



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sécurité Industrielle

Spécialité : Sécurité Industrielle et Environnement

Thème

**Activité métallurgique : risques causés par les fluides
pour le travail des métaux**

Présenté et soutenu publiquement par :

Djillali Hichem Seif El Islem & Naima Mohamed Abdelwaheb

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Derias fatima zahara			Président
Mechken Amel			Encadreur
Chahmana			Examineur

Juin 2025

Résumé

Ce mémoire traite de la problématique des risques chimiques et toxicologiques dans le secteur métallurgique, notamment ceux liés à l'exposition aux fluides utilisés pour le travail des métaux. Il explore les différents procédés métallurgiques, identifie les substances dangereuses (métaux lourds, hydrocarbures aromatiques polycycliques) et analyse leurs effets sur la santé des travailleurs. Une attention particulière est portée à la réglementation, aux valeurs limites d'exposition et aux mesures de prévention (ventilation, EPI, substitution, etc.). Ce travail vise à proposer des solutions concrètes pour améliorer la sécurité dans l'environnement industriel.

Mots-clés : Métallurgie, fluides de coupe, HAP, métaux lourds, toxicologie, sécurité industrielle, santé au travail.

Abstract

This thesis focuses on the chemical and toxicological risks in the metallurgical industry, particularly those related to exposure to fluids used in metalworking. It reviews the main metallurgical processes, identifies hazardous substances (heavy metals, polycyclic aromatic hydrocarbons), and assesses their impact on workers' health. Special attention is given to regulations, exposure limits, and prevention measures (ventilation, PPE, substitution, etc.). The objective is to propose concrete strategies to improve health and safety in industrial environments.

Keywords: Metallurgy, cutting fluids, PAHs, heavy metals, toxicology, industrial safety, occupational health.

الملخص

يعالج هذا البحث إشكالية المخاطر الكيميائية والسمية في مجال الصناعات المعدنية، خاصة تلك المرتبطة بالتعرض للسوائل المستعملة في تشغيل المعادن. يتناول مختلف العمليات المعدنية، ويحدد المواد الخطرة مثل المعادن الثقيلة والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات، كما يحلل آثارها على صحة العمال. يركز كذلك على الجوانب القانونية، حدود التعرض، وتدابير الوقاية كأنظمة التهوية ومعدات الحماية الفردية. يهدف هذا العمل إلى تقديم حلول عملية لتعزيز السلامة في بيئة العمل الصناعية.

الكلمات المفتاحية: المعادن، سائل التشغيل، الهيدروكربونات العطرية، المعادن الثقيلة، السمية، السلامة الصناعية، صحة العمال.

Remerciement

À l'issue de la rédaction de ce mémoire, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers tous ceux qui m'ont soutenu et guidé tout au long de ce parcours académique et personnel.

*En premier lieu, je rends grâce à **Allah**, le Tout-Puissant, pour m'avoir donné la force, la patience et la sagesse nécessaires à l'accomplissement de ce travail.*

*Mes remerciements les plus chaleureux vont à mon encadrante, **Mme Amel Mechken**, pour son accompagnement précieux, ses conseils avisés et sa disponibilité constante. Sa rigueur scientifique et son soutien ont grandement contribué à la qualité de ce mémoire.*

Je tiens également à exprimer ma profonde reconnaissance à mes parents, pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leurs encouragements sans faille. Leur confiance en moi a été une source d'inspiration tout au long de ce parcours.

Ce mémoire est le fruit d'un effort collectif, et je suis profondément honoré et reconnaissant pour l'appui de chacun.

Dédicace

je dédie ce mémoire, fruit de nombreuses années d'efforts et de persévérance, à ceux qui ont illuminé mon chemin.

À Allah, le Tout-Puissant, dont la guidance et la miséricorde m'ont porté tout au long de ce parcours.

*À mes chers **parents**, et la famille djillali et bessadi pour leur amour inconditionnel, leurs sacrifices et leur foi inébranlable en moi, qui m'ont donné la force de surmonter tous les obstacles.*

*À ma **femme**, mon pilier et ma source d'inspiration, pour son soutien indéfectible, sa patience et son amour qui m'ont accompagné dans chaque étape de ce projet.*

*À **Mme Amel Mechken**, mon encadrante, pour son dévouement et ses conseils précieux qui ont façonné ce travail.*

Ce mémoire est pour vous, en témoignage de ma profonde gratitude.

Djillali Hichem Seif El Islem

Dédicace

Je dédie ce mémoire, fruit d'un long parcours d'apprentissage et d'engagement, à celles et ceux qui ont été à mes côtés avec bienveillance et confiance.

À Allah, Le Très-Haut, pour Sa guidance, Sa miséricorde et la force qu'Il m'a accordée à chaque étape de ce chemin.

À mes parents, pour leur amour profond, leurs prières silencieuses et leur soutien indéfectible, qui m'ont permis de croire en moi même dans les moments les plus difficiles.

À ma famille, pour leur présence réconfortante, leurs encouragements et leur fierté, qui m'ont donné le courage d'aller jusqu'au bout.

À Mme Amel Mechken, mon encadrante, pour son accompagnement attentif, ses conseils éclairés et sa disponibilité tout au long de ce travail.

Ce mémoire est un hommage à votre soutien, un signe de ma gratitude la plus sincère.

Naïma Mohamed Abdelwaheb

Liste des abréviations

HAP : hydrocarbure aromatique polycyclique

CIRC : centre internationale de recherche sur le cancer

VLEP : valeur limites d'exposition professionnelle

VLEP_ CT : valeur limites d'exposition professionnelle _ court terme

EPI : Equipment de protection individuelle

REACH : Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

CLP : Classification, Labelling and Packaging

FDS : fiche de données de sécurité

VMC : ventilation mécanique contrôlée

FFP : filtering facepiece

SIR : suivi individuelle renforcé

HVOF : hight velocity oxy fuel

Liste des figures

FIGURE 1: PROCEDE METALLURGIQUE	18
FIGURE 2 : FABRICATION DES ALLIAGES METALLIQUES	20
FIGURE 3: TRAITEMENT ET AMELIORATION DES PROPRIETES	22
FIGURE 4 : USINAGE A SEC ET USINAGE A FROID	25
FIGURE 5 : TRAITEMENT DE SURFACE DES METAUX	28
FIGURE 6 : RISQUES CHIMIQUES ET TOXICOLOGIQUES EN METALLURGIE	33
FIGURE 7 : HUILES MINERALES NON RAFFINEES	40
FIGURE 8 : : CANCEROGENICITE DES HAP	44
FIGURE 9 : DERMATOSE PROFESSIONNELLE	45
FIGURE 10 : IRRITATIONS OCULAIRES ET RESPIRATOIRES	46
FIGURE 11 : CONSEQUENCES DE L'EXPOSITION AUX PLUSIEURS AGENTS CHIMIQUES	47
FIGURE 12 : L'ENVIRONNEMENT DE TRAVAIL	49
FIGURE 13 : : UTILISATION DES SYSTEMES TELECOMMANDES ET AUTOMATISES	50
FIGURE 14 : : PROTECTION INDIVIDUELLE DES MAINS	51
FIGURE 15 : PROTECTION RESPIRATOIRE	52
FIGURE 16 : HYGIENE PERSONNELLE	53
FIGURE 17 : CONTROLE DE L'ATMOSPHERE DE TRAVAIL	54
FIGURE 18 : SURVEILLANCE MEDICALE	55
FIGURE 32 : LES DERMATOSES PROFESSIONNELLES	59
FIGURE 33 : LES PNEUMOCONIOSES	60
FIGURE 34 : L'EFFET TOXIQUE D'UNE SUBSTANCE DUE A L'EXPOSITION PROLONGEE	62
FIGURE 35 : : MAUVAIS USAGE DES EPI	62
FIGURE 36 : MAUVAISE AERATION DES ATELIERS	63
FIGURE 37 : SUBSTITUTION DES PRODUITS DANGEREUX	65
FIGURE 38 : ASPIRATION A LA SOURCE DES POLLUANTS	65
FIGURE 39 : VENTILATION GENERALE DES LOCAUX	66
FIGURE 40 : AUTOMATISATION DES TACHES DANGEREUSES	67
FIGURE 41 : ROTATION DES POSTES	68
FIGURE 42 : ENTRETIEN REGULIER DES SYSTEMES D'EXTRACTION ET DE VENTILATION	69
FIGURE 43 : PORT DES EPI ADAPTES PAR LES EMPLOYES	71
FIGURE 44 : LAVAGE REGULIER DES MAINS	72
FIGURE 45 : REMPLACEMENT FREQUENT DES EPI	73
FIGURE 46 : PICTOGRAMMES DE SECURITE	78
FIGURE 47 : CONSIGNES DE SECURITE	78
FIGURE 48 : PLAN D'INTERVENTION	79
FIGURE 19 : ATOM METAL DANS LE MONDE	82
FIGURE 20 : SITUATION GEOGRAPHIQUE DE SARL ATOM METAL	83
FIGURE 21 : TREILLIS SOUDE	84
FIGURE 22 : PANNEAU DE CLOTURE SIMPLE FIL	85
FIGURE 23 : PANNEAU DE CLOTURE DOUBLE FIL	85
FIGURE 24 : PANNEAU SECURITE	85
FIGURE 25 : BRISE-VUE	86
FIGURE 26: FIL CONCERTINA	86
FIGURE 27 : SITE ATOM METAL	87
FIGURE 28 : MACHINE DE COUPE ET REDRESSAGE	87
FIGURE 29 : PORTE BOBINE	88
FIGURE 30 : GALETS DE REDRESSAGE	88
FIGURE 31 : L'OPERATION DE COLLECTE DES BARRES	90

