du raccourcissement de la durée de vie des érythrocytes. Le plomb peut, également, induire une production inappropriée d'érythropoïétine entraînant une immaturation des progéniteurs des globules rouges (66).

Les travailleurs exposés au plomb avec des concentrations moyennes de 5,4 à 7,0 µg/dl ont montré une diminution de la concentration d'hémoglobine, du nombre de plaquettes et de la concentration de l'érythropoïétine (EPO) par rapport aux témoins dont les concentrations moyennes de plomb sanguin étaient de 1,5 à 3 µg/dl (67).

### **A.3. Toxicité rénale :**

Le plomb est néphrotoxique. En effet, le saturnisme peut affecter la fonction glomérulaire à des plombémies supérieures à 60 mg/dl. L'exposition à de faibles niveaux de plomb au début de la vie entraînerait une hypertrophie glomérulaire qui se manifesterait, spécifiquement, par une augmentation du volume des capillaires glomérulaires qui peut conduire à une insuffisance rénale chronique (68).

Une relation dose-effet de la plombémie avec l'azote uréique sanguin et l'acide urique, qui peuvent être considérés comme des indicateurs prédictifs de l'insuffisance rénal, a été observée comme étant significative chez les travailleurs exposés au plomb (69).

### **A.4. Toxicité neurologique :**

Certaines études ont mis en évidence l'impact de l'exposition professionnelle au plomb sur l'apparition des troubles psychiques, des troubles de l'équilibre, des maladies neurodégénératives (Alzheimer et Parkinson) et d'une différence significative de la vitesse psychomotrice et de mémoire à long terme (70). L'exposition précoce au plomb est associée à des effets irréversibles à long terme sur les paramètres comportementaux, cognitifs et neuroradiologiques chez les adultes (71).

### **A.5. Cancérogénèse :**

Depuis 2006, le CIRC a classé le plomb dans le groupe 2A (probablement cancérogène pour l'homme). Plusieurs études épidémiologiques chez les travailleurs exposés ont trouvé des preuves non concluantes d'une association entre l'exposition au plomb et l'incidence du cancer, en particulier, le cancer du poumon, du larynx, de l'œsophage, de l'estomac, de l'intestin et de la vessie (72), (73).

### **A.6. Toxicité sur la reproduction :**

L'exposition professionnelle à long terme au plomb en doses cumulatives peut avoir des effets nocifs sur le système reproducteur humain. Une étude de spermogramme chez des travailleurs exposés au plomb a rapporté une diminution de la motilité, de la densité et de la viabilité des spermatozoïdes avec une augmentation anormale de la morphologie de leur tête. Ces effets deviennent apparents même à des concentrations de plomb sanguin inférieures à 10 g/dl (69).

### **B. Exposition aiguë aux poussières de plomb :**

L'intoxication aiguë est rapide et survient généralement dans les 1 à 5 jours suivant l'exposition. Les principaux systèmes d'organes impliqués sont le système gastro-intestinal, hématologique et neurologique. Les signes et les symptômes s'aggravent avec l'augmentation de la plombémie, allant de légers à sévères (74), (75).

- **Effets gastro-intestinaux** : comprennent les coliques/douleurs abdominales, les nausées, les vomissements, la diarrhée et la constipation. Une perte massive de liquides gastro-intestinaux peut entraîner une déshydratation.

- **Effets hématologiques** : comprennent une diminution de la synthèse de l'hémoglobine et une crise hémolytique aiguë caractérisée par une anémie et une hémoglobinurie.

- **Effets neurologiques** : comprennent des maux de tête, une hyperexcitabilité, une hypoactivité, une paresthésie, des douleurs et une faiblesse musculaires, une ataxie, une diminution de la conscience, un œdème cérébral entraînant des convulsions et un coma.

Un traitement chélateur avec EDTA  $\text{CaNa}_2$ , acide 2,3-dimercaptosuccinique (DMSA) ou D-pénicillamine est recommandé (76).

#### **II.1.1.4. Aluminium :**

L'exposition professionnelle est surtout respiratoire, l'absorption digestive est faible (inférieure à 1 %) (77). Les particules d'aluminium inhalées sont captées par les macrophages présents dans les alvéoles pulmonaires, la plupart d'entre elles restent piégées dans le tissu

pulmonaire. Cependant, en cas d'une forte concentration d'Al dans l'air ambiant, une partie de ces particules peut être dissoute par les lysosomes des macrophages ce qui libère l'Al qui peut diffuser dans l'organisme. Une exposition prolongée à l'Al peut entraîner une augmentation de sa concentration pulmonaire et causer des anomalies respiratoires (78).

L'aluminium a une demi-vie sanguine de plusieurs heures, il est, à 90%, lié à la transferrine plasmatique (Tf) (79), (80). Il est éliminé par plusieurs voies, notamment par les selles, l'urine, la sueur, la peau, les cheveux, les ongles, le sébum et le sperme (81).

## **A. Exposition chronique aux poussières d'aluminium :**

### **A.1. Toxicité respiratoire :**

L'exposition à l'oxyde d'Al pendant le processus de soudage à l'arc de l'aluminium peut provoquer une surcharge pulmonaire pouvant entraîner une pneumoconiose appelée « aluminose » qui est plus susceptible de se développer en fonction de l'intensité de l'exposition plutôt que de sa durée. Bien que sa progression cesse à la fin de l'exposition, les lésions pulmonaires demeurent (17).

Les symptômes les plus courants comprennent la toux, la dyspnée et le pneumothorax spontané, qui peuvent rapidement évoluer vers le décès. Des cas exceptionnels de granulomatose pulmonaire ont également été signalés, ainsi qu'un cas de protéinose alvéolaire, résultant de l'exposition aux poussières d'aluminium (82).

Des tests de provocation bronchique spécifiques au chlorure d'aluminium ont montré une réaction asthmatique chez un ouvrier de fonderie et chez un soudeur à l'arc d'aluminium. Une manifestation clinique d'asthme et d'hyperréactivité bronchique a été décrite sous le terme de "*Potroom Asthma*" dans les fonderies d'aluminium (82).

Plusieurs cas de décès de travailleurs exposés à de la poudre d'aluminium en flocons, des fumées de soudage ou des fumées de fonderie ont été rapportés. Il est probable que la cause de décès chez ces travailleurs soit liée à des lésions des voies respiratoires (83).

Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) pendant une durée de 8 heures, établies dans différents pays sont représentées dans le **tableau IV**.

**Tableau IV** : Valeurs limites d'exposition professionnelle à l'aluminium (82).

<b>Pays</b>	<b>VLEP (mg/m<sup>3</sup>)</b>
France (INRS)	5
Etats unis (NIOSH)	5

### **A.2. Toxicité neurologique :**

Le stress oxydant provoqué par l'Al pourrait expliquer le développement de maladies neurodégénératives (84). Cependant, les concentrations seuils de ce métal et la durée d'exposition pour induire des déficits cérébraux fonctionnels n'ont pas encore été établis (79).

Les premiers changements subcliniques détectés à l'aide de tests neuropsychologiques ont été observés dans des études cohortes chez les soudeurs d'aluminium à des concentrations moyennes de fin de poste de travail de 120 µg/L (100 µg/g de créatinine dans l'urine) et 13 µg/L de plasma (85).

### **A.3. Toxicité osseuse :**

L'aluminium se dépose sur les surfaces osseuses à la frontière minéralisée. Les études expérimentales ont montré qu'il inhibe la minéralisation de l'ostéoïde et perturbe la fonction normale des ostéoblastes. Cependant, il n'y a pas de preuve épidémiologique suggérant que l'exposition professionnelle soit associée à une fragilité osseuse (86).

### **A.4. Cancérogénèse :**

Le CIRC a classé la production d'aluminium comme étant cancérigène pour l'homme (groupe 1) (82). Les études épidémiologiques indiquent une incidence accrue de cancer de la vessie suivie par le cancer du poumon chez les travailleurs exposés, ce qui suffit à prouver un effet cancérigène de l'exposition professionnelle à l'aluminium (87).

## **B. Exposition aiguë aux poussières d'aluminium :**

L'exposition aiguë aux poussières d'aluminium peut être responsable de fièvre des fondeurs et d'une encéphalopathie spécifique avec un syndrome de démence (41), (82), (85). Les agents chélateurs tels que la déféroxamine (DFO) peuvent être utilisés et des thérapies combinées avec l'ascorbate (vitamine C) et le Feralex-G (FG) (nouveau agent chélateur utilisé dans la bouche) sont recommandées (88).

### II.1.1.5. Nickel :

Les particules d'oxydes de nickel de 4 à 30 µm de diamètre se déposent dans le nasopharynx, celles de 1 à 4 µm pénètrent dans la trachée et des bronchioles, et les plus petites particules (<1 µm) pénètrent dans la région alvéolaire des poumons. Environ 20 à 35% du nickel inhalé passe dans la circulation sanguine et sera lié aux protéines telles que l'albumine, l'α-macroglobuline et la métalloprotéine et rapidement distribué dans les tissus (poumons, reins et os) (89), (90). Il est, principalement, excrété dans les urines. Un faible taux est éliminé dans la sueur, les cheveux et la salive. Sa demi-vie d'élimination est de 20 à 40 heures. Le nickel non absorbé est éliminé dans les fèces (91).

#### A. Exposition chronique aux poussières du nickel :

##### A.1. Toxicité respiratoire :

Les études sur les maladies respiratoires chez les travailleurs exposés au nickel sont limitées. Les principaux effets de l'exposition répétée à des aérosols contenant du nickel comprennent l'asthme professionnel, la bronchite chronique et la fibrose pulmonaire (92).

Une évaluation radiographique chez 1046 travailleurs exposés aux vapeurs de nickel a prouvé des anomalies pulmonaires, en particulier, une fibrose modérée. Une autre étude a montré une réduction du calibre bronchique de 20 à 30% à l'aide un test de provocation bronchique par la Méthacholine (médicament qui cause un rétrécissement des voies respiratoires), ce qui confirme l'asthme (93).

Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP-8h), établies en France et aux Etats-Unis sont représentées dans le **tableau V**.

**Tableau V** : Valeurs limites d'exposition professionnelle au nickel (94).

Substances	Pays	VLEP (mg/m <sup>3</sup> )
Nickel métal et certains composés insolubles	France (INRS)	1
Nickel métal	États-Unis (ACGIH)	1,5
Composés inorganiques du nickel solubles	États-Unis (ACGIH)	0,1
Composés inorganiques de nickel insolubles	États-Unis (ACGIH)	0,2

### **A.2. Toxicité cutanée :**

Le nickel peut être classé comme allergène ; l'exposition à ses particules provoque une dermatite de contact allergique, des papules ou des plaques érythémateuses et des démangeaisons qui ne s'améliorent que si l'exposition est interrompue (95), (96). Les rapports de surveillance de l'environnement de travail a révélé que la quantité de poussière de nickel dépassait la VLEP avec une mauvaise ventilation locale chez les soudeurs présentant ces symptômes (96).

### **A.3. Cancérogenèse :**

Le nickel métallique est classé par le CIRC dans le groupe 2B « pouvant être cancérogène pour l'homme » et les composés du nickel dans le group 1 « cancérogènes pour l'homme » (97). Un risque accru de cancer du poumon lié à l'inhalation de nickel a été signalé par des études épidémiologiques. Elles ont, également, rapporté que les tumeurs nasales sont rares malgré le dépôt des particules de nickel au niveau nasal (98).

### **B. Exposition aiguë aux poussières de nickel :**

L'inhalation de fortes concentrations d'oxyde de nickel chez des travailleurs exposés provoque deux types d'effets :

- **Immédiats** : nausées, vomissements, vertiges, irritations, etc. Ces symptômes durent quelques heures à quelques jours.
- **Et retardés**: douleurs thoraciques, toux persistante, dyspnée, cyanose, tachycardie, palpitations, transpiration, troubles visuels et faiblesse (95).

Un décès par syndrome de détresse respiratoire de l'adulte (SDRA) a été signalé chez une personne qui avait pulvérisé du nickel avec le procédé à l'arc métallique sans porter d'équipement de protection individuelle (99).

Un traitement chélateur avec Diethyldithiocarbamate de sodium (DDTC) est recommandé en cas d'intoxication au nickel bien qu'il n'y ait pas des essais humains contrôlés de manière adéquate pour étayer son efficacité et l'absence de toxicité (100).

### II.1.1.6. Autres métaux :

#### A. Chrome :

Le système respiratoire est une cible majeure de l'exposition par inhalation aux composés de chrome qui peuvent entraîner de l'asthme et d'autres signes de détresse respiratoire, en plus d'une nécrose hépatique et des lésions rénales (101). La France a fixé une valeur de  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$  comme VLEP-8h au chrome hexavalent Cr (VI) qui est plus toxique que le chrome trivalent Cr (III) et pénètre facilement dans l'organisme et qui est réduit en Cr (III) (102), (103). Les composés du Cr (VI) sont cancérigènes (groupe 1A), mutagènes (groupe 1B) et reprotoxiques (groupe R2) (104).

#### B. Manganèse :

Après inhalation, le  $\text{Mn}^{2+}$  sous forme de complexe avec différentes molécules se trouve dans le sang. Il est éliminé par les fèces (105). Bien que les niveaux de Mn dans le cerveau soient inférieurs à ceux du foie, du pancréas, des os et des reins, les neurones sont plus sensibles à sa toxicité et ce par le développement d'un syndrome d'effets neurologiques appelé "manganisme" qui ressemble à la maladie de Parkinson (106). L'intoxication aiguë est caractérisée par une fièvre des fondeurs et une pneumonie chimique. Un traitement chélateur par EDTA  $\text{CaNa}_2$  est recommandé (107).

Aux États-Unis, l'ACGIH a établi une valeur de  $0,1\text{mg}/\text{m}^3$  comme VLEP-8h pour la fraction inhalable du Mn (108).

#### C. Fluorure :

Après inhalation, les ions fluorures sont incorporés dans l'os et remplacent les groupes hydroxyles dans la structure carbonate-apatite pour produire la fluorapatite, modifiant ainsi la structure minérale de l'os (109).

La fluorose osseuse est la principale toxicité de fluorures chez les ouvriers, causée par l'accumulation progressive de fluorures dans les os en affectant l'homéostasie du métabolisme minéral osseux, provoquant des douleurs, de l'ostéoporose et une déformation (110). La France (INRS) et l'États-Unis (ACGIH) ont fixé, respectivement, des valeurs de  $1,58\text{mg}/\text{m}^3$  et  $0,16\text{mg}/\text{m}^3$  comme VLEP-8h aux ions fluorures (111), (112).

Pour l'ostéoporose, le calcium, vitamine D et  $(\text{PO}_4^{3-})$  sont recommandés pour maintenir l'équilibre phosphocalcique. La chirurgie peut être envisagée en cas de déformation osseuse (113).

#### **D. Cuivre :**

La toxicité du cuivre implique la perturbation d'enzymes métaboliques mitochondriales spécifiques déclenchant un mécanisme inhabituel de mort cellulaire (114). L'inhalation répétée de fumées ou de poussières de cuivre peut causer une irritation des voies respiratoires supérieures, qui peut évoluer vers un ulcère ou des perforations de la cloison nasale (115). Une coloration verdâtre de la peau, des cheveux et des poils peut être observée (41).

L'exposition de courte période aux oxydes de cuivre peut entraîner la fièvre des fondeurs une irritation des voies respiratoires supérieures, l'inflammation des yeux, des nausées et une sensation de goût métallique ou sucré (41), (17).

L'INRS en France, et l'ACGIH aux États-Unis ont fixé une VLEP de 2 mg/m<sup>3</sup> pour les poussières de cuivre (115).

#### **E. Cobalt :**

L'exposition professionnelle au cobalt, principalement par inhalation, est associée à des inflammations des voies respiratoires supérieures et inférieures, telles que la rhinite et la bronchite ainsi que l'asthme et d'autres modifications fibrotiques des tissus pulmonaires(116). Le cobalt est allergène et fait partie des métaux responsables de la dermatite de contact professionnelle (117).

La France (ANSES) a fixé une valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) de 0,0025 mg/m<sup>3</sup> pour le cobalt et ses composés sur une période de travail de 8 heures tandis que les États-Unis (ACGIH) ont établi une limite de 0,02 mg/m<sup>3</sup> (118), (119).

#### **F. Zinc :**

L'exposition professionnelle par inhalation d'oxyde de zinc peut causer la fièvre des métaux et des irritations des voies respiratoires (41), (120).

Aucun effet à long terme n'a été observé chez les populations professionnellement exposées au zinc, quelle que soit sa forme chimique ou le mode d'exposition (121). Les VLEP 8h en France (INRS) sont de 10 mg/m<sup>3</sup> tandis qu'aux États-Unis (ACGIH), elles sont de 2 mg/m<sup>3</sup>(122), (123).

### **II.1.2. Exposition à la silice :**

Selon l'ANSES, les travailleurs du secteur de la métallurgie sont classé parmi les travailleurs exposés par inhalation à la silice cristalline (124).

Les particules de silice cristalline (quartz) sont la principale cause de maladies respiratoires professionnelles et sont généralement considérées comme plus toxiques que les particules de silice amorphe (125). L'inhalation de poussière de silice cristalline respirable (SCR) cause la silicose, qui se caractérise par une inflammation et une fibrose progressives, irréversibles et fatales dans les poumons (126). D'autres maladies telles que la tuberculose, les maladies auto-immunes, le cancer du poumon, la protéinose alvéolaire pulmonaire, la sarcoïdose et la fibrose pulmonaire idiopathique peuvent être observées (127). La VLEP-8 h réglementaire pour le quartz en France est de 0,1 mg/m<sup>3</sup>. Les autres organismes tel que le *Scientific Committee on Occupational Exposure Limits* (SCOEL) et l'OSHA recommandent une VLEP-8 h de 0,05 mg/m<sup>3</sup> pour la silice cristalline, tandis que l'ACGIH définit actuellement la VLEP-8 h la plus basse de 0,025 mg/m<sup>3</sup> (124).

### **II.1.3. Toxicité des gaz :**

Les substances nocives gazeuses proviennent des gaz de combustion, de l'air, des matériaux de revêtement ou d'impuretés (4), (128). Ces gaz, leurs effets nocifs et leurs valeurs limites se trouvent dans le **tableau VI**.

**Tableau VI** : Principaux gaz toxiques, leurs effets nocifs et leurs valeurs limites lors du soudage (4), (125).

<b>Gaz</b>	<b>Sources</b>	<b>Principaux troubles de santé</b>	<b>VLEP-8h</b>
Ozone (O <sub>3</sub> )	-Action de rayonnement UV sur l'oxygène de l'air	-Sécheresse des muqueuses, céphalée -Inflammations des voies respiratoires inférieures (bronchite, asthme, œdème ou fibrose pulmonaire).	-France : 0,1 ppm (0,2 mg/m <sup>3</sup> )
Monoxyde de carbone (CO)	-Décomposition du CO <sub>2</sub> (gaz de protection) -Combustion incomplète des gaz	- Irritant pour les yeux et les voies respiratoires - Maux de tête, anorexie, insomnie, perte de poids, faiblesse généralisée, troubles de la mémoire et du langage ainsi que déficits moteurs -la mort par asphyxie	-Europe : 20ppm (23 mg/m <sup>3</sup> ) -France : 48ppm (55 mg/m <sup>3</sup> ) - États-Unis : ACGIH : 25ppm (29 mg/m <sup>3</sup> ) OSHA : 48ppm (55 mg/m <sup>3</sup> )
Oxydes d'azote (NO, NO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> )	-Oxydation du gaz de protection ou de l'azote de l'air	-Irritant et corrosif pour les yeux, nausées, toux, difficultés respiratoires. - Œdème pulmonaire, bronchite chronique, emphysème ou fibrose pulmonaire.	Pour NO : -France : 2 ppm (2,5 mg/m <sup>3</sup> ) -États-Unis ACGIH : 25ppm (31 mg/m <sup>3</sup> ) Pour NO <sub>2</sub> : -France : 0,5ppm (0,96 mg/m <sup>3</sup> ) - États-Unis ACGIH : 0,2ppm (0,38 mg/m <sup>3</sup> )
Phosgène (CCl <sub>2</sub> O)	-Soudage et coupage en présence de trace d'un solvant chloré.	- Irritant pour les yeux, sécheresse et sensation de brûlure dans la gorge, toux, douleurs à la poitrine, respiration rapide et peu profonde... -Emphysème ou fibrose pulmonaire.	-Europe : 0,02ppm (0,08 mg/m <sup>3</sup> ) -France : 0,02ppm (0,08 mg/m <sup>3</sup> ) -États-Unis ACGIH : 0,1ppm (0,4 mg/m <sup>3</sup> )

#### **II.1.4. Incendies et explosions :**

Lors du soudage, le risque de combustion augmente lorsqu'il y a un triangle de feu, qui nécessite trois éléments: une source de chaleurs (flamme d'un chalumeau, température des pièces soudées, projection de métal, l'électricité, etc.), un combustible (vapeurs et gaz combustibles, matières solides tels que: les planchers, les contenants de produits, les boîtes de carton, les bois, les papiers, les produits d'emballage et les vêtements) et un comburant (l'oxygène de l'air) (129).

Les explosions sont parfois causées par une mauvaise utilisation des bouteilles de gaz sous pression (surtout l'oxygène, l'acétylène et l'hydrogène). Par exemple, si une bouteille tombe et que la valve se brise, cela libère suffisamment de pression pour la soulever et la pousser vers un travailleur et causer des dommages importants (130).

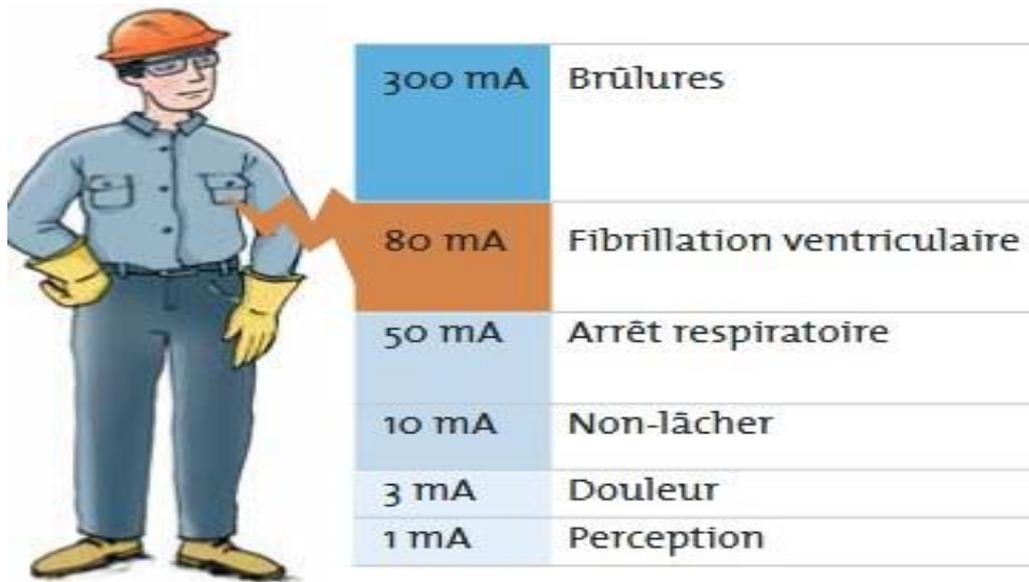
## **II.2. Risques physiques :**

### **II.2.1. Énergie électrique :**

Les procédés à l'arc électrique ou par résistance présentent des risques d'électrisation dans certaines situations telles que la présence d'humidité, le travail sur une surface conductrice, des équipements mal entretenus et la méconnaissance du risque. Une électrisation, même à une tension aussi faible que 80 volts, peut avoir des conséquences très graves, tout dépend de quelques facteurs comme l'intensité de courant, la nature du contact (direct ou indirect), le trajet et la durée du passage du courant dans le corps (131).

Les effets de l'électrisation peuvent varier d'un simple picotement à des brûlures graves, voire à la mort. Les chocs électriques peuvent provoquer de violentes contractions musculaires provoquant des chutes et des blessures. Ils peuvent également avoir des conséquences graves sur le cœur, les poumons et un risque d'asphyxie dus à la contraction des muscles respiratoires (131).

La **figure 7** décrit les effets ressentis en fonction de l'intensité du courant lors d'un choc, qui dure environ deux secondes.



**Figure 7 :** Effets d'un choc électrique pendant deux secondes (131).

### II.2.2. Chaleur :

Le processus de soudage génère des températures très élevées qui peuvent aller de 800°C jusqu'à 3000°C pour la fusion des métaux (132).

Les mécanismes d'adaptation du corps humain (vasodilatation cutanée, sudation et l'acclimatation) à certains seuils ont des limites. Parmi les effets néfastes sur la santé selon la gradation de la gravité : dermatite de chaleur, œdème des extrémités, crampes de chaleur, déshydratation et coup de chaleur (133).

### II.2.3. Bruit :

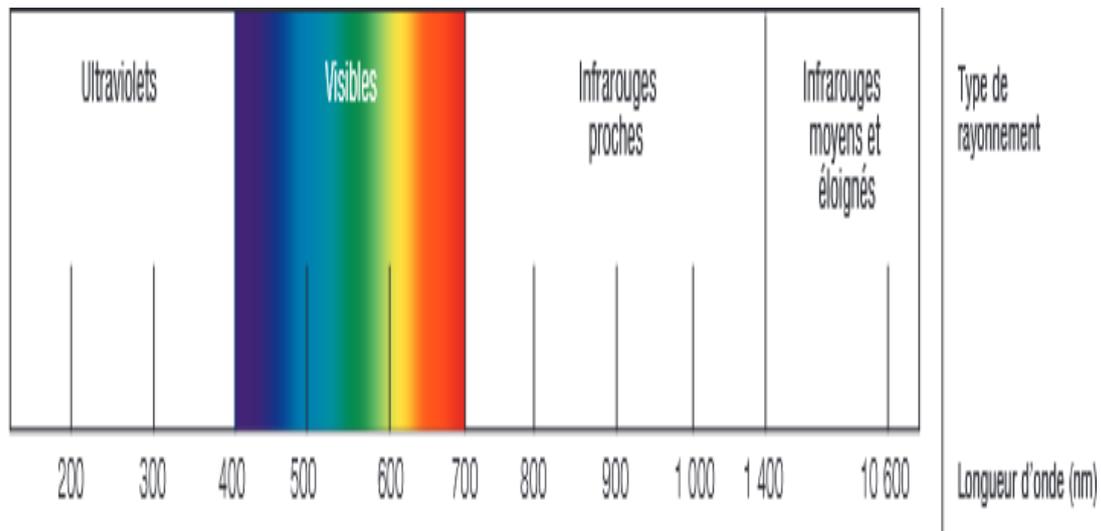
Selon le procédé, lors de la découpe au plasma, d'oxycoupage au chalumeau et du chauffage à la flamme, le soudage peut être un travail très bruyant et avoir des effets néfastes sur l'audition.

L'effet principal de bruit est la surdité professionnelle induite par le bruit (SPIB) qui est souvent liée à l'âge, l'ancienneté du travail et l'utilisation des moyens de protection auditive (134).

Le bruit peut ainsi provoquer des effets extra-auditifs tels que des effets sur le système cardiovasculaire (en particulier l'hypertension artérielle) (135), des effets psychologiques (136) (effets sur la santé mentale et les performances) et des troubles du sommeil (137).

## II.3. Risques radiologiques :

Lors du processus de soudage, la fusion du métal nécessite une énergie très concentrée, dont une partie est dissipée sous forme de rayonnement. Ils sont caractérisés par leur longueur d'onde exprimée en nanomètres (nm) et déterminent la nature des effets sur la santé. Le procédé à l'arc produit un rayonnement ultraviolet, visible et infrarouge représentés dans la **figure 8** (4).



**Figure 8:** Spectre électromagnétique du rayonnement ultraviolet, visible et infrarouge (4).

### II.3.1. Rayons ultraviolets :

Proviennent de l'arc électrique de soudage et augmentent fortement avec l'intensité du courant. Ils peuvent causer des effets oculaires tels que le coup d'arc (appelé aussi Kérato-conjonctivite, c'est une lésion photochimique de la cornée et la conjonctive) ou la cataracte (opacification progressive du cristallin qui est la lentille naturelle de l'œil) (138). Ils provoquent aussi des effets sur la peau principalement des érythèmes (des rougeurs cutanée) et des cancers de la peau. Le CIRC a classé les rayons UV provenant du soudage à l'arc dans le groupe 01 « cancérogène pour l'homme » en 2017 (13).



**Figure 9:** Un coup d'arc (à gauche) et une cataracte (à droite) (140).

### **II.3.2. Lumière visible :**

C'est la lumière que l'on voit, elle provient de l'arc électrique de soudage. L'exposition intensive à cette lumière peut provoquer l'éblouissement (trouble de la vue), fatigue visuelle et maux de tête. L'exposition répétée peut entraîner une conjonctivite chronique, caractérisée par la rougeur et le larmolement oculaires (141).

### **II.3.3. Rayons infrarouges :**

Proviennent du métal en fusion en raison du dégagement de chaleur et de l'arc électrique. Ils peuvent entraîner un larmolement (défaut d'évacuation des larmes), brûlures de la rétine et de la cornée ou la cataracte (142).

**CHAPITRE III : EVALUATION DES RISQUES  
D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX FUMÉES DE  
SOUDAGE**

### **III.1. Évaluation des risques chez les soudeurs :**

Compte tenu des impacts négatifs majeurs sur la santé des soudeurs, il est impératif de rechercher les facteurs de risque et d'élaborer des politiques de prévention pour protéger l'homme et son écosystème (1).

La législation algérienne prévoit les moyens de mise en œuvre en vue d'assurer aux travailleurs les meilleures conditions de protection en matière de santé, de sécurité et de formation (143). Les textes algériens relatifs aux expositions professionnelles chez les soudeurs sont détaillés dans **l'annexe 1**.

L'évaluation périodique et continue des risques en milieu de travail est nécessaire afin de surveiller la santé des travailleurs et les limites d'exposition recommandées. La métrologie de l'air ambiant, la surveillance biologique, les évaluations des risques physiques et chimiques peuvent être utilisés pour évaluer l'exposition des soudeurs (144).

La collaboration entre les médecins de travail et les toxicologues permet une évaluation clinico-toxicologiques optimale chez les soudeurs.

#### **III.1.1. Examens cliniques :**

La surveillance sanitaire peut fournir des informations efficaces pour mettre en œuvre des moyens appropriés afin de minimiser le risque d'exposition et améliorer les mesures de contrôle (145).

La réglementation exige la mise en place des examens médicaux et des tests, effectués préalablement à l'emploi et périodiquement à titre préventif chez les soudeurs afin d'identifier en temps réel les travailleurs sensibles, améliorer les mesures techniques de prévention, réduire le risque professionnel et protéger la santé de ces travailleurs (2), (3).

L'examen médical préalable à l'embauche des soudeurs exposés devrait comprendre un examen clinique de base du système respiratoire et cardiovasculaire avec des tests de la fonction pulmonaire et une radiographie pulmonaire pour exclure les sujets souffrant de troubles thoraciques (145).

Certains tests, y compris la spirométrie (test de la fonction pulmonaire), l'audiométrie, l'examen visuel, les tests de la fonction cardiaque, la vitesse de conduction nerveuse et les tests d'électromyographie peuvent être utilisés dans le suivi de la santé. Le type de test utilisé dépendra des risques professionnels auxquels le travailleur est exposé (145).

### III.1.2. Spirométrie :

Il est essentiel d'étudier l'évaluation des risques des fonctions respiratoires et des troubles de la santé chez soudeurs exposés professionnellement à un environnement poussiéreux (146).

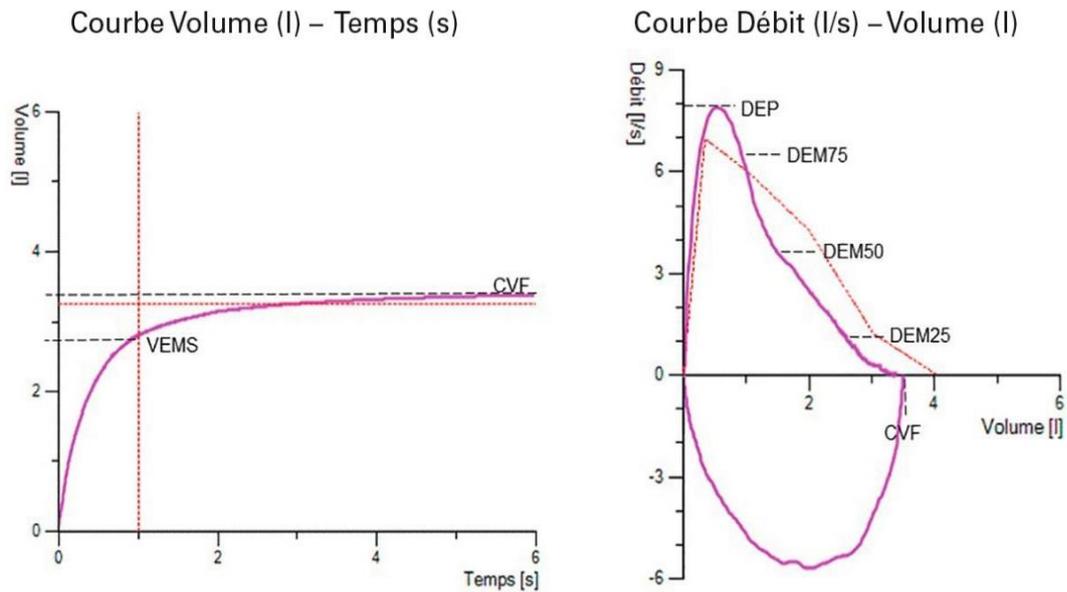
La spirométrie est l'un des meilleurs outils de diagnostic pour estimer les fonctions pulmonaires altérées et les conséquences d'une exposition prolongée aux fumées de soudage (146). Un spiromètre est un appareil qui surveille le débit de l'air entrant et sortant des poumons d'une personne. Le dispositif peut être utilisé pour le diagnostic et la surveillance des maladies pulmonaires, en particulier, l'asthme et la bronchopneumopathie chronique obstructive BPCO. Le principe de mesure est de gonfler les poumons au maximum et de souffler immédiatement le plus fort et le plus longtemps possible. Les principaux paramètres dérivés sont présentés dans le **tableau VII**.

**Tableau VII:** Principaux paramètres spirométriques et leurs équivalents anglo-saxons (147).

Paramètre	Définition
CVF ou FVC	Capacité vitale forcée ou Forced vital capacity
VEMS ou FEV1	Volume expiré maximale lors de la première seconde ou Forced expiratory volume in one second
Rapport de Tiffeneau (%)	$VEMS / CVF * 100$ $FEV1 / FVC * 100$
DEP ou PEF	Débit expiratoire de pointe ou Peak expiratory flow
DEM 25, 50, 75	Débits expiratoires maximaux à 25, 50 et 75% de la CVF
MEF 25, 50, 75	Maximum expiratory flows 25, 50 and 75% of CVF

La première démarche de l'interprétation des résultats est l'analyse des courbes débit-volume et volume-temps comme l'exemple représenté dans la **figure 10**.

La deuxième démarche consiste à analyser les valeurs obtenues qui sont dépendantes à des valeurs prédites : l'âge, la taille, le sexe et le groupe ethnique, et exprimées en % des valeurs prédites (147).



**Figure 10** : courbe volume-temps et courbe débit- volume (148).

Selon la Global Initiative for Obstructive Lung Disease (GOLD), une valeur FEV1/FVC inférieure à 70% indique la présence d'un syndrome obstructif (148). La sévérité du syndrome peut être évaluée selon le FEV1 comme le représente le **tableau VIII**.

**Tableau VIII** : Evaluation de la sévérité du syndrome obstructif pulmonaire selon la valeur du FEV1 (148).

Sévérité	Taux du FEV1
Léger	FEV1 > 80% du prédit
Moyen	FEV1 50-80% du prédit
Sévère	FEV1 30-50 du prédit
Très sévère	FEV1 < 30% du prédit

Toute maladie professionnelle doit être signalée et étudiée et des mesures préventives doivent être prises pour éviter de futures maladies similaires (149). Le personnel de santé et d'hygiène de travail doit être formé sur la dépistage, le diagnostic, la prise en charge et la gestion de ces maladies (149).

### III.1.3. Analyse toxicologique :

#### III.1.3.1. Métrologie de l'air ambiant :

La métrologie quantitative individuelle est la méthode de référence d'évaluation de l'exposition atmosphérique professionnelle. Elle repose sur la mesure de la concentration des fumées atmosphériques au niveau des voies respiratoires à l'aide des appareils de prélèvements d'air portés par les travailleurs pendant leur travail comme le montre la **figure 11**.

En effet, ces concentrations atmosphériques sont, dans ce cas, proches de celles susceptibles d'atteindre les organes cibles (muqueuses respiratoire) (150).

L'interprétation des données d'exposition repose traditionnellement sur la comparaison des expositions individuelles à une VLEP. Elle s'effectue selon que les mesures soient réalisées sur de courtes périodes (15 min) et donc sont comparées à une Valeur Limite d'exposition à Court Terme VLCT (pour la prévention des effets aigus), ou réalisées sur la journée de travail (8h) et donc comparées à une VLEP-8h (pour la prévention des effets chroniques) (151).



**Figure 11** : Position idéale de l'appareil de prélèvement d'air à l'intérieur de la visière du soudeur (152).

#### III.1.4. Biosurveillance :

La biosurveillance ou biomonitoring est un outil primordial pour évaluer l'exposition aux substances dangereuses, en particulier, en milieu professionnel. Elle devient de plus en plus importante afin de réduire et de prévenir leurs effets néfastes sur la santé des travailleurs (153). Cette recherche complémentaire de l'évaluation de l'exposition des soudeurs aux

fumées est une source clé d'informations sur l'exposition, la santé des travailleurs et l'efficacité des moyens de prévention (153).

Le biomonitoring implique le dosage dans les fluides biologiques de paramètres toxicologiques, dont la plupart sont des biomarqueurs de dose interne, et biologiques (154).

Dans ce cas, les valeurs permettant l'interprétation des résultats sont les valeurs limites biologiques (VLB). Malheureusement, l'absence de VLB recommandée fixe peut créer des problèmes d'évaluation de l'exposition basée sur la recherche de surveillance biologique. Ainsi, une biosurveillance réalisée en conditions réelles peut être utile pour estimer la VLB dans le cas de l'exposition professionnelle des soudeurs (155).

#### **III.1.4.1. Dosage des métaux :**

Ces métaux sont, en général, dosés dans le sang et les urines, mais d'autres milieux biologiques peuvent être analysés (154). Les prélèvements sanguins doivent être conservés à 4°C pendant une semaine maximum tandis que les prélèvements urinaires peuvent être conservés 1 mois à 4°C ou 1 an à -20°C (156), (157). Différentes méthodes de dosages peuvent être utilisées dont :

- ***La spectrométrie d'absorption atomique (SAA) :*** basée sur l'absorption d'une lumière à une longueur d'onde caractéristique par les atomes libres d'un élément. La quantité de lumière absorbée et la concentration de l'analyte dans l'échantillon sont directement proportionnelles. L'atomisation d'élément est réalisé soit à l'aide d'un dispositif électrothermique (spectrométrie d'absorption atomique électrothermique ou ETAAS) ou d'une flamme (spectrométrie d'absorption atomique à atomisation par flamme ou FAAS) (158).