Liste des tableaux

TABLEAU 1: COMPARAISON ENTRE USINAGE A SEC ET USINAGE AVEC FLUIDE DE COUPE.....	28
TABLEAU 2 : COMPARAISON DES TRAITEMENTS DE SURFACE	31
TABLEAU 3 : DECRETS ALGERIENS RELTIFS AUX RISQUES MINIERS	37
TABLEAU 4 : LIMITE D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE DE HUILE MDX 10.....	91
TABLEAU 5: ANALYSE HAZOP	95
TABLEAU 6 : FICHE D'HYDROCARBURES.....	96

Table des matières

Introduction Générale.....	16
I. Chapitre I : Procédés métallurgiques	18
I.1. Introduction.....	18
I.2. La métallurgie	18
I.2.1. Définition	18
I.2.2. Les principaux objectifs de la métallurgie :	19
I.2.2.1. Extraction des métaux : Récupération des métaux à partir de minerais bruts ou de matériaux recyclés :	19
a. Extraction des métaux à partir des minerais :	19
b. Extraction des métaux à partir de matériaux recyclés :	19
I.2.2.2. Élaboration et affinage : purification des métaux pour obtenir des alliages aux propriétés spécifiques :	19
a. Élaboration des métaux :.....	20
b. Fabrication des alliages métalliques :	20
I.2.2.3. Transformation et mise en forme : fabrication de produits métalliques par fonderie, usinage, forge ou laminage :.....	20
a) La fonderie	20
b) L'usinage.....	21
c) Le forgeage.....	21
d) Le laminage.....	21
I.2.2.4. Traitements et amélioration des propriétés : amélioration des caractéristiques mécaniques et chimiques des métaux via des procédés thermiques, mécaniques et chimiques :	21
I.2.2.4.1. Traitements mécaniques.....	21
I.2.2.4.2. Traitements chimiques	21
I.2.2.4.3. Traitements thermiques.....	22
A. Recuit.....	22
➤ Objectifs du recuit :	22
➤ Types de recuits :.....	22
1. Recuit complet.....	22
2. Recuit de normalisation.....	23
3. Recuit de détente	23
4. Recuit d'adoucissement.....	23
B. Trempe	23
➤ Objectifs de la trempe :.....	23

➤ Étapes de la trempe :	23
➤ Types de trempes :	23
1. Trempe directe.....	23
2. Trempe progressive	23
3. Trempe superficielle.....	23
4. Trempe interrompue (martempering).....	24
C. Revenu	24
➤ Objectifs du revenu :	24
➤ Types de revenu :	24
1. Revenu basse température (150-250°C).....	24
2. Revenu moyenne température (250-500°C).....	24
3. Revenu haute température (500-700°C).....	24
I.2.2.4.4. Traitements thermochimiques.....	24
I.2.3. Traitements mécaniques en métallurgie : Usinage à sec et usinage avec fluide de coupe.....	25
I.2.3.1. Usinage à sec	25
I.2.3.2. Usinage avec fluide de coupe	26
I.2.3.2.1. Types de fluides de coupe.....	26
a. Huiles entières.....	26
b. Fluides émulsifiables (huiles solubles).....	27
c. Fluides synthétiques.....	27
I.2.3.3. Comparaison entre usinage à sec et usinage avec fluide de coupe.....	27
I.2.4. Traitement de surface des métaux	28
I.2.4.1. Revêtements métalliques	29
I.2.4.1.1. Galvanisation	29
I.2.4.1.2. Anodisation	29
I.2.4.2. Procédés chimiques	30
I.2.4.2.1. Phosphatation.....	30
I.2.4.2.2. Passivation	30
I.2.4.3. Projections thermiques	30
I.2.4.4. Comparaison des traitements de surface	31
I.3. Conclusion	31
II. Chapitre II : Risques chimiques et toxicologiques en métallurgie	33
II.1. Introduction	33
II.2. Les métaux toxiques en métallurgie	33

II.2.1. Plomb (Pb)	34
II.2.2. Mercure (Hg)	34
II.2.3. Cadmium (Cd)	34
II.2.4. Chrome hexavalent (Cr ⁶⁺)	35
II.3. Effets sur la santé.....	35
II.3.1. Atteintes neurologiques	35
II.3.2. Troubles respiratoires.....	36
II.3.3. Atteintes rénales et hépatiques	36
II.3.4. Perturbations du système hématopoïétique.....	36
II.3.5. Effets sur la reproduction et le développement.....	36
II.4. Normes et Réglementation de sécurité	37
II.4.1. Décrets algériens cités dans ce texte relatif aux risques miniers	37
➤ Aspects liés aux risques miniers traités dans le décret 18-202 :.....	37
II.4.2. Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP)	38
II.4.5. Textes réglementaires de référence.....	39
II.4.5.1. Code du travail (France).....	39
II.5. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) fluides	39
II.5.1. Définition	39
II.5.2. Sources d'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en métallurgie :	39
II.5.2.1. Huiles minérales non raffinées	40
II.5.2.2. Résidus de combustion (soudure, forge, traitements thermiques)	40
II.5.2.3. Vapeurs et brouillards d'huile dans les ateliers d'usinage	41
II.5.3. Les expositions :	41
II.5.3.1. Inhalation des brouillards d'huiles.....	41
II.5.3.2. Contact cutané prolongé avec des fluides souillés	42
II.5.3.3. Manutention de pièces métalliques contaminées	42
II.5.4. Effets sur la santé des HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)	43
II.5.4.1. Cancérogénicité des HAP	43
➤ Principaux cancers associés :	43
II.5.4.2. Dermatose professionnelle	44
➤ Types de troubles dermatologiques :	44
II.5.4.3. Irritations oculaires et respiratoires	45
II.5.4.4. Risques accrus en cas d'exposition combinée.....	46
II.5.5. Mesures de prévention et de protection contre les HAP en métallurgie.....	47

II.5.5.1. Prévention technique	47
II.5.5.1.1. Choix des produits et procédés	47
II.5.5.2. Maîtrise de l'environnement de travail	48
II.5.5.3. Automatisation des tâches dangereuses	49
II.5.5.4. Protection individuelle	50
II.5.5.4.1. Protection cutanée.....	50
II.5.5.4.2. Gants de protection.....	50
II.5.5.4.3. Vêtements professionnels spécifiques	51
II.5.5.4.4. Protection respiratoire.....	52
II.5.5.5. Hygiène personnelle	52
II.5.5.6. Contrôle et surveillance.....	53
II.5.5.6.1. Contrôle de l'atmosphère de travail.....	53
II.5.5.7. Surveillance médicale	54
II.5.5.8. Formation et sensibilisation	55
a. Information claire et accessible sur les risques liés aux HAP	56
II.6. Conclusion	56
III. Chapitre III : Problèmes de santé des travailleurs en métallurgie.....	58
III.1. Introduction	58
III.2. Maladies professionnelles courantes	58
III.2.1. Dermatoses professionnelles	58
➤ Origines :	58
➤ Types de dermatoses :.....	58
➤ Conséquences :	59
III.2.2. Pneumoconioses	59
➤ Exemples :	59
➤ Symptômes :	59
➤ Facteurs aggravants :	60
III.2.3. Intoxications aux métaux lourds.....	60
➤ Métaux concernés :.....	60
➤ Voies de pénétration dans l'organisme :	60
1. Effets à long terme :	61
III.3. Facteurs aggravants	61
III.4. Prévention et amélioration des conditions de travail	64
III.4.1. Mesures techniques.....	64
III.4.2. Mesures organisationnelles.....	67

III.4.3. Protection individuelle.....	70
III.4.4. Suivi médical et surveillance	73
III.4.5. Formation et sensibilisation.....	75
III.4.6. Mise à jour continue	77
III.4.7. Affichage dans les ateliers : pictogrammes, procédures, consignes.....	77
III.4.8. Plan d'évacuation et d'intervention d'urgence	79
III.4.9. Sensibilisation régulière à la sécurité	79
III.5. CONCLUSION	80
IV. Chapitre IV : Stage pratique.....	82
IV.1. Introduction.....	82
IV.2. Présentation de l'entreprise :.....	82
IV.2.1. ATOM METAL dans le monde :	82
IV.2.2. ATOM METAL en Algérie :.....	83
IV.2.3. Situation géographique :.....	83
IV.2.4. Historique :	83
IV.2.5. Description du site :.....	84
IV.2.6. Produits fabriqués :.....	84
IV.2.7. Les étapes du processus de fabrication :	86
IV.2.8. Processus de la Machine de Coupe et Redressage de Fil Galvanisé	87
III.2.8.1. Déroulage (Dérouleur/Porte-Bobine) :	88
IV.2.8.2. Pré-dressage (Optionnel mais fréquent) :	88
IV.2.8.3. Redressage Mécanique (Système de Galets de Redressage) :.....	88
a. Redresseurs à galets rotatifs (rotary straighteners) :	89
b. Redresseurs à galets fixes (roller straighteners) :	89
IV.2.8.4. Lubrification :	89
IV.2.8.5. Entraînement du Fil (Système de Pincement/Traction) :.....	89
IV.2.8.6. Mesure de Longueur :.....	89
IV.2.8.7. Cisaillement/Coupe :	89
IV.2.8.9. Collecte des Barres Coupées :	90
IV.2.9. Lubrifiants Utilisés : Huile MDX 10 et Mazout (Gasoil)	90
IV.2.9.1. Huile MDX 10	90
IV.2.9.1.1. Classification de la substance	90
IV.2.9.1.2. Informations sur les effets toxicologiques	91
IV.2.9.1.3. Effet sur le Fil Galvanisé :	91
IV.2.9.2. Mazout (Gasoil / Diesel).....	91

IV.2.9.2.1. Caractéristiques :.....	91
IV.2.9.2.2. Effet sur le Fil Galvanisé :	92
IV.2.10. Risques Associés	92
IV.2.10.1. Risques pour la Sécurité des Opérateurs	92
IV.2.10.2. Risques pour la Machine et la Production	93
IV.2.10.3. Etude HZOP.....	94
IV.2.10.4. Impact environnemental :	97
IV.3. Prévention et amélioration des conditions de travail	97
IV.3.1. Mesures techniques	97
IV.3.2. Mesures organisationnelles	97
IV.3.3. Formation et sensibilisation.....	98
IV.4. Conclusion :	98
Conclusion générale	100
References bibliographiques	101

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

L'industrie métallurgique joue un rôle central dans l'économie mondiale en produisant et transformant des métaux essentiels à de nombreux secteurs, tels que la construction, l'automobile, l'aérospatiale ou encore l'électronique. Ce secteur, moteur d'innovations technologiques, est confronté à des enjeux majeurs, notamment en matière de sécurité des travailleurs. Parmi ces défis, les risques chimiques et toxicologiques liés à l'exposition quotidienne à des substances dangereuses constituent une problématique cruciale pour la santé publique.