La ETAAS est la technique de choix en raison de sa simplicité. En outre, elle ne nécessite pas de prétraitement et un faible volume d'échantillon est nécessaire (159). La FAAS permet d'analyser un grand nombre de prélèvements grâce à son échantillonneur automatique. Elle est utilisée dans de nombreux pays à cause de sa rapidité et sa simplicité surtout son coût modéré (160) .

- **La spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS)** : basée sur la séparation des formes ionisées des éléments dans un spectromètre de masse en fonction de leur rapport masse sur charge (exprimé en  $m/z$ ) (161). Les limites de détection et la sélectivité accrues, la possibilité d'effectuer des analyses multiéléments et la simplicité de la préparation des échantillons sont quelques-uns des avantages de la spectrométrie de masse à plasma inductif (162).
- **La voltampérométrie de redissolution** : c'est une technique électrochimique basée sur une mesure de courant électrique selon une réaction chimique d'oxydoréduction à la surface d'une électrode. Elle a comme avantages : une bonne limite de détection, un faible coût, un faible volume d'échantillon et la rapidité (160).

Les différents milieux de dosage, les Valeurs limites de référence (pour la population générale) VBR, les valeurs limites biologiques VLB et moment de prélèvement pour les différents métaux analysés chez les soudeurs sont détaillés dans le **tableau IX**.

#### **I.1.1.1. Dosage des paramètres biologiques :**

Comme déjà mentionné que les métaux ont des effets toxiques sur des divers organes en particulier le foie, les rates et le système sanguin en fonction de métal auquel l'ouvrier est exposé. donc pour détecter et évaluer les effets des métaux sur la fonctionnement de ces organes, il est recommandé d'effectuer des dosage sur des paramètre biochimiques hépatiques ( soit dosage des enzymes hépatique: alanine aminotransférase ALAT, aspartate aminotransférase ASAT...ou dosage des marqueurs spécifique de foie: albumine etbilirubine), des paramètres biochimiques rénaux (dosage de la protéinurie, créatinine, albuminurie, l'urée...) et des paramètres hématologique ( numération formule sanguine NFS, vitesse de sédimentation VS, frotti sanguin...) (163).

**Tableau IX :** Milieux de dosage, VBR, VLB et moment de prélèvement pour les différents métaux analysés chez les soudeurs (164), (165), (166), (167), (168), (169), (170), (171), (172).

Métal	Milieu	VBR	VLB		Moment de prélèvement
			France	Etats unis	
Cd	Sang ( $\mu\text{g/L}$ )	0,7 (non fumeur) 3 (fumeur)	4	5	Indifférent
	Urine ( $\mu\text{g/g}$ de créatinine)	0,8 (non fumeur) 1 (fumeur)	5	5	
Fe	Sang ( $\mu\text{g/L}$ )	0,6 - 1,8			Indifférent
Pb	Sang ( $\mu\text{g/L}$ )	85	180	200	Indifférent
Al	Sang ( $\mu\text{g/L}$ )	11,2			Fin de poste
	Urine ( $\mu\text{g/g}$ de créatinine)	13,3	50 (Allemagne DFG)		Début de semaine Début de poste
Ni	Sang ( $\mu\text{g/L}$ )	1,4			Fin de poste
	Urine	3,8 $\mu\text{g/g}$ de créatinine		5 $\mu\text{g/L}$	Fin de semaine
Cr (VI)	Urine( $\mu\text{g/L}$ )	0,65		0,7	Fin de poste Fin de semaine
Cu	Sang (mg/L)	1,5			Fin de poste
	Urine ( $\mu\text{g/g}$ de créatinine)	31,5			Fin de semaine
Co	Sang ( $\mu\text{g/L}$ )	0,45			Fin de poste
	Urine ( $\mu\text{g/g}$ de créatinine)	0,6 ou 0,7	5		fin de semaine
Zn	Sang (mg/l)	7,27			Indifférent
	Urine (mg/g de créatinine)	0,7			Fin de poste Fin de semaine

## **III.2. Prévention des risques :**

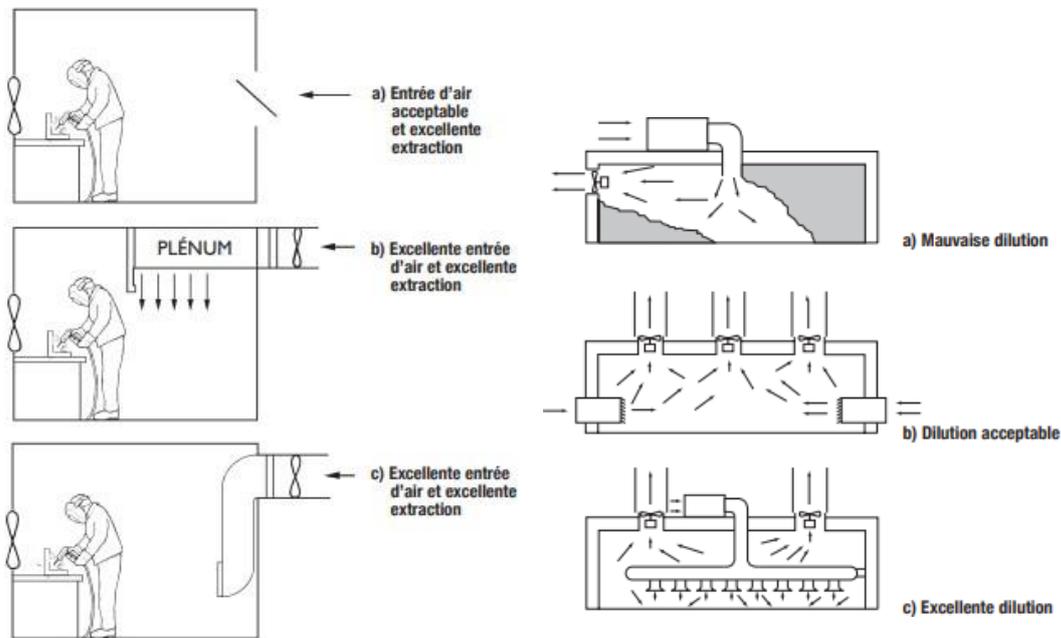
Après avoir évalué les risques auxquels sont soumis les soudeurs, il est nécessaire de mettre en œuvre des mesures de prévention. Ces dernières peuvent inclure des actions liées à l'organisation, à l'environnement et aux postes de travail et à la formation des employés. Elles doivent être adaptées aux processus et aux matériaux utilisés, ainsi qu'au lieu de travail (atelier, chantier, espace confiné) (173).

La plupart des soudeurs appartiennent à la classe socio-économique inférieure. Ils ont des connaissances insuffisantes sur le danger de leur environnement de travail et sont inconscients des effets nocifs des fumées de soudage sur leur santé (174). De ce fait, certains n'utilisent pas les équipements de protection appropriés. De plus, ils sont souvent embauchés sans formation préalable adéquate ou déployés sur des chantiers sans être fournis de ces équipements (175).

Les travailleurs doivent être informés des différents effets dangereux des particules de pollution de l'air sur la santé avec l'obligation à utiliser correctement les vêtements et équipements de protection. La surveillance rigoureuse de la disponibilité des dispositifs de protection respiratoire individuels et collectifs de haute qualité, la bonne gestion des poussières dans les zones de travail par une ventilation efficace et l'utilisation d'un système de contrôle adéquat, la réparation des machines, l'affichage des panneaux d'avertissement et l'application des programmes d'éducation sanitaire sont recommandés pour le personnel afin de minimiser les risques (176), (149).

### **III.2.1. Protection collective :**

- Réduction à la source de la production de fumée et de gaz en modifiant le procédé de soudage par un autre qui produit moins de fumées ou bien qui ne requiert pas un métal d'apport.
- Ventilation générale naturelle pour permettre la circulation de l'air à travers des fenêtres ou toute autre ouverture ou mécanique en utilisant des ventilateurs fixés aux murs pour éliminer l'air contaminé (représentée dans la **figure 12**).
- L'aspiration locale, permet de capturer les fumées de soudage avant qu'elles n'atteignent la zone respiratoire de l'opérateur (41).
- Des rideaux et des écrans opaques pour se prémunir contre les rayonnements, insonorisation des ateliers... (173).



**Figure 12 :** Ventilation appliquée à un local (à gauche) et à un atelier (à droite) (41).

### III.2.2. Protection individuelle :

- Port d'un casque équipé d'un écran approprié pour les soudures électriques, ou de lunettes avec des verres adaptés pour les soudures au chalumeau.
- Port de gants en cuir avec des manchettes, ainsi que de chaussures de sécurité.
- Port de vêtements de travail, tels qu'un ensemble pantalon, une veste et une cagoule en coton ignifugé ou en textile technique ininflammable, ainsi qu'un tablier en cuir.
- Utilisation d'une protection antibruit adaptée en fonction du niveau de bruit présent dans l'environnement de travail (177).
- Éviter tout contact avec des bobines de fil sous tension ou d'enrouler un câble de soudage autour du corps et le travail ne doit pas s'effectuer sur un sol humide afin de prévenir le risque d'électrisation (177), (173).
- Et enfin, tout salarié ou stagiaire exposé aux risques liés à son travail doit bénéficier d'une formation à la sécurité (31).

# **PARTIE PRATIQUE**

## **CHAPITRE IV : MATERIELS ET METHODES**

#### **IV.1. Type d'étude :**

Il s'agit d'une étude descriptive transversale réalisée dans le cadre d'une enquête préliminaire.

#### **IV.2. Période d'étude :**

Notre étude s'est étalée sur une période de sept mois, allant de Novembre 2022 jusqu'à Mai 2023.

#### **IV.3. Population étudiée :**

Cette étude a été réalisée sur un échantillon de soudeurs libéraux exerçant dans 7 quartiers de la ville de Tlemcen (Kiffane, Bouhenak, Aboutachfine, Chetouane, Makhoukh, Ain Nedjar et Oudjlida).

#### **IV.4. Critères d'inclusion :**

- Soudeur actif.
- Soudeur exposé aux fumées de soudage.
- Ayant exercé depuis plus d'un an.
- Sujets ayant réalisé une performance correcte de la spirométrie.
- Sujets volontaires.

#### **IV.5. Critères de non inclusion :**

- Les soudeurs ne voulant pas participer à l'étude.
- Les sujets répondant au questionnaire mais qui refusent de faire le test spirométrique.
- Les soudeurs n'exerçant pas dans les quartiers cités ci-dessus.

#### **IV.6. Critères d'exclusion :**

- Les fumeurs et les sujets ayant des ATCD respiratoires n'ont pas été exclus afin d'atteindre un nombre suffisant.

#### **IV.7. Recueil des données :**

Le recueil des données a été réalisé à l'aide d'un questionnaire (**Annexe 2**) conçu et rempli par les enquêteurs. Il a comporté des questions à choix simple, multiple ainsi que des questions à réponse courte. Les propositions non formulées étaient prises en compte selon le contexte par l'option « Autres ». Il comprenait deux parties :

- *La première partie* du questionnaire était constituée de questions concernant des renseignements sociodémographiques (sexe, âge, adresse professionnelle, niveau d'étude, statut tabagique, habitudes alimentaires et sportives, consommation de drogues, d'alcool ou d'antioxydants, type d'eau consommée, ...).
- *La deuxième partie* a concerné des questions sur l'ancienneté et la fréquence d'exposition aux fumées du soudage, le type de métal utilisé, les moyens de protection, le type de ventilation, les symptômes respiratoires, cutanées et oculaires, les accidents de travail, le niveau de connaissance sur les risques sanitaires de l'exposition ainsi que les résultats de la spirométrie.

#### **IV.8. Éthique :**

L'anonymat a été respecté tout au long de l'enquête, aucun item sur l'identité des sujets n'a figuré sur le questionnaire. Un consentement verbal de tous le participant a été obtenu.

#### **IV.9. Spirométrie :**

Avant chaque essai, l'enquêteur a démontré clairement et pratiqué le test spirométrique devant les participants. Les recommandations de l'American Thoracic Society (ATS) ont été appliquées ; les sujets étaient assis confortablement sur une chaise, puis les informations concernant l'identité du sujet, son âge, sa taille (cm), son poids (kg), son sexe, sa race, son statut tabagique et ses ATCD d'asthme ont été imputées dans l'appareil.

Un embout buccal propre a été utilisé pour chaque individu. Après une inspiration profonde et rapide, une pince a été placée sur le nez afin de tenir le souffle puis le sujet place l'embout entre ses lèvres et expire avec autant de force que possible pendant la plus longue période possible.

Après trois tentatives, le meilleur des trois enregistrements a été pris. Les lectures de FVC, FEV1, FEV1/FVC (%) ont été recueillies à partir du tracé du spiromètre et enregistrées dans le formulaire de collecte de données (174).

Le spiromètre utilisé était de marque Essilor Easyone™ diagnostic Spirometer, model 2001, SN :60494/2007 (2x1.5 VDC).

#### **IV.10. Saisie et analyse des données :**

L'analyse des données a été réalisée avec un logiciel SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) version 21. L'analyse statistique descriptive a été utilisée pour le traitement des résultats.

- Les résultats quantitatifs ont été présentés sous forme de moyennes  $\pm$  l'écart-type.
- Les associations simples ou multiples entre les différentes variables qualitatives ont été testées au seuil de 5% au moyen des tests de comparaison de  $\text{Khi}_2$ .
- La différence était significative pour  $p < 0,05$ .

Le programme Microsoft Excel version 2010 a été utilisé pour la représentation graphique des résultats.

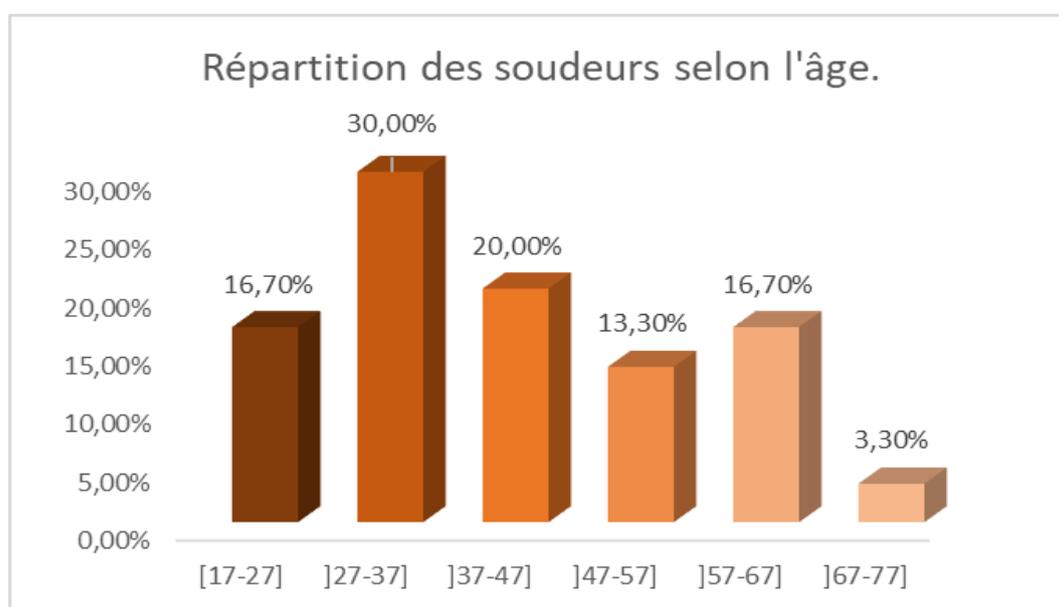
## **CHAPITRE V : RÉSULTATS**

## V.1. Caractéristiques anthropologiques : âge, taille, poids et IMC :

**Tableau X:** Caractéristiques démographiques : âge, taille, poids et IMC des soudeurs.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
Age (ans)	17	71	41,83	15,86
Poids (Kg)	52	103	73,27	13,96
Taille (m)	1,58	1,95	1,75	0,08
IMC (kg/m <sup>2</sup> )	17,37	29,74	23,93	3,39

## V.2. Répartition de la population selon l'âge :



**Figure 13:** Répartition de la population selon les tranches d'âge.

Dans notre étude 16,70% des soudeurs avaient un âge entre 17 et 27 ans, 30% entre 27 et 37 ans, 20% entre 37 et 47 ans, 13,30% entre 47 et 57 ans, 16,70% 57 et 67 ans, et 3,30% entre 67 et 77 ans.

### V.3. Répartition des soudeurs selon l'adresse professionnelle et le niveau d'étude :

Tableau XI : Répartition des ouvriers selon l'adresse professionnelle et le niveau d'étude.

Caractéristiques		Effectif	Pourcentage
Adresse	Bouhanak	11	36,7%
	Aboutechfine	6	20%
	Kiffane	4	13,3%
	Oudjila	4	13,3%
	Makhoukh	3	10%
	Chetouane	1	3,3%
	Ain Nedjar	1	3,3%
Niveau d'étude	Primaire	4	13,3%
	CEM	15	50%
	Lycée	6	20%
	Universitaire	5	16,7%

### V.4. Répartition des soudeurs selon leur statut de formation sur le soudage :

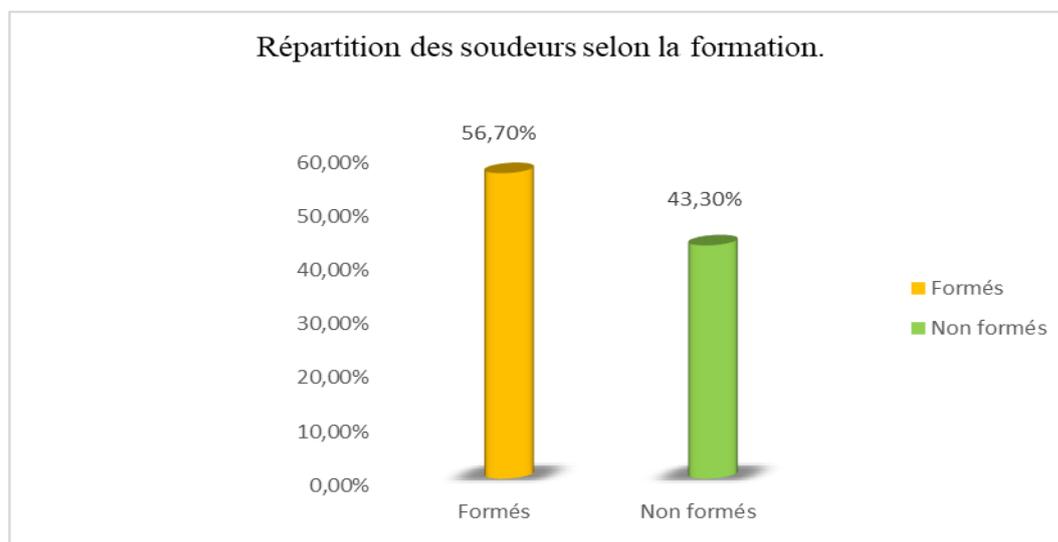


Figure 14: Répartition des soudeurs selon la formation.

Notre étude a révélé que 56,70% des soudeurs ont été formés sur le métier du soudage.

### V.5. Répartition des soudeurs selon le métal utilisé :

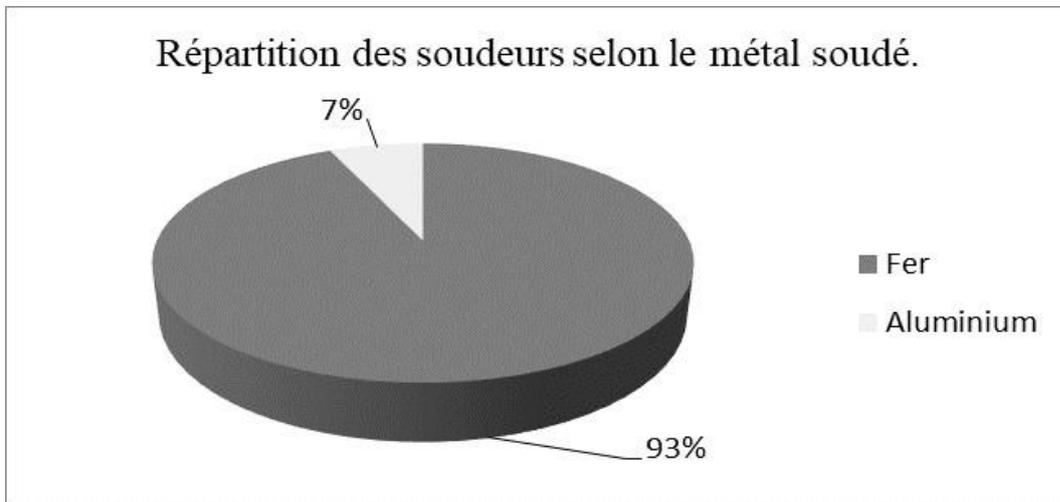


Figure 15 : Répartition des soudeurs selon le métal soudé.

Dans notre étude, 93,30% de notre échantillon était des soudeurs de fer et 6,70% était des soudeurs d'aluminium.

### V.5. Répartition des soudeurs selon l'ancienneté de travail :

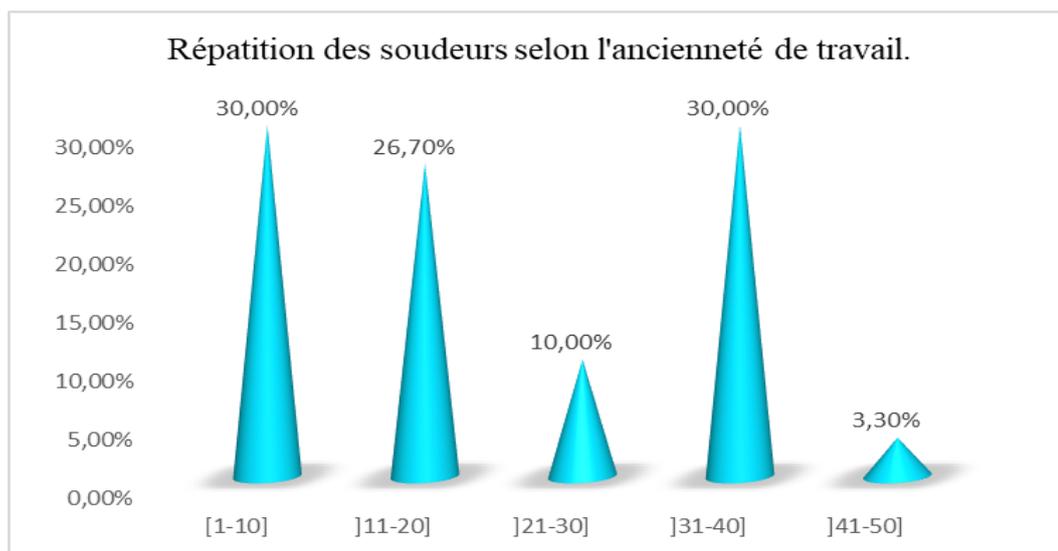


Figure 16 : Répartition des soudeurs selon l'ancienneté de travail.

## V.7. Répartition des soudeurs selon la fréquence d'exposition :

Tableau XII: Répartition des soudeurs selon le rythme de travail.

Rythme de travail		Effectif	Pourcentage
Les jours par semaine	4	1	3,3%
	5	3	10%
	6	26	86,7%
Les heures par jour	<8	4	13,4%
	=8	23	76,7%
	>8	3	10%

## V.8. Répartition des soudeurs selon les ATCD :

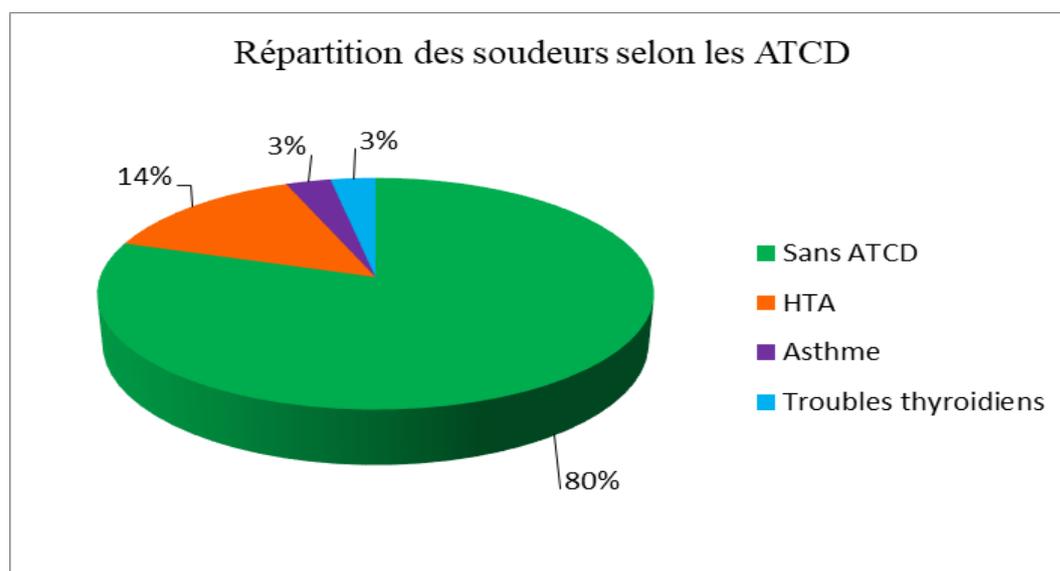
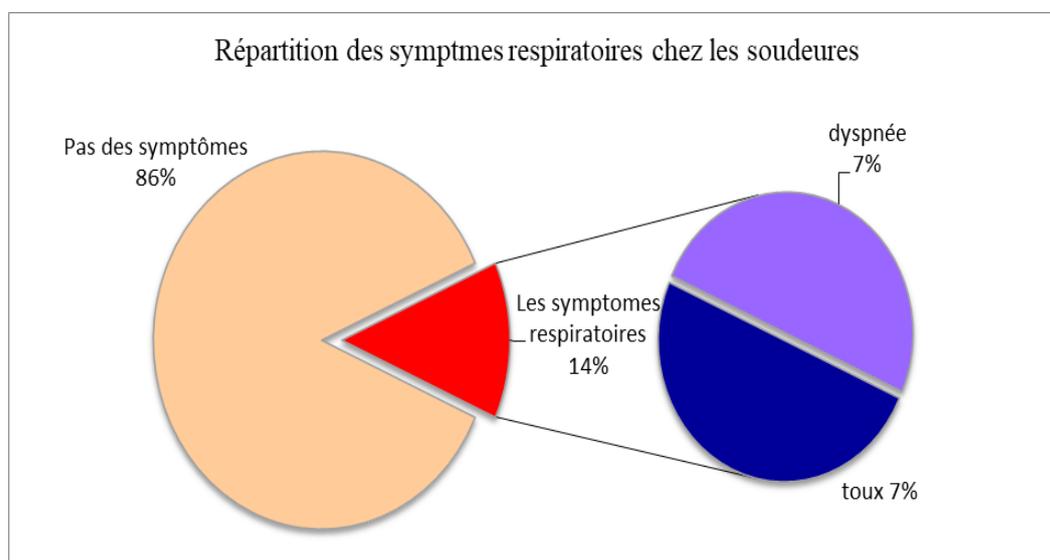


Figure 17: Répartition des maladies chroniques chez les soudeurs.

80% des soudeurs n'avaient aucune maladie chronique, 14% étaient hypertendus, 3% des asthmatique et 3% avaient des troubles thyroïdiens.

## V.9. Répartition des symptômes respiratoires chez les soudeurs :



**Figure 18:** Répartition des symptômes respiratoires chez les soudeurs.

86,70% de notre échantillon n'avaient pas de symptômes respiratoires, 6,70% avaient une toux et 6,70% une dyspnée.

## V.10. Répartition des soudeurs selon les paramètres de la spirométrie : FEV1, FVC, rapport FEV1/FVC :

**Tableau XIII:** Paramètres de la spirométrie chez les soudeurs : FEV1, FVC, rapport FEV1/FVC.

	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type
FEV1	0,40	9,70	2,47	1,65
FVC	1,72	11,22	4,27	1,82
FEV1/FVC	0,22	0,95	0,60	0,24

### V.11. Répartition des soudeurs selon le statut tabagique :

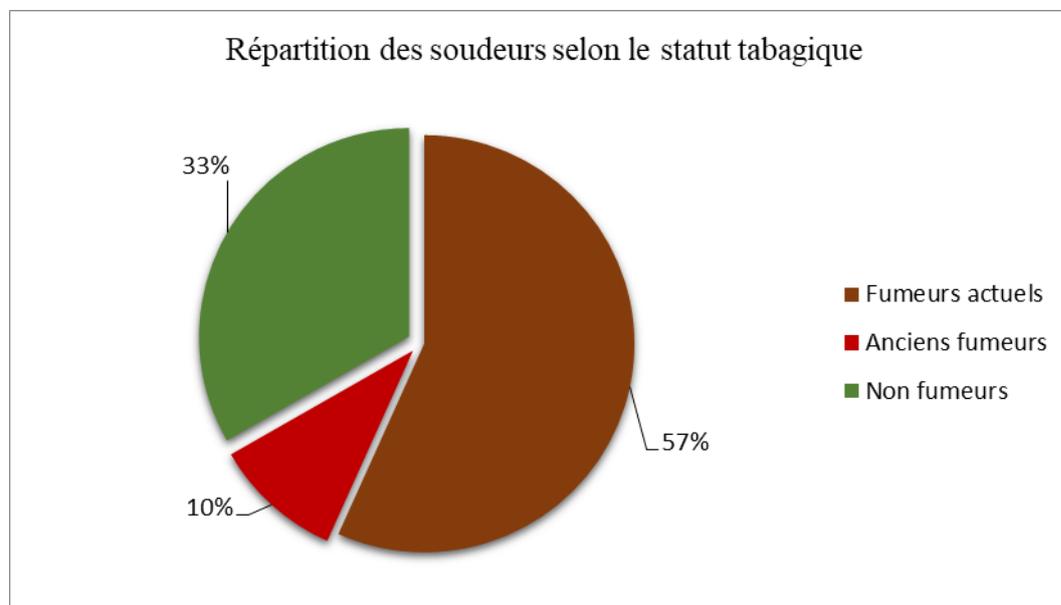


Figure 19 : Répartition du tabagisme chez les soudeurs.

Environ 57% des soudeurs étaient des fumeurs, 33,30% des non-fumeurs et 10% des anciens fumeurs.

### V.12. Répartition de consommation de l'alcool et des drogues :

Tableau XIV: Répartition de consommation de l'alcool et des drogues chez les soudeurs.

Caractéristique	Réponses	Effectif	Pourcentage
Consommation d'alcool	Oui	1	3,3%
	Non	29	96,7%
Consommation des drogues	Oui	1	3,3%
	Non	29	96,7%

### V.13. Répartition des autres sources d'exposition aux métaux :

Tableau XV: Répartition des autres sources d'exposition aux métaux.

Caractéristiques		Effectif	Pourcentage
Consommation d'eau	Eau de source	14	46,7%
	Eau de robinet	9	30%
	Eau minérale	6	20%
	Eau des puits	7	23,3%
Consommation de poisson	< 3 fois / mois	18	60%
	> 3 fois / mois	12	40%
Amalgame dentaire	Oui	5	16,7%
	Non	25	83,3%
Vis chirurgicale	Oui	0	0%
	Non	30	100%
Peinture antirouille	Oui	23	76,7%
	Non	7	23,3%

### V.14. Répartition des problèmes oculaires issus de soudage :

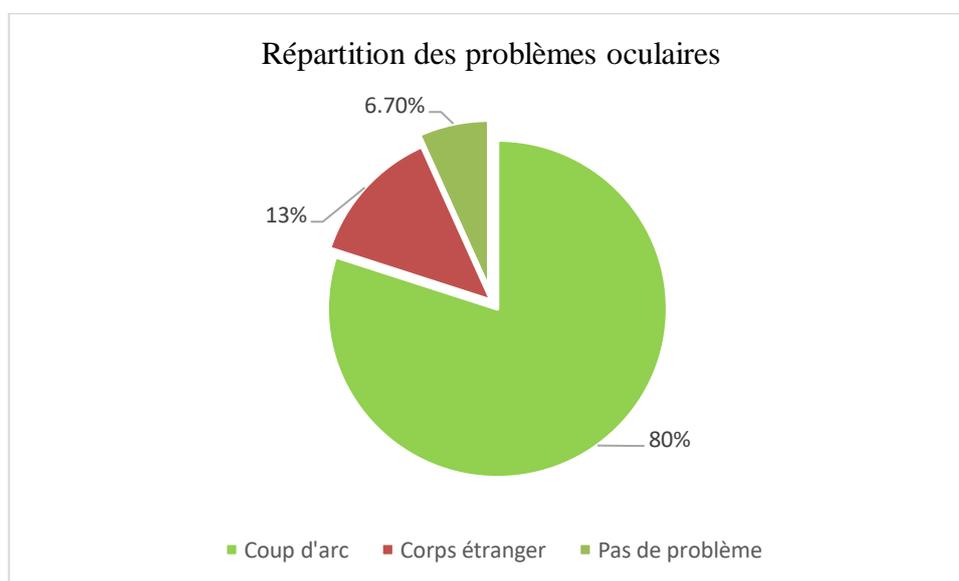
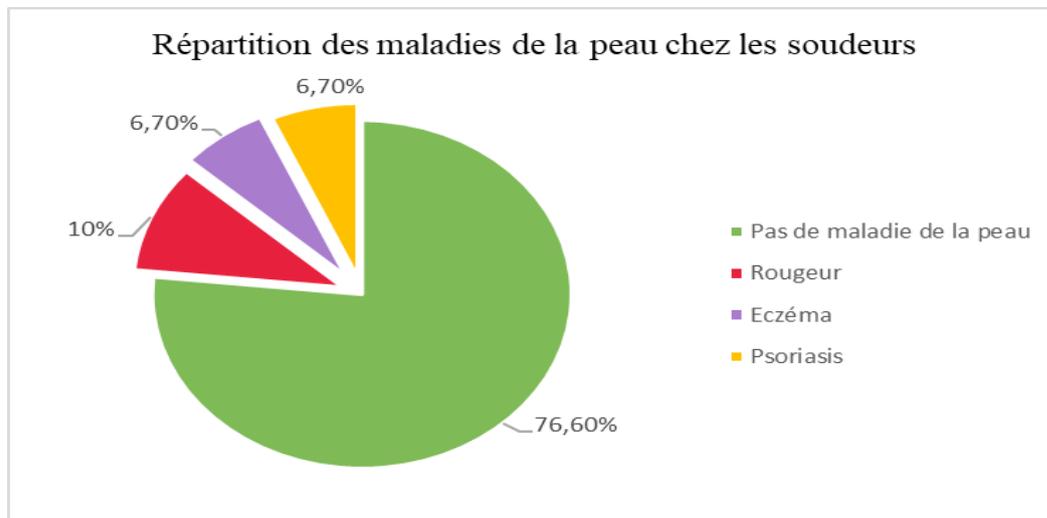


Figure 20 : Répartition des problèmes oculaires chez les soudeurs.

L'arc oculaire était le problème oculaire le plus fréquent chez les soudeurs (80%), suivi par la présence d'un corps étranger (13,30%).

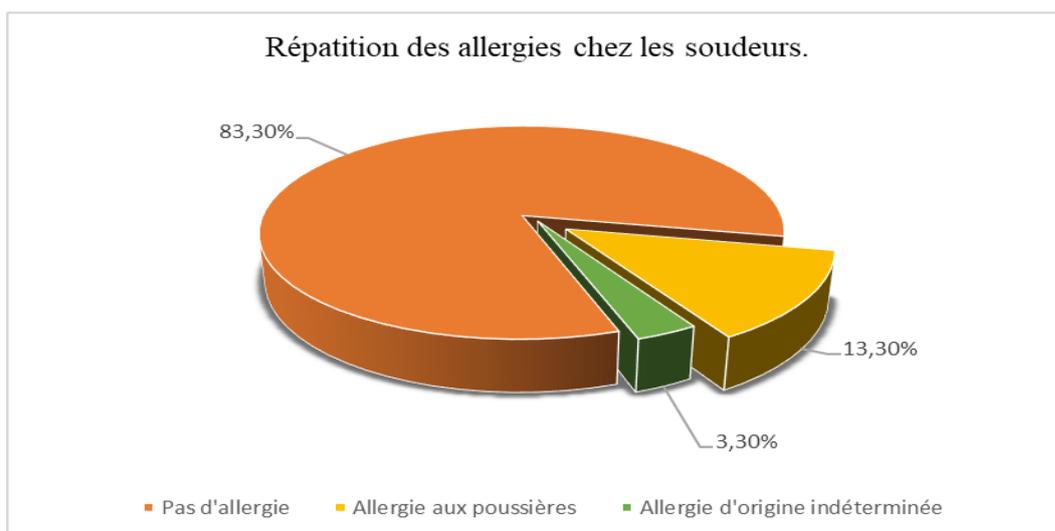
### V.15. Répartition des pathologies cutanées rencontrées chez les soudeurs :



**Figure 21 :** Répartition des maladies de la peau chez les soudeurs.

Environ 77% des soudeurs n'avaient aucun problème dermique, 10% souffraient d'une rougeur, 6,70% avaient un eczéma et 6,70% avaient un psoriasis.

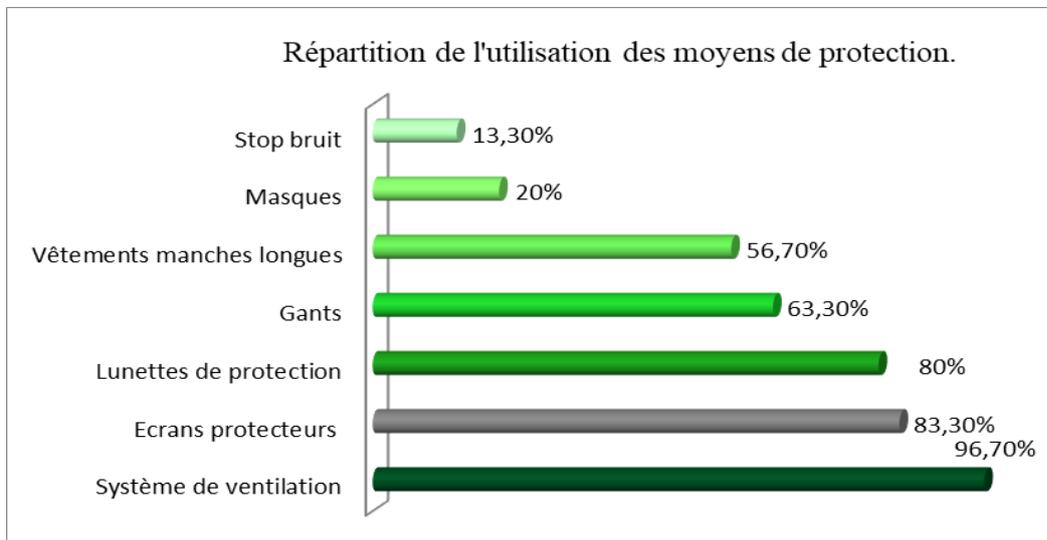
### V.16. Répartition des allergies chez les soudeurs :



**Figure 22:** Répartition des allergies chez les soudeurs.

Aucune allergie n'a été signalé chez 83,30% des soudeurs, 13,30% avaient une allergie aux poussières et 3,3% avaient une allergie d'origine indéterminée.