Les procédés métallurgiques, qu'ils soient thermiques, mécaniques ou chimiques, sont indispensables pour extraire, affiner et façonner les métaux. Cependant, ces processus complexes exposent les opérateurs à des substances nocives, telles que les métaux lourds, les gaz toxiques ou les fluides de travail comme les huiles, lubrifiants et fluides de coupe. Ces derniers, en particulier, peuvent générer des vapeurs ou fumées contenant des composés chimiques dangereux, notamment des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), qui représentent un risque significatif pour la santé des travailleurs.

L'exposition à ces substances peut provoquer des effets à court terme, comme des irritations cutanées ou des troubles respiratoires, ainsi que des conséquences à long terme, telles que des maladies pulmonaires chroniques, des cancers professionnels ou des atteintes neurologiques. La combinaison de ces risques complexifie la gestion de la santé et de la sécurité dans les environnements métallurgiques.

Ce mémoire vise à analyser les risques chimiques et toxicologiques associés à l'utilisation des métaux et des fluides de travail dans l'industrie métallurgique. Il s'attachera à identifier les dangers liés aux procédés de transformation, de traitement thermique, mécanique et de surface, tout en examinant la toxicité des métaux couramment utilisés et l'impact des fluides de coupe. Après une présentation des principaux procédés métallurgiques, nous analyserons les risques spécifiques encourus par les travailleurs. Enfin, nous proposerons des solutions concrètes pour minimiser ces dangers, en promouvant des matériaux alternatifs, des techniques plus sûres et des mesures de prévention adaptées.

L'objectif principal de ce travail est de sensibiliser aux risques souvent invisibles de l'industrie métallurgique tout en suggérant des stratégies pour améliorer les conditions de travail et protéger la santé des travailleurs, acteurs essentiels de ce secteur.

CHAPITRE 1 :

Procédés Métallurgiques

I. Chapitre I : Procédés métallurgiques

I.1. Introduction

La métallurgie, essentielle à l'industrie moderne, transforme les métaux pour divers secteurs, mais expose travailleurs et environnement à des risques chimiques et physiques. Ce chapitre présente les bases des procédés métallurgiques (extraction, raffinage, traitements) et les enjeux de sécurité industrielle, posant le cadre pour analyser les risques, notamment ceux détaillés au chapitre 2, en s'appuyant sur des sources techniques.

I.2. La métallurgie

I.2.1. Définition

La métallurgie est une branche de la science des matériaux qui étudie les propriétés des métaux ainsi que les procédés permettant leur extraction, leur transformation et leur mise en forme. Elle englobe l'ensemble des techniques utilisées pour produire des métaux à partir de minerais ou de matières recyclées, puis pour les traiter afin d'améliorer leurs propriétés mécaniques, chimiques et physiques.

La métallurgie est un domaine clé dans de nombreux secteurs industriels, notamment l'aéronautique, l'automobile, la construction, l'électronique et l'énergie. Elle joue un rôle crucial dans la fabrication d'objets du quotidien, allant des structures métalliques aux 2..

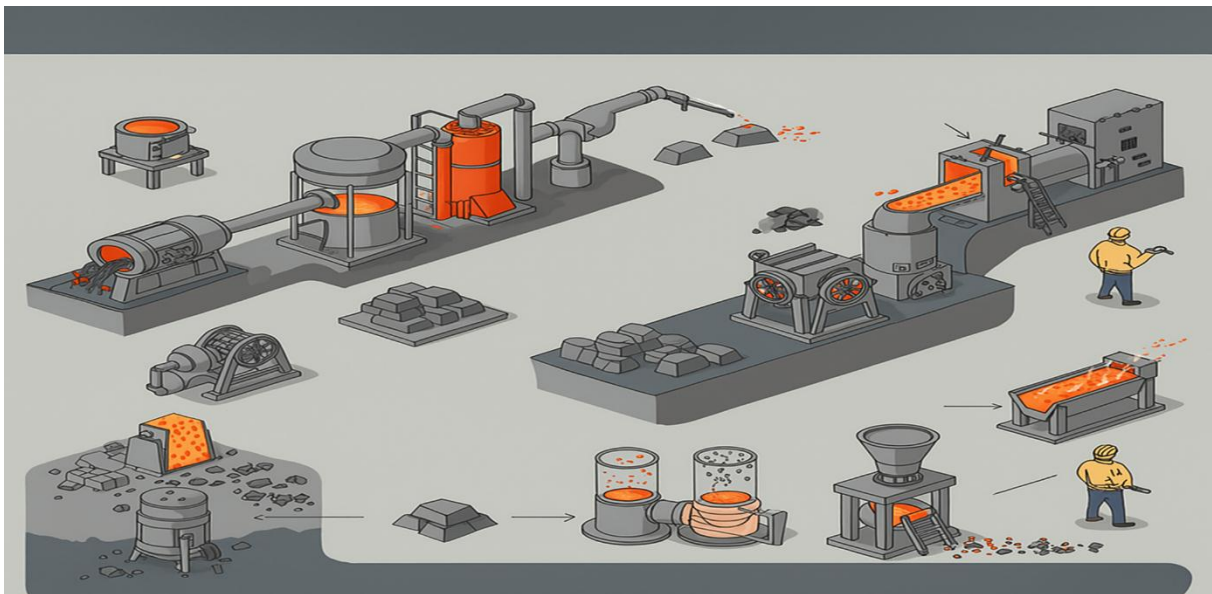


Figure 1: procédé métallurgique

I.2.2. Les principaux objectifs de la métallurgie :

La métallurgie a pour but principal de produire, transformer et améliorer les métaux afin de répondre aux exigences de l'industrie. Cela passe par plusieurs étapes fondamentales : l'extraction des métaux, leur élaboration et affinage, leur transformation en produits finis et l'optimisation de leurs propriétés.

I.2.2.1. Extraction des métaux : Récupération des métaux à partir de minerais bruts ou de matériaux recyclés :

L'extraction des métaux est la première étape de la métallurgie. Elle vise à récupérer les métaux contenus dans les minerais ou à réutiliser ceux issus du recyclage. Cette étape est cruciale car les métaux ne se trouvent généralement pas à l'état pur dans la nature.¹

a. Extraction des métaux à partir des minerais :

Les minerais sont des roches contenant une concentration exploitable de métaux. L'extraction suit plusieurs étapes :

- 1. Prospection et extraction minière :** identification des gisements, exploitation à ciel ouvert ou souterraine.
- 2. Concassage et broyage :** réduction de la taille des minerais en fragments plus petits.
- 3. Séparation du métal :**
 - **Pyrométallurgie :** extraction par fusion à haute température (ex. : haut fourneau pour le fer).
 - **Hydrométallurgie :** dissolution des métaux à l'aide de solutions chimiques (ex. : cyanuration pour l'or).
 - **Électrométallurgie :** utilisation d'un courant électrique pour séparer les métaux (ex. : électrolyse du cuivre).².

b. Extraction des métaux à partir de matériaux recyclés :

Le recyclage des métaux est une alternative durable qui permet de limiter l'exploitation minière et de réduire l'empreinte écologique. Exemples :

- Récupération de l'aluminium à partir des canettes usagées.
- Refonte de l'acier à partir de ferrailles pour produire de nouveaux objets.
- Récupération des métaux précieux des cartes électroniques (or, argent, palladium).

L'extraction des métaux est donc une étape essentielle pour assurer un approvisionnement suffisant en matières premières métalliques.

I.2.2.2. Élaboration et affinage : purification des métaux pour obtenir des alliages aux propriétés spécifiques :

Une fois extraits, les métaux contiennent encore des impuretés qu'il faut éliminer pour obtenir un matériau exploitable. L'élaboration et l'affinage permettent d'augmenter la pureté des métaux et de créer des alliages adaptés aux applications industrielles.

a. Élaboration des métaux :

Les métaux bruts doivent être raffinés pour améliorer leur pureté. On distingue plusieurs par électrolyse, qui permet d'éliminer les impuretés métalliques indésirables (ex. : purification du cuivre, de l'aluminium).

Procédés chimiques : extraction par solvant, précipitation chimique (ex. : purification de l'uranium).

b. Fabrication des alliages métalliques :

Un alliage est un mélange de plusieurs métaux pour obtenir des propriétés améliorées.
Exemples :

- **L'acier** (fer + carbone) : plus résistant que le fer pur.
- **Le bronze** (cuivre + étain) : plus dur et résistant à la corrosion.
- **Le laiton** (cuivre + zinc) : utilisé en plomberie et en décoration.
- **Les superalliages** (nickel, titane, cobalt) : résistants aux hautes températures, utilisés en aéronautique.