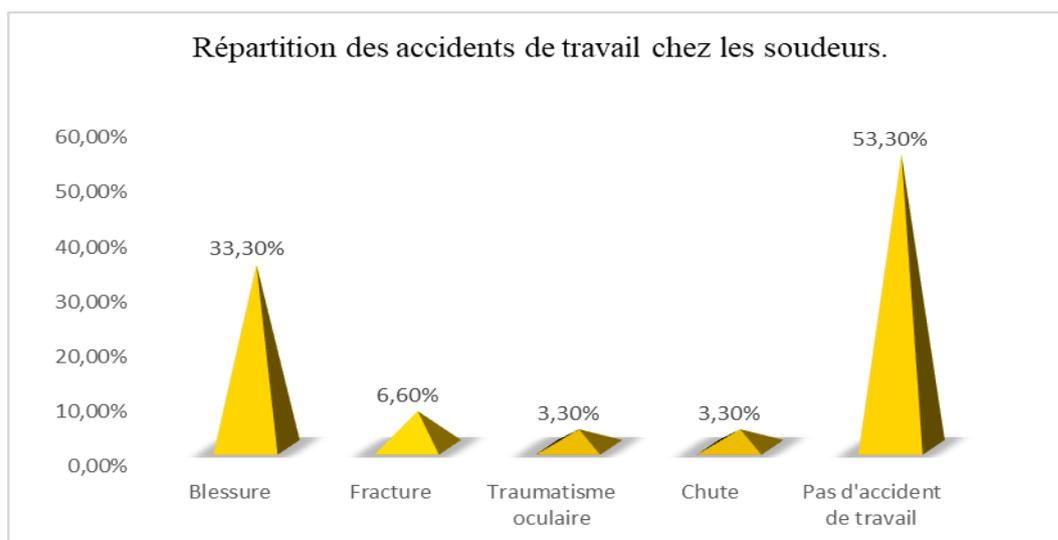
### V.17. Répartition des soudeurs selon l'utilisation des moyens de protection :



**Figure 23:** Répartition de l'utilisation des moyens de protection.

Environ 97% des soudeurs avaient une ventilation adéquate, 83,30% utilisaient les écrans protecteurs. 80% mettaient les lunettes de protection, 63,30% portaient les gants, 20% mettaient les masques et 13.30% utilisaient les stop bruit.

### V.18. Répartition des accidents de travail chez les soudeurs :



**Figure 24 :** Répartition des accidents de travail chez les soudeurs.

53,30% des soudeurs ont déclaré ne jamais avoir eu un accident de travail. Les blessures, les fractures, un traumatisme oculaire et une chute étaient les plus fréquents.

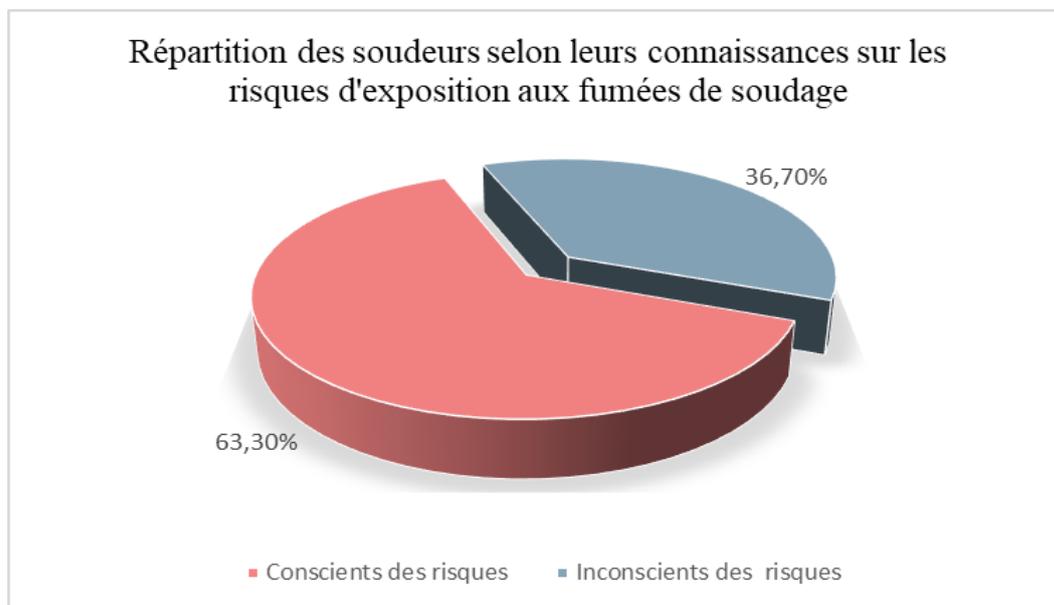
### V.19. Répartition des soudeurs selon le lavage et hygiène des mains :

**Tableau XVI: Répartition des soudeurs selon le lavage des mains pendant le travail.**

	Réponse	Effectif	Pourcentage
Lavage des mains	Oui	30	100%
	Non	0	0%

L'intégralité des soudeurs se lavait les mains pendant le travail.

### V.20. Répartition des soudeurs selon leurs connaissances sur les risques d'exposition aux fumées de soudage :



**Figure 25:** Répartition des soudeurs selon leurs connaissances sur les risques d'exposition aux fumées de soudage.

63,30% des soudeurs étaient conscients des risques des fumées de soudage, tandis que 36.70% ne l'étaient pas.

## **CHAPITRE VI : DISCUSSION**

Face à la rareté des données sur les paramètres des fonctions respiratoires chez les soudeurs algériens et afin de décrire leurs conditions de travail et les différents risques auxquels ils sont exposés nous avons élaborer cette étude transversale menée sur 30 soudeurs libéraux et exerçant dans sept quartiers de la ville de Tlemcen.

Tous les participants étaient, exclusivement, de sexe masculin ce qui peut être expliquer par la nature de ce travail reconnu comme étant physiquement exigeant et souvent dominé par les hommes en plus des considérations sociales, particulièrement en Algérie.

La moyenne d'âge de notre population était de  $41,83 \pm 15,86$  ans avec des extrêmes de 17 et 71 ans. La tranche d'âge la plus rencontrée était de 27 à 37 ans avec un pourcentage de 30%. Ce résultat est comparable avec celui d'une étude Sénégalaise où la moyenne d'âge de la population étudiée était de  $30,27 \pm 11,09$  ans et des extrêmes de 15 à 72 ans (178).

En effet, en Algérie cette profession attire beaucoup plus les sujets jeunes, généralement, d'un niveau d'instruction modeste. Environ 13,3% d notre population avait un niveau d'étude primaire, 50% CEM, 20% lycée et 16,7% universitaire.

Nos résultats ont montré que 30% des soudeurs ont commencé ce métier depuis moins de 10 ans. Il est à noter qu'au cours des 10 dernières années il y a davantage de besoins des ressources humaines dans ce domaine.

En réalité, il s'agit de l'une des professions artisanales les plus intéressantes dans notre pays en raison du développement des travaux de construction et de rénovation ainsi que l'accroissement de la demande en matériaux métalliques pour la mise en place des portes et des portails, des supports, des barreaudages sécuritaires des fenêtres, des balcons et autres.

De plus, l'intégration dans ce domaine en Algérie peut se faire sans formation spécialisée préalable et un apprenti pourrait travailler dans son propre atelier de soudage après quelques années d'expérience.

Notre étude a révélé que 56,70% des soudeurs ont été formés dans des centres ou des instituts de formation et enseignement professionnels alors qu'une étude au Pakistan a montré que 91,4% des personnes interrogées n'avaient pas participé à une formation ou à une certification (179). Cela peut être attribuable au fait qu'en Algérie, la formation professionnelle est gratuite et qu'un diplôme est requis dans l'ouverture d'un atelier de soudage.

Environ 36,7% des participants ont pratiqué le soudage au quartier de Bouhanak situé dans la commune de Mansourah (faubourg ouest de la ville de Tlemcen). Cette haute densité par rapport aux autres endroits peut s'expliquer par la situation géographique et démographique de cette zone.

En effet, les soudeurs préfèrent être regroupés dans des ateliers proches les uns les autres. Ils s'installent dans des grands garages à un faible prix de location et distants des agglomérations du centre-ville. La plupart d'entre eux se sont implantés depuis quelques années où il y avait quelques résidences à proximité car ce métier génère beaucoup de bruit.

En supplément, nous avons constaté la grande volonté des soudeurs de cette région de participer à notre enquête.

Le soudage à l'arc était le procédé de choix pour notre population. Ce résultat est similaire à celui trouvé par une étude pakistanaise où 91,4% des soudeurs ont utilisé cette méthode (179). Le soudage à électrode enrobée est caractérisé par son exécution dans toutes les positions, permet une grande autonomie et l'équipement requis est peu dispendieux (180). En revanche, une étude suédoise a révélé que le MIG ou (Metal inert gas) et le MAG ou (Metal active gas) étaient les méthodes de soudage préférées (181). Cette différence peut être due à la variété des procédés de soudage, à l'utilisation des techniques plus modernes dans les pays développés ainsi qu'à la réglementation plus rigoureuse et l'attention plus grande aux risques sanitaires et environnementaux liés aux différentes industries et professions.

Un pourcentage de 93% de notre population étaient des soudeurs de fer et 7% ont manipulé l'aluminium.

En effet, le fer est le métal le plus utilisé dans les procédés de soudage mais actuellement, il existe une forte demande de l'aluminium dans les travaux de bâtiments en raison de ces propriétés très avantageuses relatives au prix, au poids plus léger et au transport et à la manipulation plus faciles. Cependant, les opérations de coupage et d'assemblage dans les ateliers de menuiserie d'aluminium expose les travailleurs aux poussières très fines des particules métalliques.

Environ 30% des soudeurs de notre population avaient une ancienneté d'exercice de 30 à 40 ans. La fréquence d'exposition était de 8 heures par jour avec un rythme de travail de 6 jours sur 7.

L'exposition chronique aux fumées de soudage contenant des poussières métalliques toxiques est à l'origine de nombreux effets nocifs, particulièrement, sur le système respiratoire, les yeux et la peau.

De nombreuses études épidémiologiques ont rapporté qu'une exposition prolongée aux fumées de soudage peut entraîner des lésions des voies respiratoires avec une morbidité et une mortalité accrues (182), (183). Cependant, 80% de notre échantillon n'ont signalé aucun antécédent respiratoire et seulement 3% souffraient d'asthme, ce qui est similaire avec les résultats d'une étude saoudienne réalisée sur 41 soudeurs (184).

L'association entre l'exposition aux fumées de soudage et les signes respiratoires chez notre population était significative ( $p=0,028$ ).

Les résultats d'une étude Saoudienne sur 41 soudeurs ont montré une différence significative en ce qui concerne les plaintes respiratoires (toux productive) et la bronchite chronique par rapport à un groupe non exposé. Cependant, les fonctions respiratoires étaient les mêmes dans les deux groupes (184).

Les auteurs d'une étude en Iran sur 60 soudeurs ont montré que l'asthme et les symptômes respiratoires (toux, mucosités et respiration sifflante) étaient fréquents chez les soudeurs par rapport au groupe témoin. Ils ont, également, trouvé une relation significative entre l'existence de l'asthme et des symptômes, la durée de travail par jours et l'état de ventilation des ateliers de soudage (185). D'autres recherches ont indiqué que les soudeurs présentent des symptômes respiratoires plus importants que les non-soudeurs (186).

L'absence des signes cliniques respiratoires chez la majorité de notre population pourrait être dû à la petite taille de notre échantillon (30 soudeurs) mais également au fait que ces données ont été enregistrées sur la base des déclarations des sujets de notre étude sans confirmation par des examens médicaux. Le faible niveau d'instruction des participants pourrait avoir un impact sur la qualité des réponses.

Concernant les effets sur les fonctions respiratoires, divers travaux de recherche ont trouvé que l'exposition aux fumées de soudage entraîne une altération des paramètres de la fonction pulmonaire notamment le FEV1, FVC et le rapport FEV1/FVC par rapport aux groupes de contrôle (187), (186), (185).

Dans notre population d'étude, la moyenne des valeurs FEV1, FVC et le rapport FEV1/FVC étaient respectivement de  $2,48 \pm 1,64$ ,  $4,27 \pm 1,82$  et  $0,60 \pm 0,24$  qui sont inférieurs aux normes (FEV1 : 3,5-4,5 litres, FVC : 4,75-5,5 litres, FEV1/FVC > 0,7 pour les hommes) (188).

Nos résultats ne concordent pas avec ceux d'une étude au sud de la Suède publiée en 2023 qui a trouvé des valeurs normales de FEV1, FVC et du rapport FEV1/FVC (respectivement  $3,0 \pm 0,7$ ,  $4,8 \pm 0,8$  et  $0,8 \pm 0,07$ ) (181). L'étude n'a rapporté aucune altération de la fonction pulmonaire, peut-être en raison de la petite taille de l'échantillon, puisque seuls 41 soudeurs ont été recrutés (184).

Dans une autre étude à Malaisie réalisée sur 30 soudeurs, le FEV1 et la FVC des soudeurs étaient inférieurs à ceux du groupe témoin ce qui a été expliqué par l'exposition aux fumées (186).

À présent, les résultats publiés sur les effets respiratoires d'une exposition combinée aux fumées de soudage et à la fumée de cigarette sont contradictoires. L'effet synergique de l'exposition simultanée au tabagisme a été démontré par une étude à Téhéran dans laquelle le rapport FEV1/FVC% était significativement inférieur chez 222 soudeurs fumeurs par rapport à 445 non-fumeurs (189).

Il est admis que le tabagisme est un facteur contribuant aux problèmes respiratoires (186). Il a aussi été observé que l'exposition concomitante aux fumées de soudage et du tabac avait des effets néfastes sur la majorité des indices de la fonction pulmonaire avec des changements significatifs du DEP, le DEP1/CVF, le VEMS, le DEP25 et DEP75 (189).

Il est important de signaler que 67% des soudeurs de notre étude étaient des fumeurs et que plus que la moitié d'entre eux (14/20) a présenté un rapport FEV1/FVC inférieur aux normes alors que plus que la moitié des non-fumeurs a présenté un rapport dans les normes. Nos résultats concordent avec ceux d'une étude iranienne publiée en 2021 dans laquelle un rapport FEV1 / FVC était significativement inférieur chez les soudeurs fumeurs par rapport aux non-fumeurs (190).

L'association entre le tabagisme et les indices spirométriques chez notre population était non significative.

Dans une étude menée chez des soudeurs iraniens le tabagisme n'avait pas d'effets significatifs sur les indices pulmonaires (191).

Une étude qui a été faite sur 50 soudeurs a montré une relation entre l'ancienneté de travail et l'altération de la fonction pulmonaire. En revanche, aucune relation significative n'a été signalée avec l'âge, la taille et le tabagisme (187).

Contrairement au tabagisme, seulement 6,6% de notre échantillon étaient des consommateurs d'alcool et de drogues et ce pour des considérations religieuses et sociales contrairement aux résultats d'une étude en Chine où 26,2% étaient alcooliques et toxicomanes (192).

En plus des métaux présents dans les fumées de soudage, les soudeurs de notre étude pourraient avoir d'autres sources d'exposition aux éléments métalliques toxiques dont la consommation de poisson, d'eau contaminée et la présence d'amalgames dentaires mais l'analyse des métaux dans ces sources n'a pas été réalisée dans notre étude.

Outre les effets respiratoires, les signes de toxicité oculaire peuvent s'observer chez les soudeurs. Le problème oculaire le plus rencontré au cours de soudage dans notre étude était le coup d'arc (80%) et ce malgré le port des écrans et de lunettes de protection. Une étude canadienne a trouvé un résultat similaire (193).

Nous avons noté un seul cas de traumatisme oculaire par débris métallique alors que dans une étude malienne sur 385 soudeurs, 48,8% des ATCD ophtalmologiques étaient les traumatismes par débris métalliques (194). Notre observation peut être expliquée par la petite taille de notre échantillon et le port des équipements de protection des yeux par la majorité des soudeurs.

Il a été démontré que les rayons UV peuvent s'infiltrer à travers les casques de soudure en pénétrant par l'arrière et en passant par les côtés et le dessus. De plus, l'exposition faciale et/ou oculaire est également susceptible de survenir lorsque les soudeurs relèvent leur casque pour réaliser d'autres tâches. À ce moment-là, ils seront directement exposés aux rayons UV générés par les soudeurs à proximité. De ce fait, il est recommandé de porter les lunettes de protection sous le casque de soudure mais les travailleurs ont déclaré que c'est gênant (193).

Relativement aux équipements de protection individuelle (EPI), notre étude a révélé que la totalité des soudeurs possédaient ce genre de dispositifs dans leurs ateliers en réponse aux exigences des autorités spécialisées qui effectuent des contrôles réguliers pour vérifier leur existence. Cependant, le taux d'utilisation de ces moyens était variable, 83,30% utilisaient les écrans protecteurs, 80% mettaient les lunettes de protection et 63,30% portaient les gants. Le taux de port des masques antipoussière était de 20%.

Nos résultats étaient légèrement proches aux résultats d'une étude chinoise faite sur 125 soudeurs en 2017 où les taux de port des masques de soudure, des lunettes de protection, des gants et des masques antipoussière étaient respectivement 100%, 90,4% et 64% et 89,6% (195).

La raison la plus fréquente pour laquelle les soudeurs ne portaient pas de gants était leur l'inconfort.

Un pourcentage de 90% de notre échantillon ont utilisé au moins un moyen de protection individuel contrairement à une étude au Népal en 2014 où seuls 47,7 % ont utilisé un ou plusieurs types d'EPI (196). Une autre à Uganda publié en 2022 a montré que seulement 37,1% des soudeurs ont adopté de bonnes pratiques en matière d'EPI (197). Une étude Pakistanaise a montré que 98,6 % des soudeurs possédaient au moins un EPI (179).

Les rapports d'une étude réalisée sur 343 soudeurs nigériens a montré un faible taux d'utilisation des dispositifs de protection individuelle des yeux (198) contrairement à notre étude où 80% les ont utilisé. La non-adhérence aux règles de bonne pratique et la non-application des moyens de protection sont, généralement, liées au faible niveau socio culturel de cette catégorie de travailleurs, particulièrement, dans les pays en voie de développement.

Les pourcentages de possession et d'utilisation des EPI chez les soudeurs nigériens étaient faibles et principalement, attribués au désagrément pour l'utilisateur, le manque d'efficacité présumé et le cout. Ainsi, la non-utilisation des EPI au Nigeria était significativement associée à un niveau d'éducation inférieur ( $p=0.030$ ) et au soudage électrique ( $p=0,0001$ ) (198).

N'oublions pas que le port des EPI réduit la probabilité de survenue des accidents de travail. Concernant ces accidents dans notre échantillon, les blessures étaient les plus fréquentes avec 33,30% ce qui diffère des résultats d'une étude pakistanaise ayant enregistré 50% des coupures et des blessures (179). Nous avons observé que 53,30% n'ont jamais étaient victime d'aucun accident de travail.

Nos résultats peuvent être biaisés par la mémorisation et la sous-estimation des accidents de gravité mineure par notre population.

Aucune source ne nous a permis de recenser ces accidents. Pour la plupart du temps, ils ne sont pas déclarés car les sujets sont très faiblement ou pas du tout indemnisés.

La totalité des soudeurs a respecté les règles d'hygiène et de lavage des mains.

Dans notre étude, 63,30% des soudeurs étaient conscients des risques des fumées de soudage. Nos résultats étaient en accord avec ceux d'une étude à Bamako, Mali où 62,3% des soudeurs avaient des connaissances sur ces risques (194). Environ 54% des soudeurs de Pakistan savaient que le soudage constituait un risque pour leur santé (179).

Une étude au Népal a montré que 90,7% des soudeurs connaissaient au moins un risque lié au soudage (196), contrairement à une étude en Inde où la majorité des soudeurs avaient une faible connaissance des effets nocifs des fumées de soudage. Cette ignorance pourrait être liée au fort pourcentage des soudeurs analphabètes ainsi qu'au manque de sensibilisation et de formation technique chez ces ouvriers (199).

Dans Ouganda, environ 61,4% des soudeurs interrogés avaient un niveau de connaissance élevé sur les risques sanitaires relatifs à l'exposition aux fumées de soudage (200)

Nous avons trouvé un lien significatif entre la connaissance des risques et le niveau d'études et la formation des soudeurs de notre population ( $p=0,003$ ) et ( $p=0,018$ ) respectivement et ce parallèlement à d'autres études (179), (196).

Une étude Pakistanaise a démontré qu'il existe un lien entre le niveau d'éducation et la connaissance des risques pour la santé ( $p = 0,032$ ) (179).

On s'attend généralement à ce que les anciens soudeurs soient plus conscients des dangers liés au soudage, mais dans notre étude il n'y a pas une relation significative entre l'ancienneté et la connaissance des risques, ce qui est concorde avec l'étude menée au Népal (201).

Une explication possible de ces résultats est liée au fait que les soudeurs ayant une grande expérience professionnelle ne reconnaissent pas l'exposition comme dangereuse après y avoir été exposés pendant de nombreuses années. Cependant, il est nécessaire d'effectuer des recherches plus approfondies.

Durant notre enquête, tous les soudeurs nous ont déclaré qu'ils n'ont jamais bénéficié de visites médicales, d'exams périodiques de contrôle ou de campagnes de sensibilisation des risques sur les dangers de l'exposition aux fumées de soudage. De ce fait, la mise en place de initiatives préventives est recommandée.

Tous les participants étaient attentifs et satisfaits de notre action de sensibilisation. Des brochures informatives réalisées en langue arabe ont été distribuées et expliquées aux soudeurs. Elles sont présentées en **annexe 3**.

## **Limites de l'étude :**

Au cours de notre travail nous étions confrontées aux contraintes suivantes :

- 1- Cette étude a été réalisée sur un petit échantillon de 30 soudeurs. Il s'agit d'une enquête préliminaire, ses résultats ne peuvent être généralisés sur l'ensemble de la population des soudeurs.
- 2- La durée de l'étude étant relativement courte ne nous a permis d'inclure un plus grand nombre de sujets.
- 3- La comparaison des résultats par rapport à un groupe témoin n'a pas été effectuée en raison des contraintes de faisabilité et de disponibilité du spiromètre.
- 4- Un biais de mémorisation peut avoir lieu dans cette étude, les données sur l'exposition, l'utilisation des moyens de protections et les accidents de travail étaient auto-déclarées et qu'il est donc possible que les participants surestiment ou sous-estiment certains comportements.
- 5- Certains soudeurs ont été exclus de l'étude vu qu'ils n'ont pas réussi à faire correctement le test spirométrique.
- 6- De nombreux soudeurs ont refusé de participer à notre étude.
- 7- L'existence des ateliers de soudage dans des impasses et des endroits inaccessibles a limité de les atteindre.

## CONCLUSION

Le métier de soudeur expose les travailleurs à un risque élevé d'exposition aux substances toxiques métalliques, gazeuses et aux rayonnements.

Dans notre étude, les bilans de la spirométrie chez les soudeurs exposés aux fumées de soudage ont montré une diminution des fonctions respiratoires mais ces résultats doivent être complétés par d'autres tests et examens médicaux chez un nombre plus élevé et en prenant en considération un groupe témoin afin de pouvoir tirer des conclusions généralisées.

Malgré l'utilisation des moyens de protection individuelle et la formation préalable des soudeurs de notre échantillon, les risques d'exposition et d'accidents de travail demeurent considérables vu l'absence de contrôles réguliers et de surveillance périodique.

Alors que plus de la moitié des soudeurs étaient des fumeurs, des efforts supplémentaires doivent être faits pour persuader les soudeurs d'arrêter de fumer car cela contribue à un risque accru de lésions pulmonaires.

Les soudeurs constituent une population très intéressante du point de vue de l'exposition aux substances toxiques et des risques sanitaires mais, malheureusement en Algérie, elle est mise à l'écart d'où l'intérêt d'une collaboration impérieuse et efficace des médecins de travail et de toxicologues dans l'intention d'une investigation plus pertinente et d'un suivi plus adéquat chez cette catégorie d'ouvriers.

De ce fait nous proposons les recommandations suivantes :

- La surveillance biomédicale et toxicologique des soudeurs à travers des visites sur terrain. En effet, l'intervention de la médecine du travail est nécessaire en raison de son grand rôle préventif dans l'analyse des risques professionnels. Les soudeurs doivent subir des examens médicaux périodiques pour la détection précoce des maladies et la mise en place d'une prise en charge efficace ce qui contribue à améliorer le pronostic et à augmenter les chances de guérison.
- La réalisation des examens d'embauche afin d'écarter les sujets à haut risque (comme les asthmatiques).
- Le suivi des lésions pulmonaires et oculaires par des examens plus approfondis comme la radiographie et les examens ophtalmologiques.

- La mise en place d'un comité de contrôle compétant pour inspecter et vérifier l'adhérence à l'utilisation judicieuse et efficace des moyens de protection individuelle et la bonne ventilation.
- L'adaptation de l'éducation professionnelle par la réalisation des visites d'information, des campagnes efficaces de sensibilisation ainsi que la formation continue à sécurité des travailleurs.
- L'application rigoureuse des lois relatives à la santé et la sécurité au travail chez les soudeurs.
- La promotion de la santé et de la sécurité des soudeurs en milieu du travail par les organisations syndicales en Algérie et leur mise en avant par les agences de santé publique qui peuvent faire de cette question une priorité.

**Perspectives :**

-Élaboration des études périodiques et longitudinales portant sur une population plus large des soudeurs afin d'avoir des résultats concluants avec d'autres tests complémentaires.

-Optimiser la collaboration entre la médecine de travail et la toxicologie professionnelle au CHU Tlemcen.

Enfin, nous espérons que ce travail va apporter de plus à la littérature existante et que nos résultats vont permettre d'établir une base pour les prochaines études.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Mater G. Caractérisation des mesures d'exposition à des produits chimiques dans les bases de données françaises COLCHIC et SCOLA pour la prévention des maladies professionnelles [Internet] [phdthesis]. Université de Lorraine; 2016 [cité 20 juin 2023]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-01529775>
2. Soudage de métaux - Votre métier - INRS [Internet]. [cité 20 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/metiers/soudage-metal.html>
3. Jr RWM. Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy. John Wiley & Sons; 2008. 689 p.
4. Caroline Godin ing. prévention pour le soudage et le coupage-Guide-. Bibl Natl Qué Bibl Natl Can. 2018;
5. Lima B. TOXICITE PULMONAIRE DES PARTICULES ULTRAFINES DE FUMÉES DE SOUDAGE : ETUDE IN VITRO ET ROLE DES FACTEURS EPIGENETIQUES. 2019;
6. Blandin M, Pachura S, Magot D, Staudt JP. Un outil d'aide à l'évaluation du risque chimique par inhalation pour l'activité de soudage. Arch Mal Prof Environ. avr 2018;79(2):147-59.
7. Riccelli MG, Goldoni M, Poli D, Mozzoni P, Cavallo D, Corradi M. Welding Fumes, a Risk Factor for Lung Diseases. Int J Environ Res Public Health. janv 2020;17(7):2552.
8. de l'Anses A. Travaux exposant aux fumées de soudage à inscrire à la liste des substances, mélanges et procédés cancérigènes. 2022;
9. Matra M, Guida F, Cenée S, Févotte J, Luce D, Stücker I. Cancer broncho-pulmonaire et exposition professionnelle aux fumées de soudage. Rev DÉpidémiologie Santé Publique. sept 2014;62:S199-200.
10. Jeffus L. Welding. 7<sup>e</sup> éd. Cengage Learning; 2011. 978 p.
11. S. B. METALLURGIE DU SOUDAGE ET CONTROLES. 2019.
12. Fethi MS, Mohamed MR. Procédés et matériels de soudage. 2019;
13. soudage B canadien de, Bureau CW. Welding for Design Engineers. CWB; 2006. 518 p.
14. Metallurgy and Mechanics of Welding: Processes and Industrial Applications [Internet]. Wiley-ISTE; 2008 [cité 28 janv 2023]. Disponible sur: <http://gen.lib.rus.ec/book/index.php?md5=718b5d0e4f47207856835e8de5a33573>
15. Mezrag B. Study of the influence of welding parameters on the microstructure and the mechanical behavior of steel-aluminum joints obtained by arc welding MIG-CMT [Internet] [phdthesis]. Université Montpellier ; Université Abou Bekr Belkaid (Tlemcen,

- Algérie); 2015 [cité 26 janv 2023]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-01244380>
16. Abdullahi IL, Sani A. Welding fumes composition and their effects on blood heavy metals in albino rats. *Toxicol Rep.* 2020;7:1495-501.
  17. Ricaud M. Les fumées de soudage et des techniques connexes.
  18. Kendzia B, Koppisch D, Van Gelder R, Gabriel S, Zschiesche W, Behrens T, et al. Modelling of exposure to respirable and inhalable welding fumes at German workplaces. *J Occup Environ Hyg.* juin 2019;16(6):400-9.
  19. Soudage de métaux - Votre métier - INRS [Internet]. [cité 17 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/metiers/soudage-metal.html>
  20. Grashow R, Zhang J, Fang SC, Weisskopf MG, Christiani DC, Cavallari JM. Toenail Metal Concentration as a Biomarker of Occupational Welding Fume Exposure. *J Occup Environ Hyg.* 3 juin 2014;11(6):397-405.
  21. Al salhen K. Assessment Of Oxidative Stress, Haematological, Kidney And Liver Function Parameters Of Libyan Cement Factory Workers. 2015.
  22. THE IMPACT OF EXPOSURE TO CEMENT DUST ON THE PARAMETERS OF OXIDATIVE STRESS AMONG CEMENT PLANT WORKERS | Global Journal of Public Health Medicine. 1 mars 2022 [cité 3 juill 2023]; Disponible sur: <https://www.gjphm.org/index.php/gjphm/article/view/142>
  23. Darabi F, Keshavarzi M, Abdullah MN, Dehghani F, Khanjani N, yousefinejad S, et al. Evaluation of oxidative stress and biochemical biomarkers, and psychological parameters in cement plant workers. *Toxicol Ind Health.* 1 janv 2022;38(1):29-40.
  24. Pournourmohammadi S, Khazaeli P, Eslamizad S, Tajvar A, Mohammadirad A, Abdollahi M. Study on the oxidative stress status among cement plant workers. *Hum Exp Toxicol.* 1 juin 2008;27(6):463-9.
  25. Chifman J, Laubenbacher R, Torti SV. A Systems Biology Approach to Iron Metabolism. In: Corey SJ, Kimmel M, Leonard JN, éditeurs. *A Systems Biology Approach to Blood* [Internet]. New York, NY: Springer New York; 2014 [cité 5 mai 2023]. p. 201-25. (Advances in Experimental Medicine and Biology; vol. 844). Disponible sur: [https://link.springer.com/10.1007/978-1-4939-2095-2\\_10](https://link.springer.com/10.1007/978-1-4939-2095-2_10)
  26. Casjens S, Henry J, Rihs HP, Lehnert M, Raulf-Heimsoth M, Welge P, et al. Influence of welding fume on systemic iron status. *Ann Occup Hyg.* nov 2014;58(9):1143-54.

27. Bhuyan S. Fenton Reaction: Definition and Reagent [Internet]. Chemistry Learner. 2020 [cité 17 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.chemistrylearner.com/fenton-reaction.html>
28. Lucas D, Frachon I, Barnier A, Edy P, Tissot V, Dewitte JD, et al. [Pulmonary siderosis in a welder, diagnosis on unusual pneumopathy]. *Rev Mal Respir.* févr 2022;39(2):170-4.
29. Cosgrove MP. Pulmonary fibrosis and exposure to steel welding fume. *Occup Med.* 2015;65(9):706-12.
30. Doig AT, McLaughlin AIG. X Ray Appearances of the Lungs of Electric Arc Welders. *Lancet.* 1936;771-5.
31. INRS. Tableau des maladies professionnelles, Régime général tableau 44. 2018.
32. Lucas D, Frachon I, Barnier A, Edy P, Tissot V, Dewitte JD, et al. Pneumopathie atypique chez un soudeur : sidérose pulmonaire ? *Rev Mal Respir.* 1 févr 2022;39(2):170-4.
33. Akar E, Yildiz T, Atahan S. Pulmonary siderosis cases diagnosed with minimally invasive surgical technique: A retrospective analysis of 7 cases. *Ann Thorac Med.* 2018;13(3):163-7.
34. Fer (trioxyde de di-,fumées), en Fe - Valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) - Substances chimiques - INRS [Internet]. [cité 10 mai 2023]. Disponible sur: [https://www.inrs.fr/publications/bdd/vlep/SubstanceVLEPAG.html?refINRS=VLEP\\_SUBSTANCE\\_284](https://www.inrs.fr/publications/bdd/vlep/SubstanceVLEPAG.html?refINRS=VLEP_SUBSTANCE_284)
35. CDC - NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards - Iron oxide dust and fume (as Fe) [Internet]. [cité 10 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0344.html>
36. Azennoud S, Elyadari M, Zarrouki M, Harchali S, Elmerrouni S, Elibrahimi F, et al. La sidérose oculaire à propos d'un cas. 2017;
37. Kato K, Hirano K, Takashima Y, Sakamoto S, Kondo M. Histopathologic findings of perforated corneas due to ferric ion infiltration. *Can J Ophthalmol.* août 2015;50(4):322-7.
38. Mariani R, Pelucchi S, Paolini V, Belingheri M, di Gennaro F, Faverio P, et al. Prolonged exposure to welding fumes as a novel cause of systemic iron overload. *Liver Int.* 2021;41(7):1600-7.

39. Le fer et ses composés et effets sur la santé • Cancer Environnement [Internet]. Cancer Environnement. [cité 10 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.cancer-environnement.fr/fiches/expositions-environnementales/fer-et-ses-composes/>
40. Forsapre [Internet]. [cité 10 mai 2023]. FER - Fe - (Poussières et fumées). Disponible sur: [https://www.forsapre.fr/fiches\\_fan/fer-fe-poussieres-et-fumees](https://www.forsapre.fr/fiches_fan/fer-fe-poussieres-et-fumees)
41. Caroline Godin. prévention pour le soudage et le coupage [Internet]. 2018 [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://multiprevention.org/wp-content/uploads/2018/11/guide-multiprevention-soudage-coupage.pdf>
42. Velasquez J, Wray AA. Deferoxamine. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 [cité 11 mai 2023]. Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557654/>
43. Nordberg M, Nordberg GF. Metallothionein and Cadmium Toxicology—Historical Review and Commentary. *Biomolecules*. mars 2022;12(3):360.
44. Huo J, Dong A, Yan J, Wang L, Ma C, Lee S. Cadmium toxicokinetics in the freshwater turtle, *Chinemys reevesii*. *Chemosphere*. 1 sept 2017;182:392-8.
45. Genchi G, Sinicropi MS, Lauria G, Carocci A, Catalano A. The Effects of Cadmium Toxicity. *Int J Environ Res Public Health*. janv 2020;17(11):3782.
46. Faroon O, Ashizawa A, Wright S, Tucker P, Jenkins K, Ingerman L, et al. Toxicological Profile for Cadmium [Internet]. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2012 [cité 10 mai 2023]. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Toxicological Profiles). Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158838/>
47. Evaluation des indicateurs biologiques d'exposition et recommandation de valeurs limites biologiques et de valeurs biologiques de référence pour le cadmium et ses composés [Internet]. 2018 [cité 22 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/VLEP2007SA0425Ra-2.pdf>
48. Satarug S. Dietary Cadmium Intake and Its Effects on Kidneys. *Toxics*. 10 mars 2018;6(1):15.
49. Ruangyuttikarn W, Panyamoon A, Nambunmee K, Honda R, Swaddiwudhipong W, Nishijo M. Use of the kidney injury molecule-1 as a biomarker for early detection of renal tubular dysfunction in a population chronically exposed to cadmium in the environment. *SpringerPlus*. 17 oct 2013;2:533.
50. Gorriz JL, Martinez-Castelao A. Proteinuria: detection and role in native renal disease progression. *Transplant Rev Orlando Fla*. janv 2012;26(1):3-13.

51. Rafati Rahimzadeh M, Rafati Rahimzadeh M, Kazemi S, Moghadamnia A akbar. Cadmium toxicity and treatment: An update. *Casp J Intern Med.* 2017;8(3):135-45.
52. Taha MM, Mahdy-Abdallah H, Shahy EM, Ibrahim KS, Elserougy S. Impact of occupational cadmium exposure on bone in sewage workers. *Int J Occup Environ Health.* 2 oct 2018;24(3-4):101-8.
53. Kjellström T. Mechanism and epidemiology of bone effects of cadmium. *IARC Sci Publ.* 1992;(118):301-10.
54. Cosman F, De Beur SJ, LeBoff MS, Lewiecki EM, Tanner B, Randall S, et al. Clinician's Guide to Prevention and Treatment of Osteoporosis. *Osteoporos Int.* oct 2014;25(10):2359-81.
55. Mezynska M, Brzóška MM. Environmental exposure to cadmium—a risk for health of the general population in industrialized countries and preventive strategies. *Environ Sci Pollut Res.* févr 2018;25(4):3211-32.
56. Hartwig A. Cadmium and Cancer. In: Sigel A, Sigel H, Sigel RK, éditeurs. *Cadmium: From Toxicity to Essentiality* [Internet]. Dordrecht: Springer Netherlands; 2013 [cité 11 mai 2023]. p. 491-507. (Metal Ions in Life Sciences; vol. 11). Disponible sur: [http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-5179-8\\_15](http://link.springer.com/10.1007/978-94-007-5179-8_15)
57. Andujar P, Bensefa-Colas L, Descatha A. Intoxication aiguë et chronique au cadmium.
58. Bernhoft RA. Cadmium Toxicity and Treatment. *Sci World J.* 3 juin 2013;2013:e394652.
59. Barman T, Kalahasthi R, Rajmohan HR. Effects of lead exposure on the status of platelet indices in workers involved in a lead-acid battery manufacturing plant. *J Expo Sci Environ Epidemiol.* nov 2014;24(6):629-33.
60. Dobrakowski M, Boroń M, Czuba ZP, Birkner E, Chwalba A, Hudziec E, et al. Blood morphology and the levels of selected cytokines related to hematopoiesis in occupational short-term exposure to lead. *Toxicol Appl Pharmacol.* 15 août 2016;305:111-7.
61. Halmo L, Nappe TM. Lead toxicity. 2019;
62. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy Metal Toxicity and the Environment. In: Luch A, éditeur. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology* [Internet]. Basel: Springer Basel; 2012 [cité 8 mars 2023]. p. 133-64. (Experientia Supplementum; vol. 101). Disponible sur: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-7643-8340-4\\_6](http://link.springer.com/10.1007/978-3-7643-8340-4_6)
63. de Souza ID, de Andrade AS, Dalmolin RJS. Lead-interacting proteins and their implication in lead poisoning. *Crit Rev Toxicol.* 28 mai 2018;48(5):375-86.