L'élaboration et l'affinage sont donc indispensables pour obtenir des métaux de haute qualité, adaptés aux exigences industrielles.



Figure 2 : Fabrication des alliages métalliques

I.2.2.3. Transformation et mise en forme : fabrication de produits métalliques par fonderie, usinage, forge ou laminage :

Une fois les métaux élaborés, ils doivent être transformés en produits semi-finis ou finis. Plusieurs procédés permettent de donner la forme souhaitée aux pièces métalliques.

a) La fonderie

La fonderie consiste à fondre le métal et à le couler dans un moule pour obtenir une forme spécifique. On distingue plusieurs types de fonderie :

- Fonderie au sable : utilisée pour les grandes pièces en acier, fonte, aluminium.
- Fonderie sous pression : utilisée pour les pièces complexes et en grande série (ex. : pièces automobiles).

- Fonderie en cire perdue : permet d'obtenir des pièces très précises (ex. : pièces aéronautiques).

b) L'usinage

L'usinage est un procédé de **mise en forme par enlèvement de matière** à l'aide d'outils coupants (tournage, fraisage, perçage). Il permet d'obtenir des pièces de grande précision, utilisées en mécanique et en construction.

c) Le forgeage

Le forgeage consiste à **déformer le métal par pression ou choc** pour lui donner une forme spécifique. On distingue :

- **Le forgeage à chaud** : le métal est chauffé pour être plus malléable.
- **Le forgeage à froid** : utilisé pour des pièces nécessitant une grande résistance mécanique (ex. : boulons, engrenages).³

d) Le laminage

Le laminage est un procédé de déformation qui consiste à faire passer le métal entre des rouleaux pour en réduire l'épaisseur. Il est utilisé pour fabriquer des tôles, des barres et des fils métalliques.

Ces procédés permettent de transformer les métaux bruts en pièces adaptées aux besoins de l'industrie.

I.2.2.4. Traitements et amélioration des propriétés : amélioration des caractéristiques mécaniques et chimiques des métaux via des procédés thermiques, mécaniques et chimiques :

Les métaux transformés doivent souvent subir des traitements spécifiques pour optimiser leurs performances. Ces traitements peuvent être thermiques, mécaniques ou chimiques.

I.2.2.4.1. Traitements mécaniques

Les traitements mécaniques modifient la structure du métal par des actions physiques :

- **Ecrouissage** : améliore la résistance en durcissant le métal par déformation.
- **Shot-peening** : projection de billes métalliques pour augmenter la résistance à la fatigue des pièces.
- Traitements chimiques et de surface

I.2.2.4.2. Traitements chimiques

Améliorent la protection contre la corrosion et l'usure

- **Galvanisation** : revêtement de zinc pour protéger l'acier de la rouille.
- **Anodisation** : traitement de l'aluminium pour augmenter sa résistance à la corrosion.
- **Nitruration** : durcissement de la surface par diffusion d'azote.

Ces traitements permettent aux métaux d'atteindre des performances optimales pour des applications spécifiques.

I.2.2.4.3. Traitements thermiques

Les traitements thermiques consistent à **chauffer et refroidir le métal** selon un cycle précis pour modifier ses propriétés. Exemples :

- a. **Recuit** : améliore la ductilité et réduit les contraintes internes.
- b. **Trempe** : augmente la dureté et la résistance à l'usure.
- c. **Revenu** : ajuste la dureté après trempe pour éviter la fragilité excessive.

Les **traitements thermiques** sont des procédés industriels consistant à chauffer et refroidir un métal selon un cycle précis afin de modifier ses **propriétés mécaniques, physiques et microstructurales**. Ils permettent d'améliorer la dureté, la résistance, la ductilité ou encore la ténacité des matériaux métalliques. Les principaux traitements thermiques comprennent le **recuit, la trempe et le revenu**, ainsi que les **traitements thermochimiques** qui modifient la composition chimique de la surface des métaux. ⁴

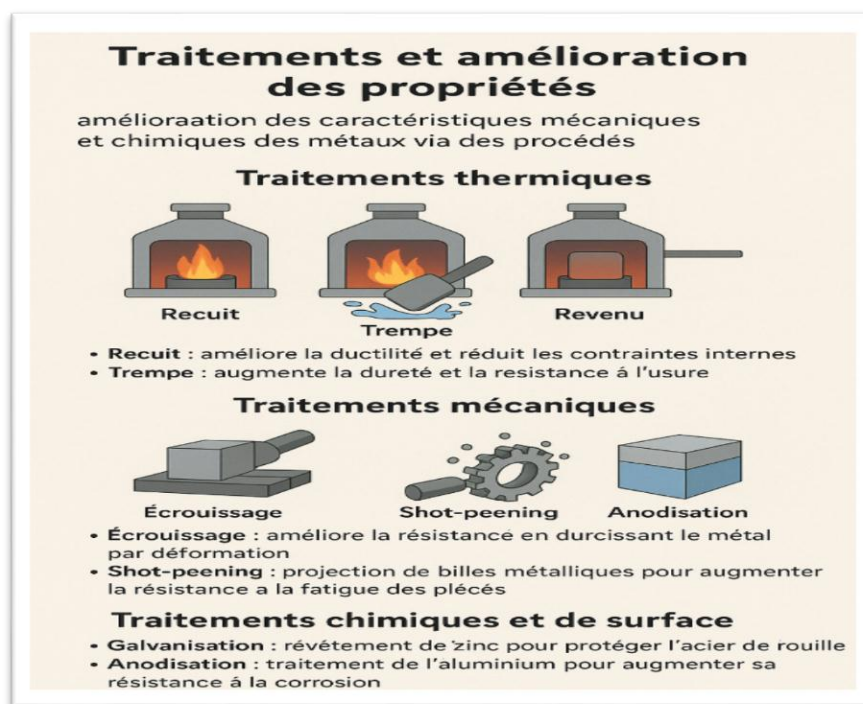


Figure 3: traitement et amélioration des propriétés.

A. Recuit

Le **recuit** est un traitement thermique visant à **adoucir un métal, réduire ses contraintes internes et améliorer sa ductilité**. Il consiste à chauffer le métal à une température spécifique, à le maintenir à cette température pendant un certain temps, puis à le refroidir lentement, généralement dans un four.

- **Objectifs du recuit :**
 - Réduire la dureté et faciliter l'usinage ou la mise en forme.
 - Améliorer la ductilité et la malléabilité.
 - Homogénéiser la structure du métal après un travail à chaud ou à froid.
 - Réduire les contraintes internes générées par le laminage, la forge ou la soudure.

➤ Types de recuits :

1. Recuit complet

- Appliqué aux aciers fortement écrouis ou après forge.

- Chauffage à une température légèrement supérieure à la température de transformation (entre 750 et 950°C selon l'alliage).
- Maintien en température, puis refroidissement lent dans un four.

2. Recuit de normalisation

- Utilisé pour affiner le grain et homogénéiser la microstructure.
- Chauffage à une température supérieure à la température critique, suivi d'un refroidissement à l'air libre.

3. Recuit de détente

- Utilisé après soudage ou usinage pour éliminer les contraintes internes.
- Chauffage à une température modérée (environ 500-650°C), suivi d'un refroidissement lent.

4. Recuit d'adoucissement

- Utilisé pour les alliages d'aluminium, de cuivre ou de titane.
- Réduit la dureté et facilite le formage.

Le recuit est un traitement essentiel pour préparer un métal avant d'autres opérations, comme l'usinage ou la mise en forme.⁵

B. Trempe

La **trempe** est un traitement thermique visant à **augmenter la dureté et la résistance mécanique d'un métal** en modifiant sa structure cristalline. Elle consiste à chauffer le métal à une température élevée, puis à le refroidir rapidement dans un fluide de trempe (eau, huile, air ou polymères).⁶

➤ Objectifs de la trempe :

- Accroître la dureté et la résistance à l'usure.
- Améliorer la capacité de charge et la durée de vie des pièces.
- Modifier la structure cristalline pour obtenir une martensite dure.

➤ Étapes de la trempe :

1. **Chauffage** : montée en température du métal jusqu'à une température spécifique (800-900°C pour l'acier).
2. **Maintien en température** : durée variable selon l'épaisseur de la pièce.
3. **Refroidissement rapide** : immersion dans un fluide de trempe pour fixer la structure martensitique.

➤ Types de trempes :

1. Trempe directe

- Refroidissement rapide immédiatement après le chauffage.
- Fluide utilisé : eau (très rapide), huile (modérée), air (lente).

2. Trempe progressive

- Permet de minimiser les déformations en refroidissant les zones sensibles plus lentement.

3. Trempe superficielle

- Appliquée uniquement en surface (par induction ou laser) pour durcir l'extérieur tout en gardant un cœur tenace.

4. Trempe interrompue (martempering)

- Réduit les tensions internes et limite les fissures.

La trempe donne aux métaux une **grande dureté**, mais elle les rend aussi **fragiles**, d'où l'importance des traitements de revenu.

Après la trempe, le métal est souvent trop dur et cassant. Le revenu est un traitement thermique qui permet de réduire la fragilité tout en conservant une bonne dureté et résistance mécanique.

C. Revenu

Le revenu consiste à **réchauffer** un métal trempé à une température inférieure à celle de transformation, puis à le refroidir lentement.

➤ Objectifs du revenu :

- Réduire la fragilité et améliorer la ténacité.
- Diminuer les contraintes internes générées par la trempe.
- Ajuster la dureté selon les exigences mécaniques.

➤ Types de revenu :

1. Revenu basse température (150-250°C)

- Conserve une dureté élevée et réduit la fragilité.
- Appliqué aux outils coupants et aux ressorts.

2. Revenu moyenne température (250-500°C)

- Augmente la résistance aux chocs.
- Utilisé pour les pièces mécaniques soumises à des efforts répétés.

3. Revenu haute température (500-700°C)

- Assure un bon compromis entre résistance et ductilité.
- Appliqué aux engrenages, axes et pièces de machines.⁷

I.2.2.4.4. Traitements thermochimiques

Les **traitements thermochimiques** modifient la **composition chimique de la surface** d'un métal pour améliorer ses propriétés (dureté, résistance à l'usure et à la corrosion).

1. Cémentation

- Diffusion de carbone en surface pour durcir la couche externe.
- Utilisée pour les engrenages et arbres de transmission.

2. Nitruration

- Diffusion d'azote pour augmenter la dureté superficielle.
- Utilisée pour les pièces de haute précision (injection plastique, outillage).

3. Carbonitruration

- Association de carbone et d'azote pour une meilleure résistance à l'usure.

4. Trempe par induction

- Chauffage localisé suivi d'un refroidissement rapide pour durcir la surface⁸.

I.2.3. Traitements mécaniques en métallurgie : Usinage à sec et usinage avec fluide de coupe

L'**usinage** est un procédé de fabrication qui consiste à enlever de la matière d'une pièce brute à l'aide d'un outil coupant. Il permet d'obtenir des pièces aux dimensions précises et aux états de surface adaptés aux exigences industrielles.

Il existe deux principales méthodes d'usinage :

1. **L'usinage à sec**, qui se fait sans lubrification.
2. **L'usinage avec fluide de coupe**, qui utilise un liquide pour améliorer les conditions d'usinage.

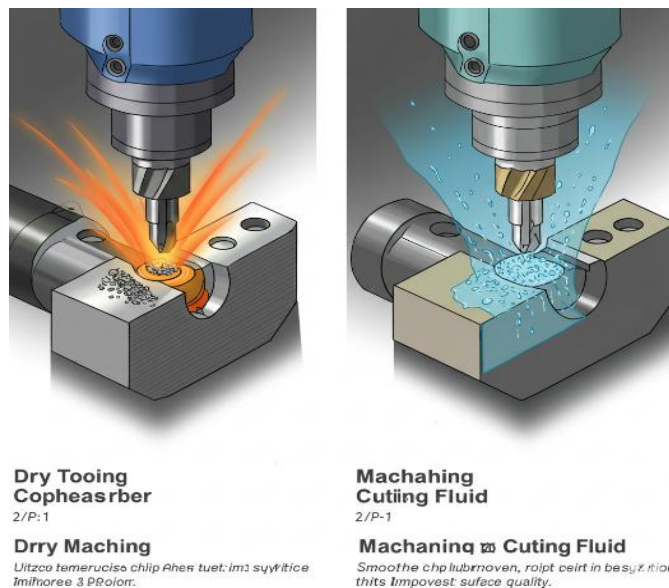


Figure 4 : usinage à sec et usinage à froid

I.2.3.1. Usinage à sec

L'**usinage à sec** est un procédé d'usinage réalisé **sans utilisation de fluide de coupe**. Il repose sur l'emploi d'outils résistants à la chaleur et sur l'optimisation des paramètres de coupe pour minimiser la génération de chaleur et l'usure des outils.

➤ Avantages de l'usinage à sec

- ❖ **Réduction des coûts**
 - Économie sur l'achat, la gestion et l'élimination des fluides de coupe.
 - Réduction des coûts de maintenance des machines-outils.
- ❖ **Impact environnemental réduit**
 - Pas de pollution liée aux fluides de coupe.
 - Moins de risques pour la santé des travailleurs (absence d'aérosols nocifs).
- ❖ **Amélioration de la propreté des pièces et des machines**
 - Pas de résidus d'huiles ou d'émulsions sur les pièces usinées.
 - Machines plus propres et maintenance simplifiée.
- ❖ **Réduction des risques pour la santé des opérateurs**
 - Pas d'exposition aux fluides de coupe potentiellement toxiques ou allergènes.
 - Moins de risques de dermatites et de troubles respiratoires.

➤ Inconvénients de l'usinage à sec

❖ Échauffement plus important des outils et des pièces

- Peut entraîner une usure prématurée des outils.
- Risque de déformation des pièces sensibles à la température.

❖ Diminution de la durée de vie des outils

- L'absence de fluide de coupe ne permet pas de réduire les frottements et l'usure des outils.

❖ Qualité de surface parfois inférieure

- Risque d'apparition de microfissures et d'arêtes rapportées sur la pièce usinée.
- Moins adapté aux matériaux difficiles à usiner (titane, inox, alliages de nickel).

❖ Production plus importante de poussières et de copeaux

- Peut nécessiter un système d'aspiration performant pour éviter l'accumulation de copeaux.

I.2.3.2. Usinage avec fluide de coupe

L'usinage avec fluide de coupe consiste à utiliser un liquide pour **réduire la chaleur et les frottements** générés lors de l'usinage. Les fluides de coupe jouent plusieurs rôles essentiels :

- **Lubrification** : réduit les frottements entre l'outil et la pièce.
- **Refroidissement** : évacue la chaleur pour éviter la surchauffe de l'outil et de la pièce.
- **Évacuation des copeaux** : améliore la propreté de la zone de coupe.
- **Protection contre la corrosion** : préserve les outils et les pièces usinées.⁹

I.2.3.2.1. Types de fluides de coupe

Il existe plusieurs catégories de fluides de coupe, chacune ayant des propriétés spécifiques adaptées aux différents procédés d'usinage.

a. Huiles entières

Les **huiles entières** sont des fluides de coupe **non miscibles à l'eau**. Elles sont composées d'huiles minérales, végétales ou synthétiques, parfois additionnées d'additifs améliorant leurs performances.

➤ Avantages

- Excellente lubrification, réduit fortement l'usure des outils.
- Bonne protection contre la corrosion
- Adaptées aux opérations d'usinage exigeant une haute précision (rectification, tournage de précision).

➤ Inconvénient

- Moins efficaces pour le refroidissement que les fluides à base d'eau.
- Génération de fumées et de brouillards huileux nocifs pour la santé des opérateurs
- Risques d'inflammabilité élevés.

➤ Applications

- Usinage de métaux difficiles (titane, aciers inoxydables).
- Filetage, rectification, alésage de haute précision.

b. Fluides émulsifiants (huiles solubles)

Les **fluides émulsifiants** sont des huiles minérales mélangées à de l'eau sous forme d'une **émulsion**. Ils offrent un bon équilibre entre lubrification et refroidissement.

➤ **Avantages**

- Très bon refroidissement grâce à la forte teneur en eau.
- Bonne lubrification, réduit l'usure des outils.
- Moins inflammable que les huiles entières.

➤ **Inconvénients**

- Sensible à la contamination bactérienne (risque de dégradation et d'odeurs désagréables).
- Nécessitent une surveillance et un entretien régulier (filtration, renouvellement).
- Risques de dermatites pour les opérateurs exposés.

➤ **Applications**

- Tournage, fraisage, perçage.
 - Usinage en grande série nécessitant un refroidissement efficace.

c. Fluides synthétiques

Les **fluides synthétiques** sont des solutions **sans huile** contenant des additifs spécifiques pour améliorer le refroidissement et la lubrification.

➤ **Avantages**

- Excellente capacité de refroidissement, idéal pour les opérations à grande vitesse.
- Faible tendance à la contamination bactérienne.
- Moins nocif pour la santé des opérateurs que les huiles traditionnelles.

➤ **Inconvénients**

- Moins efficaces en lubrification que les huiles entières.
- Peuvent être agressifs pour certains matériaux et machines.
- Risque de formation de dépôts résiduels sur les pièces et les outils.

➤ **Applications**

- Usinage de l'aluminium et des alliages légers.
- Rectification à haute vitesse

I.2.3.3. Comparaison entre usinage à sec et usinage avec fluide de coupe

Tableau 1: Comparaison entre usinage à sec et usinage avec fluide de coupe

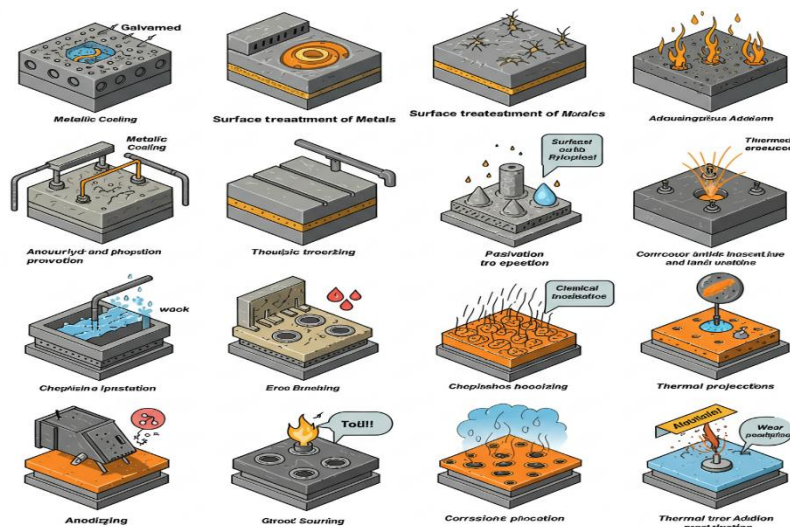
Critère	Usinage à sec	Usinage avec fluide de coupe
Coût	Économique. (pas de fluide)	Plus coûteux (achat, entretien)
Impact environnemental	Faible	Peut-être polluant (fluides usés)
Santé des opérateurs	Moins de risques d'exposition	Risque de dermatites, inhalation de brouillard
Durée des outils	Forte usure	Durée de vie prolongée
Qualité de surface	Moins bonne (échauffement)	Meilleure finition
Échauffement	Plus élevé	Refroidissement efficace
Évacuation des copeaux	Plus difficile	Facilitée

I.2.4. Traitement de surface des métaux

Le **traitement de surface** des métaux regroupe un ensemble de techniques visant à modifier les propriétés des surfaces métalliques afin d'améliorer leur **résistance à la corrosion, à l'usure, aux agressions chimiques ou mécaniques**. Ces traitements permettent aussi d'améliorer l'apparence des pièces et leur adhérence aux revêtements.