64. Chung HK, Chang YS, Ahn CW. Effects of blood lead levels on airflow limitations in Korean adults: Findings from the 5th KNHNES 2011. *Environ Res.* janv 2015;136:274-9.
65. Pohl HR, Ingber SZ, Abadin HG. Historical View on Lead: Guidelines and Regulations. Sigel A, Sigel H, Sigel RKO, éditeurs. *Lead – Its Eff Environ Health.* 10 avr 2017;435-70.
66. Assi MA, Hezmee MNM, Haron AW, Sabri MY, Rajion MA. The detrimental effects of lead on human and animal health. *Vet World.* juin 2016;9(6):660-71.
67. Conterato GMM, Bulcão RP, Sobieski R, Moro AM, Charão MF, de Freitas FA, et al. Blood thioredoxin reductase activity, oxidative stress and hematological parameters in painters and battery workers: relationship with lead and cadmium levels in blood. *J Appl Toxicol JAT.* févr 2013;33(2):142-50.
68. Kshirsagar M, Patil J, Patil A, Ghanwat G, Sontakke D, Ayachit D. Biochemical Effects of Lead Exposure and Toxicity on Battery Manufacturing Workers of Western Maharashtra (India): With Respect to Liver and Kidney Function Tests. *Al Ameen J Med Sci* 2015 82 107-114. 1 avr 2015;8:107-14.
69. Mitra P, Sharma S, Purohit P, Sharma P. Clinical and molecular aspects of lead toxicity: An update. *Crit Rev Clin Lab Sci.* 17 nov 2017;54(7-8):506-28.
70. Khayra MZ. L'EFFET ANTIOXYDANT DE QUELQUES PLANTES MÉDICINALES SUR LA NEUROTOXICITÉ ET LES MALADIES NEURODÉGÉNÉRATIVES DUES AUX MÉTAUX LOURDS (ALUMINIUM ET PLOMB) [DOCTORAT EN SCIENCE]. Université Abdelhamid Ibn-Badis-Mostaganem; 2017.
71. Mason LH, Harp JP, Han DY. Pb Neurotoxicity: Neuropsychological Effects of Lead Toxicity. *BioMed Res Int.* 2 janv 2014;2014:e840547.
72. Steenland K, Barry V, Anttila A, Sallmen M, Mueller W, Ritchie P, et al. Cancer incidence among workers with blood lead measurements in two countries. *Occup Environ Med.* sept 2019;76(9):603-10.
73. IARC. Inorganic and Organic Lead Compounds [Internet]. [cité 22 avr 2023]. Disponible sur: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Inorganic-And-Organic-Lead-Compounds-2006>
74. Michaels RA. Legacy Contaminants of Emerging Concern: Lead (Pb), Flint (MI), and Human Health. *Environ Claims J.* 2 janv 2020;32(1):6-45.

75. Abadin H, Taylor J, Buser MC, Scinicariello F, Przybyla J, Klotzbach JM, et al. Toxicological profile for lead: draft for public comment. 2019;
76. Lentini P, Zanolli L, De Cal M, Granata A, Dell'Aquila R. Lead and Heavy Metals and the Kidney. In: *Critical Care Nephrology* [Internet]. Elsevier; 2019 [cité 7 mai 2023]. p. 1324-1330.e1. Disponible sur: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780323449427002223>
77. Béquet D. La toxicité neurologique de l'aluminium.
78. Benhamimid H, Boudaoud C, Boussekine R, Bouziane M, Kheroufi A, Ksier D, et al. Impact de l'aluminium sur la santé humaine. 2022;
79. Mt C, F PS. Aluminum and Alzheimer's Disease. *Adv Neurobiol* [Internet]. 2017 [cité 7 mai 2023];18. Disponible sur: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28889268/>
80. Exley C. The toxicity of aluminium in humans. *Morphologie*. juin 2016;100(329):51-5.
81. Exley C. Human exposure to aluminium. *Environ Sci Process Impacts*. oct 2013;15(10):1807-16.
82. INRS. Aluminium et ses composés minéraux. 2021.
83. ATSDR. TOXICOLOGICAL PROFILE FOR ALUMINUM [Internet]. 2008 [cité 8 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp22.pdf>
84. Kumar V, Gill KD. Oxidative stress and mitochondrial dysfunction in aluminium neurotoxicity and its amelioration: a review. *Neurotoxicology*. mars 2014;41:154-66.
85. Klotz\* K, Weistenhöfer\* W, Neff F, Hartwig A, van Thriel C, Drexler H. The Health Effects of Aluminum Exposure. *Dtsch Ärztebl Int*. sept 2017;114(39):653-9.
86. Riihimäki V, Aitio A. Occupational exposure to aluminum and its biomonitoring in perspective. *Crit Rev Toxicol*. nov 2012;42(10):827-53.
87. IARC. Chemical Agents and Related Occupations [Internet]. [cité 8 mai 2023]. Disponible sur: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Chemical-Agents-And-Related-Occupations-2012>
88. Rahimzadeh MR, Rahimzadeh MR, Kazemi S, Amiri RJ, Pirzadeh M, Moghadamnia AA. Aluminum Poisoning with Emphasis on Its Mechanism and Treatment of Intoxication. *Emerg Med Int*. 11 janv 2022;2022:1480553.
89. Oller AR, Oberdörster G, Seilkop SK. Derivation of PM10 size-selected human equivalent concentrations of inhaled nickel based on cancer and non-cancer effects on the respiratory tract. *Inhal Toxicol*. août 2014;26(9):559-78.

90. Samal L, Mishra C. Significance of Nickel in Livestock Health and Production. *Int J Agro Vet Med Sci.* 1 janv 2011;5:349.
91. Kumar S, Trivedi AV. A Review on Role of Nickel in the Biological System. *Int J Curr Microbiol Appl Sci.* 10 mars 2016;5(3):719-27.
92. Buxton S, Garman E, Heim KE, Lyons-Darden T, Schlekat CE, Taylor MD, et al. Concise Review of Nickel Human Health Toxicology and Ecotoxicology. *Inorganics.* juill 2019;7(7):89.
93. Nickel Reference Exposure Levels. *Off Environ Health HAZARD Assess.* févr 2012;
94. Nickel et composés (\*) (FT 68). Généralités - Fiche toxicologique - INRS [Internet]. 2021 [cité 12 mai 2023]. Disponible sur: [https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_68](https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_68)
95. Das KK, Reddy RC, Bagoji IB, Das S, Bagali S, Mullur L, et al. Primary concept of nickel toxicity – an overview. *J Basic Clin Physiol Pharmacol.* 1 mars 2019;30(2):141-52.
96. Kim D, Kim AR, Kim H, Lee S, Seo B, Suh HS, et al. Nickel dust-induced occupational contact dermatitis by welding and grinding work in shipyard workers: a report of nine cases. *Ann Occup Environ Med.* 2022;34:e7.
97. Humans IWG on the E of CR to. Arsenic, Metals, Fibres and Dusts. International Agency for Research on Cancer; 2012.
98. Genchi G, Carocci A, Lauria G, Sinicropi MS, Catalano A. Nickel: Human Health and Environmental Toxicology. *Int J Environ Res Public Health.* janv 2020;17(3):679.
99. Bouchard MM. Revue toxicologique de l'encadrement réglementaire de l'industrie du nickel pour le volet air ambiant.
100. Benoit SL, Schmalstig AA, Glushka J, Maier SE, Edison AS, Maier RJ. Nickel chelation therapy as an approach to combat multi-drug resistant enteric pathogens. *Sci Rep.* 25 sept 2019;9(1):13851.
101. Criteria for a recommended standard: occupational exposure to hexavalent chromium. [Internet]. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health; 2013 janv [cité 24 févr 2023]. Disponible sur: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/2013-128/>
102. Chatterjee S. Chromium Toxicity and its Health Hazards. *Int J Adv Res.* 1 juill 2015;Volume 3:167-72.

103. Remy A, Jacoby N, Robert A, Wild P. Biométrie des expositions professionnelles au chrome hexavalent et à ses composés [PhD Thesis]. Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS); 2018.
104. Anselmetti J. Étude de l'exposition professionnelle au chrome dans une aciérie produisant des aciers inoxydables [PhD Thesis]. Thèse de Doctorat. Médecine humaine et pathologie. Université de Grenoble ...; 2017.
105. Chen P. Manganese metabolism in humans. *Front Biosci.* 2018;23(9):1655-79.
106. Chen P, Chakraborty S, Mukhopadhyay S, Lee E, Paoliello MMB, Bowman AB, et al. Manganese homeostasis in the nervous system. *J Neurochem.* août 2015;134(4):601-10.
107. Williams M, Todd GD, Roney N, Crawford J, Coles C, McClure PR, et al. Toxicological Profile for Manganese [Internet]. Atlanta (GA): Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US); 2012 [cité 4 avr 2023]. (Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) Toxicological Profiles). Disponible sur: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK158872/>
108. Bevan R, Ashdown L, McGough D, Huici-Montagud A, Levy L. Setting evidence-based occupational exposure limits for manganese. *NeuroToxicology.* janv 2017;58:238-48.
109. Martínez-Mier EA. Fluoride: Its Metabolism, Toxicity, and Role in Dental Health. *J Evid-Based Complement Altern Med.* 1 janv 2012;17(1):28-32.
110. Aouissi K, Belmahi H. LA FLUOROSE : TOXICITE ET PREVENTION. 2018.
111. Fluor (FT 203). Généralités - Fiche toxicologique - INRS [Internet]. [cité 14 avr 2023]. Disponible sur: [https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_203](https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_203)
112. dinuoscio C. FLUORINE [Internet]. ACGIH. 2022 [cité 14 avr 2023]. Disponible sur: <https://www.acgih.org/fluorine/>
113. Tisseuil R. Le fluor: action, toxicités et sources [PhD Thesis]. 2017.
114. Kahlson MA, Dixon SJ. Copper-induced cell death. *Science.* 18 mars 2022;375(6586):1231-2.
115. INRS. Cuivre et composés. 2013.
116. Wahlqvist F, Bryngelsson IL, Westberg H, Vihlborg P, Andersson L. Dermal and inhalable cobalt exposure-Uptake of cobalt for workers at Swedish hard metal plants. *PLoS One.* 2020;15(8):e0237100.
117. Leysens L, Vinck B, Van Der Straeten C, Wuyts F, Maes L. Cobalt toxicity in humans— A review of the potential sources and systemic health effects. *Toxicology.* juill 2017;387:43-56.

118. INRS. Cobalt et composés minéraux. 2022.
119. Permissible Exposure Limits – OSHA Annotated Table Z-1 | Occupational Safety and Health Administration [Internet]. [cité 17 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.osha.gov/annotated-pels/table-z-1>
120. On Health Are welders being exposed to harmful levels of zinc oxide?: A Q&A with Dr. Christian Monsé [Internet]. 2018 [cité 17 mai 2023]. Disponible sur: <https://blogs.biomedcentral.com/on-health/2018/02/12/are-welders-being-exposed-to-harmful-levels-of-zinc-oxide-a-qa-with-dr-christian-monse/>
121. INRS. Zinc et composés minéraux. 2020.
122. INERIS. Zinc et principaux composés. 2015.
123. dinuoscio C. ZINC OXIDE [Internet]. ACGIH. 2022 [cité 17 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.acgih.org/zinc-oxide/>
124. Paillat A, Bernaudin JF, Brochard P, Cavalin C, Dewitte JD, Fourneau C, et al. Caractérisation des expositions professionnelles à la silice cristalline–expertise Anses. Arch Mal Prof Environ. 1 oct 2020;81(5):675.
125. Hoy RF, Chambers DC. Silica-related diseases in the modern world. Allergy. nov 2020;75(11):2805-17.
126. The Lancet Respiratory Medicine null. The world is failing on silicosis. Lancet Respir Med. avr 2019;7(4):283.
127. Li T, Yang X, Xu H, Liu H. Early Identification, Accurate Diagnosis, and Treatment of Silicosis. Can Respir J. 25 avr 2022;2022:3769134.
128. Koller M, Jost M, Miedinger D, Stadtmüller K, Blättler M. Risques pour la santé dus au soudage. Factsheet Suva. avr 2013;
129. Hamida T. Protection vis-à-vis du feu des ouvrages souterrains. 2014.
130. Feeder W, Welding FCF. Handler 210 MVP And H100S4-10 Gun. avr 2018;
131. Marie-Josée Ross ing. La sécurité reliée à l'électricité. Compr Prévenir 2 E Édition. 2011;
132. Lamien B, Le Maux D, Courtois M, Pierre T, Carin M, Le Masson P, et al. Développement d'un dispositif expérimental pour la caractérisation de métaux autour du point de fusion par lévitation aérodynamique. 2018.
133. Robert L, Turpin-Legendre E, Shettle J, Tissot C, Aubry C, Bernard S. Travailler dans une ambiance thermique chaude. Réf En Santé Au Trav. 28 juin 2019;158(158):31.

134. Taoussi AA, Yassine AA. Facteurs prédictifs de la surdité professionnelle induite par le bruit chez les travailleurs des centrales électriques. *J Tunis ORL Chir Cerv-Fac.* 2022;30-4.
135. Hafsia M, Brahem A, Riahi S, Aloui A, Gaddour A, Aroui H, et al. Exposition professionnelle au bruit et risque d'hypertension artérielle. *Arch Mal Prof Environ.* mai 2018;79(3):424.
136. Makopa Kenda I, Agoub M, Ahami AOT. Les effets du bruit sur la santé mentale : recension des écrits. *Santé Ment Au Qué.* 2014;39(2):169-81.
137. Piotrowski A, Guilloso G. Effets extra-auditifs du bruit. 2019;
138. Cougnard-Gregoire A, Delcourt C. Expositions professionnelles aux rayons ultraviolets solaires et risque de cancers cutanés et de pathologies oculaires. *Univ Bordx Inserm Bordx Popul Health Res Cent UMR 1219 Bordx Fr.*
139. Falcone LM, Zeidler-Erdely PC. Skin cancer and welding. *Clin Exp Dermatol.* mars 2019;44(2):130-4.
140. Maiolo E. Bénéfices et dangers du rayonnement solaire et de sa composante ultraviolette: de l'utilisation médicale aux nouvelles habitudes de loisirs [PhD Thesis]. Thèse présentée le 30 Septembre 2013, Université de Lorraine; 2013.
141. Renard G, Leid J. Les dangers de la lumière bleue : la vérité ! *J Fr Ophtalmol.* mai 2016;39(5):483-8.
142. Torriglia A, Mascarelli F, Behar-Cohen F. Les nouveaux éclairages et nos yeux. *médecine/sciences.* août 2020;36(8-9):769-73.
143. Santé et Sécurité au Travail [Internet]. [cité 20 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.mtess.gov.dz/fr/sante-et-securite-au-travail/>
144. Persoons R. Biomonitoring de l'exposition aux métaux : stratégies pour le médecin du travail. *Arch Mal Prof Environ.* 1 oct 2020;81(5):701.
145. Nejadkoorki F. Current Air Quality Issues. *BoD – Books on Demand;* 2015. 658 p.
146. Sushma D. A STUDY OF RESPIRATORY FUNCTIONS AMONG CEMENT FACTORY WORKERS EXPOSED TO CEMENT DUST. 2019;9(7).
147. Fischberg S, Motamed S, Janssens JP. Pratique et interprétation de la spirométrie au cabinet du médecin de premier recours. *Rev Med Suisse.* 23 sept 2009;218(34):1882-9.
148. Sigrist T. Exploration de la fonction pulmonaire par spirométrie. 2018 182627. 27 juin 2018;18(2627):555-62.
149. Pathak MA, Fire H. Occupational Health & Safety in Cement industries. 2019;2(4).

150. Oliveira O. Comment concilier la prévention liée aux fumées de soudage et la mise en oeuvre de technologies prototypiques dans un environnement contraint? Fac Pharm Aix-Marseille [Internet]. 11 oct 2017; Disponible sur: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01614668>
151. Persoons R. Etude des méthodes et modèles de caractérisation de l'exposition atmosphérique aux polluants chimiques pour l'évaluation des risques sanitaires [Internet] [phdthesis]. Université Grenoble Alpes; 2011 [cité 2 mai 2023]. Disponible sur: <https://theses.hal.science/tel-00747456>
152. Monitoring Exposure to Welding Fume – Breathe Freely [Internet]. [cité 3 mai 2023]. Disponible sur: <http://breathe-freely.wabbajack.co.uk/monitoring-exposure-to-welding-fume-2/>
153. Passeron J, Truchon G, Pillière F, Hoet P, Berode M, Bijaoui A, et al. La veille bibliographique. Partie 1, Un élément de surveillance. *Trav Santé*. 2014;30(2):36-40.
154. Mistretta V, Charlier C. Biomonitoring of exposure to chemical products in environmental and workplace toxicology. *Ann Biol Clin (Paris)*. 1 mai 2013;71(3):257-67.
155. Stanislawska M, Janasik B, Kuras R, Malachowska B, Halatek T, Wasowicz W. Assessment of occupational exposure to stainless steel welding fumes – A human biomonitoring study. *Toxicol Lett*. 1 sept 2020;329:47-55.
156. Répertoire des analyses du laboratoire de toxicologie - Janvier 2005.
157. Gagné S. Guide de prélèvement des échantillons biologiques. févr 2019;
158. Organisation, mondiale de la Santé. Guide succinct des méthodes de dosage du plomb dans le sang Deuxième édition. 2020 [cité 14 juin 2023]; Disponible sur: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/333452/9789240008342-fre.pdf>
159. Poddalgoda D, Hays SM, Kirman C, Chander N, Nong A. Derivation of Biomonitoring Equivalents for aluminium for the interpretation of population-level biomonitoring data. *Regul Toxicol Pharmacol*. 1 juin 2021;122:104913.
160. Organisation mondiale de la Santé, Programme interorganisations pour la gestion rationnelle des produits chimiques. Guide succinct des méthodes de dosage du plomb dans le sang [Internet]. Brief guide to analytical methods for measuring lead in blood. Genève: Organisation mondiale de la Santé; 2013 [cité 14 juin 2023]. 16 p. Disponible sur: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/77915>
161. Poupon J. Spectrométrie de masse en plasma induit : principe, appareillage et intérêt en biologie clinique. *Rev Francoph Lab*. juin 2021;2021(533):55-63.

162. Wilschefski SC, Baxter MR. Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: Introduction to Analytical Aspects. Clin Biochem Rev. août 2019;40(3):115-33.
163. Diaby V. Etudes biochimique, hématologique et histologique du sulfate de cadmium chez les rats WISTAR [Internet] [phdthesis]. UNIVERSITE FELIX HOUPHOUETBOIGNY; 2017 [cité 16 juin 2023]. Disponible sur: <https://hal.science/tel-02437288>
164. Avis de l'Anses. Evaluation des indicateurs biologiques d'exposition et recommandation de valeurs limites biologiques et de valeurs biologiques de référence pour le cadmium et ses composés [Internet]. 2018 juill [cité 10 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/VLEP2007SA0425Ra.pdf>
165. INRS. Fer et composés. 2016.
166. Avis de l'Anses. Valeurs biologiques d'exposition en milieu professionnel. Le plomb et ses composés inorganiques [Internet]. 2019 juill [cité 15 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/VLEP2013SA0042.pdf>
167. INRS. Aluminium et composés. 2023.
168. Nickel et composés (7440-02-0) / Nickel urinaire - Biotox - INRS [Internet]. [cité 15 juin 2023]. Disponible sur: [https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox/dosage.html?refINRS=Dosage\\_47](https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox/dosage.html?refINRS=Dosage_47)
169. Avis de l'Anses. Évaluation des indicateurs biologiques d'exposition et recommandation de valeurs biologiques pour le Chrome VI et ses composés. [Internet]. 2017 févr [cité 15 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/VLEP2007SA0430Ra.pdf>
170. INRS. Cuivre et composés. 2022.
171. INRS. Zinc et composés. oct 2022;
172. ANSES. Valeurs limites d'exposition en milieu professionnel , Cobalt [Internet]. 2018 [cité 15 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.anses.fr/fr/system/files/VLEP2007SA0431Ra.pdf>
173. Soudage de métaux - Votre métier - INRS [Internet]. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.inrs.fr/metiers/soudage-metal.html>
174. Akhter M, Begum M, Akhter S, Datta A, Islam N, Chowdhury R. Effects of Exposure to Cement Dust on lung function among Cement Factory Workers: Lung function of cement factory workers. Bangladesh Med Res Counc Bull. 2021;47(2):199-204.
175. Ndinwa GCC, Chukumah CO, Akpafun SA. Occupational Health Exposure and Perceived Effects of Portland Cement Dust Pollution on Cement Factory Workers. J Atmosphere. 25 févr 2020;3(1):1-14.