Les principales méthodes de traitement de surface comprennent :

1. **Les revêtements métalliques** (galvanisation, anodisation).
2. **Les procédés chimiques** (phosphatation, passivation).
3. **Les projections thermiques**¹⁰.

**Figure 5 : traitement de surface des métaux**

I.2.4.1. Revêtements métalliques

Les revêtements métalliques consistent à **recouvrir un métal d'une couche protectrice d'un autre métal** afin d'améliorer ses propriétés de résistance à la corrosion et à l'usure.

I.2.4.1.1. Galvanisation

La **galvanisation** consiste à recouvrir un métal, généralement de l'acier ou du fer, d'une couche de **zinc** afin de le protéger contre la corrosion.

- **Types de galvanisation**

1. **Galvanisation à chaud**

- Immersion de la pièce dans un bain de zinc en fusion (environ 450°C).
- Formation d'une couche protectrice qui empêche la corrosion.
- Très efficace pour les structures extérieures (poteaux, ponts, charpentes).

2. **Galvanisation électrolytique (zingage électrolytique)**

- Dépôt d'une fine couche de zinc par électrolyse.
- Surface plus esthétique mais moins résistante que la galvanisation à chaud.
- Utilisée pour des pièces automobiles, de quincaillerie, etc.

➤ **Avantages**

- Excellente Protection contre la corrosion.
- Bonne adhérence de la peinture sur le zinc.
- Faible coût et application simple.

➤ **Inconvénients**

- Sensible aux rayures et aux chocs.
- Peut s'oxyder en atmosphère acide ou saline.

I.2.4.1.2. Anodisation

L'anodisation est un traitement électrochimique qui permet d'augmenter l'épaisseur de la couche d'oxyde naturelle d'un métal, principalement l'aluminium.

➤ **Processus**

- La pièce est plongée dans un bain d'acide sulfurique et soumise à un courant électrique.
- Une couche d'oxyde d'aluminium se forme en surface.
- Possibilité d'ajouter des colorants pour obtenir différentes finitions esthétiques.

➤ **Avantages**

- Augmente la résistance à la corrosion et à l'usure.
- Améliore l'adhérence des peintures et vernis.
- Esthétique variée (coloration possible).

➤ **Inconvénients**

- Processus coûteux.
- Peut fragiliser l'aluminium s'il est mal réalisé.

➤ **Applications**

- Aéronautique (composants en aluminium).
- Industrie automobile (pièces décoratives).
- Électronique (boîtiers métalliques).

I.2.4.2. Procédés chimiques

I.2.4.2.1. Phosphatation

La **phosphatation** est un traitement chimique qui consiste à **former une couche de phosphate métallique** à la surface des aciers, du zinc ou de l'aluminium.

- **Objectifs**
 - Protéger contre la corrosion.
 - Favoriser l'adhérence des peintures et vernis.
 - Réduire le frottement dans les pièces en mouvement (lubrification améliorée).
- **Types de phosphatation**
 - **Phosphatation au zinc** : Bonne protection contre la corrosion.
 - **Phosphatation au fer** : Préparation de surface avant peinture.
 - **Phosphatation au manganèse** : Utilisée pour améliorer la lubrification (industrie mécanique).
- **Avantages**
 - Bonne adhérence des revêtements
 - Protection efficace contre l'oxydation.
 - Procédé simple et économique.
- **Inconvénients**
 - Moins efficace que la galvanisation pour les environnements agressifs.
 - Nécessite un entretien pour éviter la dégradation.

I.2.4.2.2. Passivation

La passivation est un procédé chimique qui consiste à former une couche d'oxyde protectrice sur un métal, notamment l'acier inoxydable.

- **Processus**
 - Immersion du métal dans une solution d'acide nitrique ou citrique.
 - Dissolution des impuretés et formation d'une couche passive protectrice.
- **Avantages**
 - Protection contre la rouille sans ajout de revêtement externe.
 - Maintien des propriétés mécaniques du métal.
 - Compatible avec l'industrie alimentaire et pharmaceutique.
- **Inconvénients**
 - Moins efficace en milieu acide ou chloré
 - Peut nécessiter un entretien régulier.
- **Applications**
 - Aéronautique.
 - Industrie médicale et alimentaire.

I.2.4.3. Projections thermiques

Les **projections thermiques** consistent à projeter un matériau en fusion ou semi-fondu sur une surface métallique pour créer un **revêtement protecteur** contre l'usure, la corrosion ou la chaleur.

- **Types de projections thermiques**

- **Flamme oxyacétylénique**
 - Utilise une flamme pour fondre un métal en poudre ou en fil.
 - Application économique mais limitée en précision.
- **Projection plasma**
 - Génération d'un plasma à très haute température (15 000°C).
 - Permet de déposer des revêtements en céramique, carbure de tungstène, etc.
 - Très utilisée dans l'aéronautique et l'industrie énergétique.
- **Projection HVOF (High Velocity Oxy Fuel)**
 - Utilise un jet de gaz à très haute vitesse pour projeter les particules fondues.
 - Excellente adhérence et densité du revêtement.
 - Utilisée pour les pièces mécaniques soumises à l'usure extrême.
- **Avantage**
 - Haute résistance à l'usure et à la chaleur.
 - Adapté aux pièces de grandes dimensions.
 - Large choix de matériaux de revêtement.
- **Inconvénients**
 - Coût élevé des équipements et des matériaux.
 - Nécessite une expertise technique avancée.
- **Applications**
 - Turbines d'avion.
 - Composants mécaniques de haute précision.
 - Protection de pièces en contact avec des milieux agressifs.

I.2.4.4. Comparaison des traitements de surface

Tableau 2 : Comparaison des traitements de surface

Méthode	Protection contre la corrosion	Résistance à l'usure	Esthétique	Coût	Applications
Galvanisation	Très bonne	Moyenne	Moyenne	Faible	Structures métalliques
Anodisation	Excellente (aluminium)	Bonne	Excellente	Élevé	Aéronautique, automobile
Phosphatation	Bonne	Moyenne	Moyenne	Faible	Pièces mécaniques
Passivation	Très bonne	Moyenne	Bonne	Faible	Médical, alimentaire
Projection thermique	Excellente	Excellente	Variable	Élevé	Aéronautique, outillage

I.3. Conclusion

Les procédés métallurgiques, essentiels à la production de métaux, génèrent des risques chimiques et toxicologiques, tels que l'exposition aux métaux lourds et aux HAP, entraînant des pathologies graves. Ces aspects soulignent l'interdépendance entre techniques industrielles et dangers pour la santé, appelant à des mesures de prévention comme l'automatisation, la ventilation, les EPI adaptés et la surveillance médicale pour concilier productivité et sécurité des travailleurs.

CHAPITRE 2 :

Risques chimiques
et toxicologiques
en métallurgie

II. Chapitre II : Risques chimiques et toxicologiques en métallurgie

II.1. Introduction

L'industrie métallurgique utilise et génère de nombreuses substances chimiques dangereuses pour la santé humaine. Parmi ces substances figurent des **métaux lourds toxiques** ainsi que des **hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)** contenus dans certains fluides de travail. Une exposition prolongée ou non contrôlée à ces substances peut engendrer de **graves pathologies**, notamment des atteintes neurologiques, respiratoires, des maladies de la peau et des cancers.

II.2. Les métaux toxiques en métallurgie

Plusieurs métaux utilisés dans les procédés métallurgiques présentent une toxicité importante, soit par inhalation, soit par contact cutané ou ingestion accidentelle.

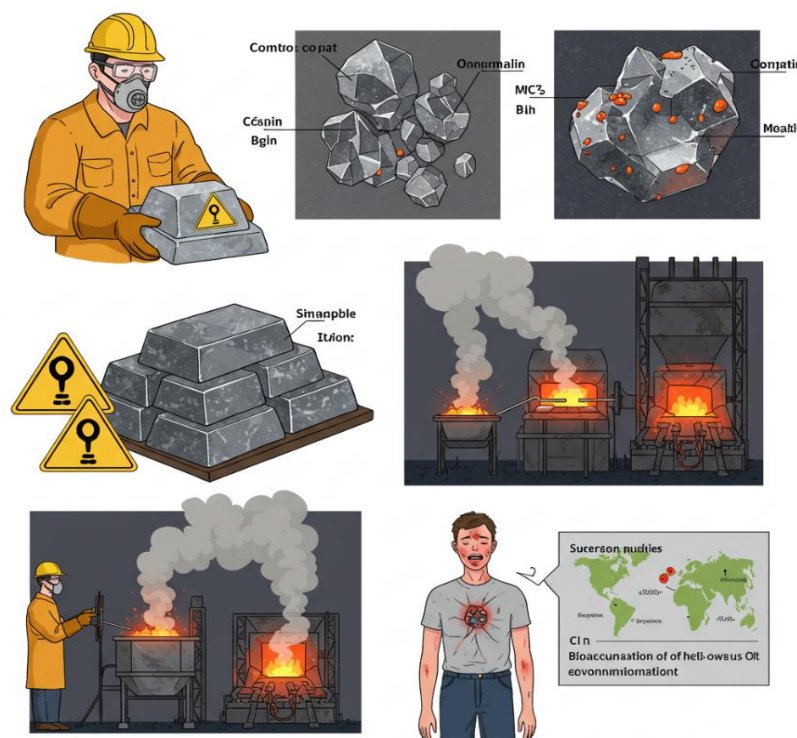


Figure 6 : risques chimiques et toxicologiques en métallurgie

➤ Principaux métaux toxiques

L'activité métallurgique implique l'utilisation de nombreux métaux qui, pour certains, présentent une toxicité importante. Ces métaux, en cas d'exposition prolongée ou mal contrôlée, peuvent engendrer de **graves effets sur la santé humaine**, notamment sur le système nerveux, respiratoire, immunitaire ou encore sur la fertilité. Les plus préoccupants sont le **plomb**, le **mercure**, le **cadmium** et le **chrome hexavalent**.

II.2.1. Plomb (Pb)

Le **plomb** est un métal lourd utilisé traditionnellement dans plusieurs procédés métallurgiques.

- **Applications** : fabrication d'alliages, soudure, accumulateurs (batteries), pigments, gaines de câbles.
- **Voies d'exposition** : inhalation de fumées ou poussières de plomb, ingestion de particules via les mains sales ou les vêtements contaminés.
- **Toxicité** :

Le plomb est **toxique à très faibles doses** et tend à s'accumuler dans l'organisme (surtout dans les os). Il est particulièrement dangereux pour les enfants et les femmes enceintes.

- **Effets sur la santé** :
 - **Atteinte du système nerveux central** : troubles neurologiques, maux de tête, fatigue, perte de mémoire, troubles de l'apprentissage (saturnisme).
 - **Troubles digestifs** : douleurs abdominales, vomissements, constipation.
 - **Anémie** : perturbation de la synthèse de l'hémoglobine.
 - **Risques pour la reproduction** : baisse de la fertilité, risques de malformations chez le fœtus.

II.2.2. Mercure (Hg)

Le **mercure** est un métal liquide à température ambiante, utilisé historiquement dans certains procédés industriels. En métallurgie, il peut encore être retrouvé dans :

- **Équipements anciens**, capteurs, thermomètres industriels, amalgames.
- **Vapeurs** issues de la manipulation de mercure métallique ou de déchets contaminés.

➤ Toxicité :

Le mercure est **hautement volatil** et **neurotoxique**, même à faibles concentrations. Il pénètre dans l'organisme principalement par voie respiratoire.

➤ Effets sur la santé :

- **Troubles neurologiques** : tremblements, irritabilité, insomnies, pertes de mémoire, troubles du langage.
- **Atteinte rénale** : diminution de la filtration glomérulaire, protéinurie.
- **Effets immunitaires** : réaction auto-immune, hypersensibilité.
- **Accumulation chronique** : symptômes ressemblant à des troubles psychiatriques.

II.2.3. Cadmium (Cd)

Le **cadmium** est utilisé dans les revêtements anticorrosion, la fabrication de batteries (Ni-Cd), les pigments et certaines applications de brasage.

- **Voies d'exposition** : principalement par **inhalation de fumées métalliques** lors de la fusion, soudage ou découpe de matériaux contenant du cadmium.

➤ Toxicité :

Le cadmium est **très toxique** pour les reins et les os, et est **classé cancérogène** par le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer).

➤ Effets sur la santé :

- **Cancers pulmonaires** : exposition prolongée aux fumées de cadmium.
- **Atteinte rénale chronique** : perte de protéines dans les urines, insuffisance rénale.
- **Démétallisations osseuse** : ostéoporose, fractures spontanées (syndrome d'Itai-Itai).
- **Irritations des voies respiratoires** : toux, essoufflement, bronchite chronique.

II.2.4. Chrome hexavalent (Cr^{6+})

Le **chrome hexavalent** est un agent oxydant puissant utilisé dans plusieurs traitements de surface :

- **Applications** : chromage électrolytique, passivation, peinture anticorrosion, production de pigments.
- **Voies d'exposition** : inhalation de poussières ou vapeurs, contact cutané avec des bains de traitement.
- **Toxicité** :

Le Cr^{6+} est **extrêmement toxique** et **cancérogène avéré**. Il pénètre facilement la peau et les muqueuses.¹¹

• Effets sur la santé :

- **Irritations respiratoires et cutanées** : rhinite, perforation de la cloison nasale, dermatites.
- **Cancers** : notamment **du poumon**, liés à une inhalation répétée de poussières contenant du Cr^{6+} .
- **Réactions allergiques** : eczéma de contact, sensibilisation chronique.
- **Effets systémiques** : potentiellement hépatotoxique et néphrotoxique.

II.3. Effets sur la santé

L'exposition chronique aux métaux toxiques utilisés en métallurgie constitue un risque majeur pour la santé des travailleurs. Ces substances peuvent s'introduire dans l'organisme par **inhalation**, **contact cutané** ou **ingestion accidentelle**, et s'y accumuler, provoquant à long terme des **dysfonctionnements graves** de plusieurs organes et systèmes biologiques. Ces effets dépendent de la **nature du métal**, de la **durée et de la fréquence de l'exposition**, ainsi que de la **sensibilité individuelle**.

II.3.1. Atteintes neurologiques

Certains métaux lourds, comme le plomb ou le mercure, possèdent une **neurotoxicité élevée**. Ils affectent le système nerveux central et périphérique.

- **Troubles cognitifs** : baisse de la concentration, troubles de l'attention, difficultés d'apprentissage.
- **Perte de mémoire** : altération des fonctions mnésiques (surtout en cas d'exposition au mercure ou au plomb).
- **Troubles moteurs** : tremblements, faiblesse musculaire, troubles de la coordination.
- **Atteintes du développement cérébral** : particulièrement dangereuses chez les enfants exposés in utero (plomb).

II.3.2. Troubles respiratoires

Les métaux inhalés sous forme de **poussières, fumées ou vapeurs** peuvent irriter et endommager l'appareil respiratoire, entraînant des pathologies aiguës ou chroniques :

- **Asthme professionnel** : provoqué par des réactions inflammatoires ou allergiques, notamment avec le chrome hexavalent.
- **Bronchites chroniques** : toux persistante, essoufflement, inflammation continue des bronches.
- **Cancers du poumon** : fortement associés à l'exposition prolongée au cadmium ou au chrome hexavalent.
- **Irritation nasale** : perforation de la cloison nasale, fréquente avec le chrome.

II.3.3. Atteintes rénales et hépatiques

Les reins et le foie sont des organes clés dans l'élimination des toxines. L'accumulation de métaux peut provoquer :

- **Insuffisance rénale chronique** : perte de la capacité des reins à filtrer correctement le sang (cadmium, mercure).
- **Protéinurie** : perte anormale de protéines dans les urines.
- **Atteinte hépatique** : élévation des enzymes hépatiques, inflammation chronique, altération de la détoxification.

II.3.4. Perturbations du système hématopoïétique

Certains métaux altèrent la production normale des cellules sanguines, entraînant des troubles sanguins :

- **Anémie** : réduction du taux d'hémoglobine due à l'inhibition de la synthèse ou à une destruction accrue des globules rouges (souvent causée par le plomb).
- **Perturbation des globules blancs** : diminution des défenses immunitaires.
- **Effets sur la moelle osseuse** : dans les cas extrêmes, certaines formes d'intoxication peuvent altérer la moelle et induire des troubles plus graves.

II.3.5. Effets sur la reproduction et le développement

Les métaux toxiques peuvent également agir comme **perturbateurs endocriniens**, affectant la fertilité et le bon développement embryonnaire :

- **Baisse de la fertilité** : altération de la spermatogenèse (plomb, cadmium), troubles hormonaux.
- **Troubles menstruels** : cycle irrégulier, douleurs, aménorrhée.
- **Risques tératogènes** : malformations congénitales, retard de développement intra-utérin.
- **Fausses couches et accouchements prématurés** : surtout en cas d'exposition élevée au plomb ou au mercure pendant la grossesse.

II.4. Normes et Réglementation de sécurité

Face aux dangers que présentent les métaux toxiques pour la santé des travailleurs, les autorités nationales et européennes ont mis en place un **ensemble de réglementations strictes**. Ces dispositions visent à **limiter l'exposition professionnelle**, à **renforcer la prévention des risques**, et à **protéger la santé publique** sur les lieux de travail.

II.4.1. Décrets algériens cités dans ce texte relatif aux risques miniers

Tableau 3 : Décrets algériens relatifs aux risques miniers

Décret	Sujet	Lien avec les risques
Loi n° 14-05 du 24 février 2014	Loi minière	Contient les articles 63, 64, 106, 124, 125, 126 qui imposent les exigences sur la sécurité, l'hygiène, la conservation des gisements, la remise en état
Décret exécutif n° 06-198 du 31 mai 2006	Réglementation des établissements classés	Réglemente les établissements à risques pour l'environnement (y compris sites miniers)
Décret exécutif n° 07-144 du 19 mai 2007	Nomenclature des installations classées	Définit les types d'installations minières soumises à autorisation environnementale
Décret exécutif n° 07-145 du 19 mai 2007	Études d'impact environnemental	Rend obligatoires les études et notices d'impact pour les projets miniers
Décret n° 85-231 du 25 août 1985	Organisation des secours en cas de catastrophes	Visa la gestion des situations d'urgence, y compris celles liées à l'exploitation minière
Décret n° 85-232 du 25 août 1985	Prévention des risques de catastrophes	Traite de la prévention des catastrophes naturelles et industrielles, y compris minières

➤ Aspects liés aux risques miniers traités dans le décret 18-202 :

- **Études d'impact environnemental obligatoires** (Art. 27 et 40)
- **Obligations de sécurité publique et industrielle** (Art. 28 et 42)
- **Remise en état des lieux après exploitation** (Art. 28 et 42)
- **Suspension et retrait des permis en cas de non-respect** (Articles 58 à 64)

- **Obligation de dépôt de rapports périodiques sur l'activité minière** (Art. 28, 42, 53)

II.4.2. Valeurs Limites d'Exposition Professionnelle (VLEP)

Les VLEP définissent les **concentrations maximales admissibles** d'un agent chimique dans l'air des lieux de travail. Ces valeurs peuvent être :

- **VLEP-8h** : moyenne sur une journée de travail (exposition chronique).
- **VLEP-Court terme (VLEP-CT)** : sur une période de 15 minutes (exposition aiguë).