176. Ibrahim RH, Ramadhan AF. The Health of Workers in Cement Factory: Evaluation of Lung Function. 2022;
177. Prevention O. Equipements Individuels de Protection du soudeur [Internet]. [cité 4 mai 2023]. Disponible sur: <https://www.officiel-prevention.com/dossier/formation/fiches-metier/equipements-individuels-de-protection-du-soudeur>
178. Faomowe Foko R, Diaw M, Cabral M, Toure A, Mbengue B, Sow AK, et al. Évaluation des troubles ventilatoires des soudeurs métalliques de la région de Dakar, Sénégal. Environ Risques Santé. 2018;17(3):294-9.
179. Hassan SM, Nasir U, Anwar K, Talib U. An assessment of the level of awareness and reported complaints regarding occupational health hazards and the utilization of personal protective equipments among the welders of Lahore, Pakistan. Int J Occup Environ Health. avr 2017;23(2):98-109.
180. Hachi AA, Ben Hamidouche N, Enca/ BENKHARBECHÉ H. ÉTUDE COMPARATIVE SUR LE SOUDAGE À L'ARC ÉLECTRIQUE AVEC ÉLECTRODE ENROBÉE(SMAW) ET AVEC ÉLECTRODE RÉFRACTAIRE(GTAW) [Internet] [Thesis]. university of M'sila; 2021 [cité 4 juill 2023]. Disponible sur: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/26517>
181. Petersson Sjögren M, Kåredal M, Broberg K, Assarsson E, Thuresson S, Dierschke K, et al. Sensitive methods for assessment of lung health in welders and controls. Respir Med. juin 2023;212:107244.
182. Taiwo OA. Diffuse parenchymal diseases associated with aluminum use and primary aluminum production. J Occup Environ Med. mai 2014;56(5 Suppl):S71-72.
183. Rehman HU. Acute dyspnea in a welder. J Emerg Med. sept 2013;45(3):408-10.
184. Al-Otaibi ST. Respiratory health of a population of welders. J Fam Community Med. 2014;21(3):162-5.
185. Mehrifar Y, Zamanian Z, Pirami H. Respiratory Exposure to Toxic Gases and Metal Fumes Produced by Welding Processes and Pulmonary Function Tests. Int J Occup Environ Med. 1 janv 2019;10(1):40-9.
186. Ithnin A, Zubir A, Awang N, Mohamad Sulaiman NN. Respiratory Health Status of Workers that Exposed to Welding Fumes at Lumut Shipyard. Pak J Biol Sci PJBS. janv 2019;22(3):143-7.
187. Gawre VV, Chaudhari S, Doiphode R, Gore C, Khedkar SK. Preliminary study of spirometric evaluation of lung functions in Arc Welding Workers. Indian J Clin Anat Physiol.

188. Understanding Your Spirometry Test Results [Internet]. [cité 4 juill 2023]. Disponible sur: [https://www.1stclassmed.com/blog/understanding-your-spirometry-test-results?fbclid=IwAR0BEXNKZGgMVYosGIQA1JBTCPWiRtbXKfAYYxl7xiNbTfW-mtySFUf\\_eQc](https://www.1stclassmed.com/blog/understanding-your-spirometry-test-results?fbclid=IwAR0BEXNKZGgMVYosGIQA1JBTCPWiRtbXKfAYYxl7xiNbTfW-mtySFUf_eQc)
189. Pouryaghoub G, Nazem E, Mehrdad R, Saraei M, Eftekhari S. Effects of Simultaneous Exposure to Smoking and Welding Fume on Pulmonary Function Tests in Spot Welders. *Tanaffos*. janv 2021;20(1):64-70.
190. Pouryaghoub G, Nazem E, Mehrdad R, Saraei M, Eftekhari S. Effects of Simultaneous Exposure to Smoking and Welding Fume on Pulmonary Function Tests in Spot Welders. *Tanaffos*. janv 2021;20(1):64-70.
191. Golbabaei F, Khadem M, Ghahri A, Babai M, Hosseini M, Seyedsomea M, et al. Pulmonary functions of welders in gas transmission pipelines in Iran. *Int J Occup Saf Ergon JOSE*. 2013;19(4):647-55.
192. Qin J, Liu W, Zhu J, Weng W, Xu J, Ai Z. Health Related Quality of Life and Influencing Factors among Welders. Sun Q, éditeur. *PLoS ONE*. 21 juill 2014;9(7):e101982.
193. Tenkate TD. Ocular ultraviolet radiation exposure of welders. *Scand J Work Environ Health*. 2017;43(3):287-8.
194. Thiam Y. Les atteintes oculaires chez les soudeurs dans le district de Bamako [Internet] [Thesis]. Université des Sciences, des Techniques et des Technologies de Bamako; 2020 [cité 30 juin 2023]. Disponible sur: <https://www.bibliosante.ml/handle/123456789/4135>
195. Jiang XX, Wang QG, Shi JP, Ma LJ, Yang YZ, Li N. [The effect of welding ultraviolet on the antioxidant function and DNA of workers]. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi Zhonghua Laodong Weisheng Zhiyebing Zazhi Chin J Ind Hyg Occup Dis*. 20 juin 2020;38(6):416-20.
196. Budhathoki SS, Singh SB, Sagtani RA, Niraula SR, Pokharel PK. Awareness of occupational hazards and use of safety measures among welders: a cross-sectional study from eastern Nepal. *BMJ Open*. 2 juin 2014;4(6):e004646.
197. Nalugya A, Kiguli J, Wafula ST, Nuwematsiko R, Mugambe RK, Oputan P, et al. Knowledge, attitude and practices related to the use of personal protective equipment among welders in small-scale metal workshops in Nansana Municipality, Wakiso District, Uganda. *Health Psychol Behav Med*. 2022;10(1):731-47.

198. Eze BI, Okoye O, Aguwa EN. Awareness and Utilization of Welders' Personal Protective Eye Devices and Associated Factors: Findings and Lessons From a Nigerian Population. *Workplace Health Saf.* avr 2015;63(4):170-8.
199. Dev M, Bhardwaj A. Respiratory symptoms and spirometric abnormalities among welders in the welding workplace of the Indian unorganized sector. *Work Read Mass.* 2021;69(3):885-94.
200. Nalugya A, Kiguli J, Wafula ST, Nuwematsiko R, Mugambe RK, Oputan P, et al. Knowledge, attitude and practices related to the use of personal protective equipment among welders in small-scale metal workshops in Nansana Municipality, Wakiso District, Uganda. *Health Psychol Behav Med.* 2022;10(1):731-47.
201. Budhathoki SS, Singh SB, Sagtani RA, Niraula SR, Pokharel PK. Awareness of occupational hazards and use of safety measures among welders: a cross-sectional study from eastern Nepal. *BMJ Open.* 2 juin 2014;4(6):e004646-e004646.

# **ANNEXES**

## **Annexe 1**

**—Loi n° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail.**

**Article 1.** — La présente loi a pour objet de définir les voies et les moyens ayant pour but d'assurer aux travailleurs les meilleures conditions en matière d'hygiène, de sécurité et de médecine du travail, et de désigner les personnes responsables et organismes employeurs chargés de l'exécution des mesures prescrites.

**Art. 5.** — Les établissements, les locaux affectés au travail, leurs dépendances et leurs annexes doivent être conçus, aménagés et entretenus de manière à garantir la sécurité des travailleurs. Ils doivent notamment, répondre aux nécessités suivantes :

— garantir la protection contre les fumées, vapeurs dangereuses, gaz toxiques et bruits, et toute autre nuisance.

**Art.12.** — La protection de la santé des travailleurs par la médecine du travail est partie intégrante de la politique nationale de santé.

**Art.14.** —La médecine du travail s'exerce sur les lieux mêmes du travail.

**Art.19.** — L'instruction, l'information et la formation relatives aux risques professionnels constituent une obligation qui s'impose à l'organisme employeur.

**Art.20.** — Les règles générales d'hygiène et de sécurité relatives aux risques professionnels doivent être incluses dans les programmes d'enseignement et de formation professionnelle.

**Art.31.** —Le contrôle de l'application de la législation en matière d'hygiène, de sécurité et de médecine du travail est dévolu à l'inspection de travail, conformément à ses attributions.

**—Décret exécutif n°93-120 du 15 mai 1993 relatif à l'organisation de la médecine du travail.**

**—Arrêté ministériel du 2 avril 1995 fixant la convention type relative à la médecine du travail établie entre l'organisme employeur et le secteur sanitaire ou la structure compétente ou le médecin habilité.**

**–Décret exécutif no 02-427 du 7 décembre 2002 relatif aux conditions d'organisation de l'instruction, de l'information et de la formation des travailleurs dans le domaine de la prévention des risques professionnels.**

**–Décret exécutif n° 05-08 du 8 janvier 2005 relatif aux prescriptions particulières applicables aux substances, préparations ou produits dangereux en milieu de travail.**

**–Décret exécutif n° 05-09 du 8 janvier 2005 relatif aux commissions paritaires et aux préposés à l'hygiène et à la sécurité.**



## Annexe 2

### Évaluation de la fonction respiratoire par spirométrie chez les soudeurs métalliques libéraux dans la ville de Tlemcen, Algérie 2022-2023

Numéro de la fiche :.....

-Sexe :.....Masculin .....Féminin

-Adresse actuelle :.....

-Age (ans) : ..... Poids(kg) : ..... Taille(cm) :.....

-Niveau d'étude :.....

-Statut matrimonial Primaire .....CEM..... .....Lycée..... ..... Université

-Tabagisme : :.....Oui ..... Non

Si oui : ..... Ancien fumeur ...Fumeur actuel

Nombre de cigarettes par jour.....

-Consommation d'alcool : ..... Oui .....Non

-Consommation des drogues : ..... Oui .....Non

-Faites-vous du sport ?..... Oui ..... Non

Si oui quel type de sport.....

#### Antécédents médicaux :

-Avez-vous une maladie chronique ?.....Oui ..... Non

Si oui laquelle.....

TRT en cours.....

-Antécédents familiaux :.....Oui  .....Non

Si oui lequel.....

-Avez-vous une allergie ? .....Oui  ..... Non

Si oui quel type d'allergie : .....

-Souffrez-vous d'une maladie de la peau ?.....Oui  .....Non

Si oui laquelle.....

La-Avez-vous souffert d'un de ces problème pendant le travail ?

toux..... Oui  .....Non

Dyspnée..... Oui  .....Non

Respiration sifflante..... Oui  .....Non

Problème oculaire..... Oui  .....Non

Si oui lequel :.....

### Antécédents professionnels :

-Ancienneté dans le soudage :.....

-Combien d'heures travaillez-vous par jour ?.....

-Combien de jours travaillez-vous pendant la semaine ?.....

-Le métal soudé..... Fer  Aluminium

-Avez-vous eu un accident de travail ?..... Oui  .....Non

Si oui lequel .....

-Avez-vous souffert de coup d'arc ?..... Oui  .....Non

-Laviez-vous les mains pendant le travail ? ..... Oui  .....Non

-Activité extraprofessionnelle ..... Oui  .....Non

Si oui laquelle.....

-Êtes-vous formé en soudage ?..... Oui  .....Non

-Êtes-vous conscients des risques liés au soudage ?..... Oui  .....Non

-Le procédé utilisé :.....

### Autres sources d'exposition aux métaux

-Amalgame dentaire..... Oui  ..... Non

-Vis chirurgicale..... Oui  ..... Non

-Peinture antirouille..... Oui  ..... Non

-Consommation des vitamines..... Oui  ..... Non

-Consommation d'eau : Robinet  .....Source  .....Minérale  .....Puits

-Consommation de poisson..... Oui  .....Non

Si oui combien de fois par mois.....

### Equipements de protection :

-Masque antipoussière ..... Oui  ..... Non

-Lunettes de protection..... Oui  ..... Non

-Vêtements manches longues..... Oui  ..... Non

- Gants..... Oui  ..... Non
- Casques de soudure..... Oui  ..... Non
- Stop bruit..... Oui  ..... Non
- Système de ventilation adéquat ..... Oui  ..... Non

-Résultat

spirométrie :.....

## Annexe 3

ما هي مصادر هذه الأخطار؟



ابخرة اللحام



الأشعة فوق البنفسجية



الاحتفجار/الحريق



المصق الكهربائي



الحرارة



الاهتزازات



الضجيج



الأخطار التي يتعرض لها اللحام وكيفية الوقاية منها.

كيف يمكن تجنب هذه المخاطر؟

للحماية من هذه الأخطار، يجب اتباع بعض إجراءات الوقاية الأساسية أبرزها ارتداء ملابس واقية و استعمال أجهزة الحماية



استخدام تهوية مناسبة: يجب أن يكون مكان العمل مجهزاً بنظام تهوية جيد للتخلص من البخارات الضارة.  
فحص الصحة الدوري: ينصح بإجراء فحوصات الصحة بصفة دورية للحامين للكشف المبكر عن أي أثر يمكن أن يكون قد سببه بخار اللحام على صحتهم

ما هي أهم الأخطار على الجسم؟

- تلف الدماغ والجهاز العصبي  
- واضطرابات الأعصاب.



- التهاب القرنية.  
- أمراض مزمّنة.



- تأثر وظيفة السمع.



- التهاب و تهيج الرئتين.



- تلف الكلى.



- أمراض جنسية.





## Résumé :

Les soudeurs sont professionnellement exposés aux fumées de soudage qui pourraient avoir des effets respiratoires. L'objectif de notre étude descriptive transversale menée durant la période de Novembre 2022 à Mai 2023 était l'évaluation de l'état de la fonction pulmonaire par spirométrie chez les soudeurs métalliques libéraux dans la ville de Tlemcen. **Résultats :** Les 30 soudeurs de notre étude étaient de sexe masculin avec une moyenne d'âge de 41 +/-15,86 ans. Environ 50% des soudeurs avaient un niveau d'étude CEM, 30% ont commencé ce métier depuis moins de 10 ans et environ 30% avait une ancienneté de 30 à 40 ans. 56.7% des soudeurs ont bénéficié d'une formation pré-emploi. 93% d'entre eux étaient des soudeurs de fer, 7% ont manipulé l'aluminium. Le soudage à l'arc (par électrode enrobée) était le procédé de choix pour notre population. 80% des travailleurs n'ont signalé aucun antécédent respiratoire avec une moyenne FEV1, FVC et FEV1/FVC de 2,48, 4,27 et 0,60 respectivement, qui sont inférieurs aux normes. 67% des soudeurs étaient fumeurs. Le coup d'arc était signalé par 80% des cas. 90% des soudeurs ont utilisé au moins un moyen de protection individuelle dont 83,30% des écrans protecteurs, 80% des lunettes de protection, 63,30% des gants et 20% des masques antipoussière. 96.7% avaient une ventilation adéquate. La totalité respectaient les règles d'hygiène et de lavage des mains. 53% n'ont déclaré aucun accident de travail, les blessures étaient l'accident le plus fréquent avec un pourcentage de 33.3% et un seul cas de traumatisme oculaire. Aucun soudeur n'a bénéficié d'une visite médicale, de contrôle périodique ou de sensibilisation. **Conclusion :** la mise en place des initiatives préventives est recommandée pour la prise en charge medico-analytique des soudeurs dans le cadre de la toxicologie professionnelle.

**Mots clés :** soudeurs, fumées de soudage, fonction respiratoire, spirométrie, toxicologie professionnelle.

## Abstract:

Welders are occupationally exposed to welding fumes which could have respiratory effects. The objective of our cross-sectional descriptive study conducted during the period from November 2022 to May 2023 was the evaluation of the state of pulmonary function by spirometry in liberal metal welders in the city of Tlemcen. **Results:** The 30 welders in our study were male with an average age of 41 +/-15.86 years. About 50% of the welders had a CEM education level, 30% started this trade less than 10 years ago and about 30% had a seniority of 30 to 40 years. 56.7% of welders received pre-employment training. 93% of them were iron welders, 7% handled aluminum. Arc welding (by coated electrode) was the process of choice for our population. 80% of the workers reported no respiratory history with an average FEV1, FVC and FEV1/FVC of 2.48, 4.27 and 0.60 respectively, which are below the standards. 67% of welders were smokers. Arc flash was reported by 80% of cases. 90% of welders used at least one means of individual protection, including 83.30% protective screens, 80% protective glasses, 63.30% gloves and 20% dust masks. 96.7% had adequate ventilation. All of them complied with the rules of hygiene and hand washing. 53% declared no accident at work, injuries were the most frequent accident with a percentage of 33.3% and only one case of eye trauma. None of the welders benefited from a medical visit, periodic check-up or awareness-raising. **Conclusion:** the implementation of preventive initiatives is recommended for the medico-analytical management of welders in the context of occupational toxicology.

**Keywords:** welders, welding fumes, respiratory function, spirometry, occupational toxicology.

## ملخص:

يتعرض عمال اللحام مهنيًا لأبخرة اللحام التي يمكن أن يكون لها آثار على الجهاز التنفسي. كان الهدف من دراستنا الوصفية المقطعية التي أجريت خلال الفترة من نوفمبر 2022 إلى مايو 2023 هو تقييم حالة الوظيفة الرئوية عن طريق قياس التنفس في عمال اللحام المعدني الليبراليين في مدينة تلمسان. **النتائج:** كان عمال اللحام البالغ عددهم 30 في دراستنا من الذكور بمتوسط عمر 41 +/- 15,86 سنة. حوالي 50% من عمال اللحام لديهم مستوى تعليمي متوسط ، و 30% بدأوا هذه التجارة منذ أقل من 10 سنوات وحوالي 30% لديهم أقدمية من 30 إلى 40 عامًا. تلقى 56.7% من عمال اللحام تدريباً قبل التوظيف. 93% منهم من عمال اللحام بالحديد ، و 7% من الألمنيوم المعالج. كان اللحام بالقوس الكهربائي (بواسطة قطب كهربائي مطلي) هو العملية المفضلة لشعبنا. أبلغ 80% من العمال عن عدم وجود تاريخ في الجهاز التنفسي بمتوسط FEV1 و FVC و FEV1/FVC يبلغ 2.48 و 4.27 و 0.60 على التوالي ، وهي أقل من المعايير. 67% من عمال اللحام كانوا مدخنين. تم الإبلاغ عن فلاح القوس في 80% من الحالات. 90% من عمال اللحام استخدموا وسيلة واحدة على الأقل من وسائل الحماية الفردية ، بما في ذلك 83.30% شاشات واقية ، و 80% نظارات واقية ، و 63.30% قفازات ، و 20% أقنعة غبار. 96.7% لديهم تهوية كافية. امتثلوا جميعًا لقواعد النظافة وغسل اليدين. أفاد 53% بعدم وجود حوادث في العمل ، وكانت الإصابات هي الأكثر تكراراً بنسبة 33.3% وحالة واحدة فقط من إصابات العين. لم يستفد أي من عمال اللحام من زيارة طبية أو فحص دوري أو توعية. **الخلاصة:** يوصى بتنفيذ المبادرات الوقائية للإدارة الطبية التحليلية عمال اللحام في سياق علم السموم المهنية.

**الكلمات المفتاحية:** عمال اللحام ، أبخرة اللحام ، وظائف الجهاز التنفسي ، قياس التنفس ، علم السموم المهنية.