Exemples de VLEP (données indicatives) :

- **Plomb**: 0,05 mg/m³ (VLEP-8h)
- **Cadmium** : 0,001 mg/m³
- **Chrome VI** : 0,005 mg/m³
- **Mercure** : 0,02 mg/m³¹²

Ces seuils doivent impérativement être respectés sous peine de sanctions, et des **mesures correctives** doivent être prises en cas de dépassement.

Surveillance médicale renforcée

Les travailleurs exposés à des substances toxiques font l'objet d'un **suivi médical spécifique**, qui comprend :

- Visites médicales préalables à l'embauche puis périodiques (au moins une fois par an).
- **Bilan biologique régulier** : dosages sanguins ou urinaires du métal concerné (plombémie, cadmiurie, etc.).
- **Dossier médical individuel** mis à jour par le médecin du travail.

Cette surveillance permet de **détecter précocement des signes d'intoxication** et de prendre les mesures nécessaires (changement de poste, arrêt de travail, etc.).

Substitution des substances dangereuses

Conformément au principe de prévention, la loi impose de remplacer toute substance dangereuse par une autre moins nocive lorsqu'une telle substitution est techniquement et économiquement possible.

Exemples :

- Remplacer le **chrome VI** par du **chrome trivalent (Cr III)** moins toxique.
- Remplacer les **revêtements au cadmium** par des revêtements zinc-nickel.

Équipements de Protection Individuelle (EPI)

Lorsque les mesures collectives ne suffisent pas à réduire l'exposition, le **port d'EPI est obligatoire** :

- **Masques filtrants** (P3 ou à cartouches spécifiques) contre les poussières et vapeurs métalliques.
- **Gants adaptés** aux produits chimiques manipulés.

- **Vêtements de protection**, lunettes, protections auditives selon les conditions de travail.

Les EPI doivent être **entretenus, vérifiés et changés régulièrement** pour conserver leur efficacité.

.Ventilation, captation à la source et contrôles techniques

La prévention passe aussi par des aménagements techniques des postes de travail :

- Captation des polluants à la source (bras aspirants, hottes).
- **Systèmes de ventilation générale** pour le renouvellement de l'air.
- Entretien régulier des installations (filtres, extracteurs, capteurs).
- **Mesures atmosphériques régulières** pour vérifier le respect des VLEP.

II.4.5. Textes réglementaires de référence

Les principales sources réglementaires en vigueur en France et en Europe comprennent :

II.4.5.1. Code du travail (France)

- **Articles R.4412-149 à R.4412-160** : régissent la prévention des risques liés aux agents chimiques dangereux.
- Obligation d'évaluation des risques, information des salariés, mise en œuvre des mesures de prévention.
- **Règlement REACH (CE n° 1907/2006)**
 - Encadre l'**enregistrement**, l'**évaluation**, l'**autorisation** et la **restriction** des substances chimiques.
 - Implique les producteurs/importateurs dans la gestion des risques liés aux substances dangereuses.
- **Règlement CLP (CE n° 1272/2008)**
 - Concerne la **classification**, l'**étiquetage** et l'**emballage** des produits chimiques selon leur danger.
 - Oblige à informer clairement sur les dangers via pictogrammes, mentions de danger et conseils de prudence.

II.5. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) fluides

II.5.1. Définition

Les **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)** sont une **famille de composés organiques** caractérisés par la présence de **plusieurs cycles benzéniques (aromatiques) fusionnés**. Ils sont lipophiles, peu solubles dans l'eau, mais très stables chimiquement, ce qui les rend **persistants dans l'environnement** et susceptibles de **s'accumuler dans l'organisme**.

II.5.2. Sources d'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en métallurgie :

En métallurgie, les **hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)** sont des **polluants fréquents** générés ou présents dans plusieurs **processus de production**. Ils proviennent principalement de l'emploi de **produits pétroliers non raffinés**, de la **chauffe des matières organiques**, ou encore de la **mauvaise combustion** de matériaux contenant du carbone¹³.

Voici les principales **sources spécifiques aux activités métallurgiques** :

II.5.2.1. Huiles minérales non raffinées

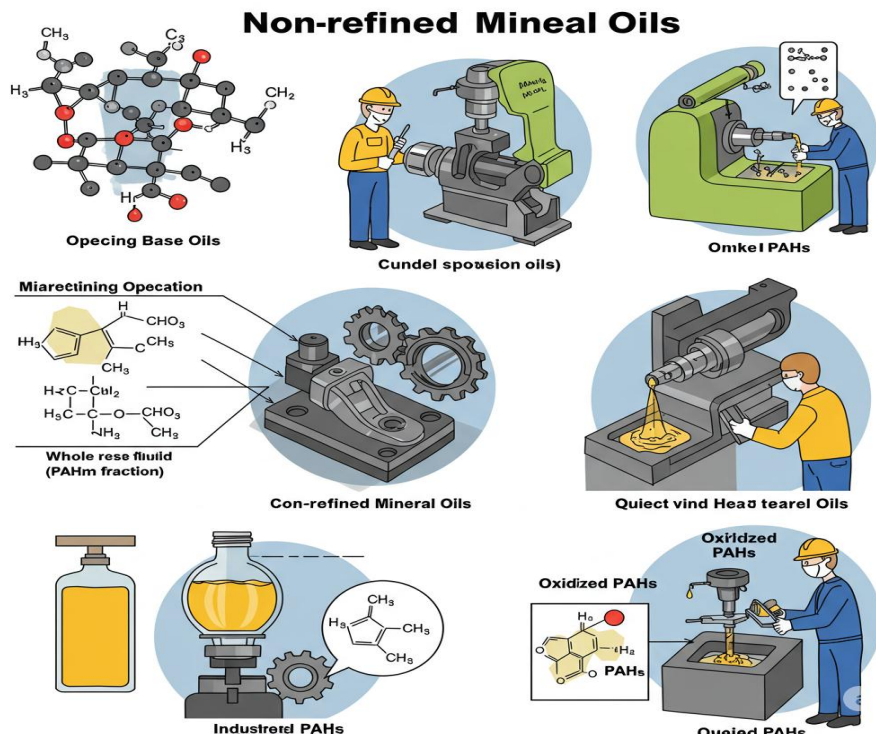
Les **huiles de base minérales**, notamment celles qui ne sont **pas suffisamment raffinées**, contiennent naturellement des fractions riches en HAP. Ces huiles sont très utilisées dans les environnements métallurgiques pour leurs propriétés lubrifiantes et refroidissantes.

➤ Exemples d'applications :

- **Fluides de coupe entiers** (non miscibles à l'eau) dans les opérations d'usinage (tournage, perçage, fraisage).
- **Lubrifiants** pour engrenages, chaînes, presses ou autres équipements mécaniques.
- **Huiles de trempe** utilisées dans certains traitements thermiques.

➤ Risques :

- **Contact cutané prolongé ou répété** avec ces huiles expose directement les opérateurs aux HAP.
- Si les huiles sont **usagées ou dégradées thermiquement**, elles peuvent contenir des concentrations encore plus élevées de HAP oxydés.



II.5.2.2. Résidus de combustion (soudure, forge, traitements thermiques)

Figure 7 : huiles minérales non raffinées

Les procédés métallurgiques impliquant de fortes températures favorisent la formation de HAP, surtout si des résidus organiques sont présents sur les pièces ou dans les matériaux environnants.

➤ **Exemples de processus générateurs :**

- **Soudure à l'arc**, au gaz ou par résistance : les fumées émises lors de la fusion des métaux ou des électrodes peuvent contenir des particules carbonées et des HAP.
- **Forge industrielle** et chauffage de pièces : les huiles résiduelles sur les pièces, les enduits ou les liants organiques peuvent se pyrolyse sous l'effet de la chaleur.
- **Traitements thermiques** (recuit, trempe, normalisation) : en atmosphère non contrôlée, des produits de décomposition d'huiles ou de graisses peuvent être émis sous forme de vapeurs chargées en HAP.

➤ **Risques :**

- **Inhalation de fumées** ou de gaz chauds dans les ateliers mal ventilés.
- **Absence de filtration efficace** des émanations lors du chauffage ou du soudage.

II.5.2.3. Vapeurs et brouillards d'huile dans les ateliers d'usinage

Lors des opérations d'usinage avec fluide de coupe, les huiles sont projetées à grande vitesse sur la pièce et l'outil. Cela crée une **atomisation du fluide**, produisant un **brouillard d'huile** dans l'air ambiant.

➤ **Conditions propices à l'exposition :**

- Usinage avec des **fluides entiers ou semi-synthétiques**.
- **Systèmes d'aspiration insuffisants** ou défaillants.
- Présence de **machines anciennes** sans capotage ou protection hermétique.
- Activités de **nettoyage de machines-outils** contenant des résidus d'huiles.

➤ **Risques :**

- **Inhalation directe** de microgouttelettes d'huile contenant des HAP.
- **Dépôt cutané** sur le visage, les mains, ou les bras en l'absence d'équipement de protection.
- **Contamination de l'environnement de travail**, notamment des sols, outils, vêtements et surfaces de contact.

II.5.3. Les expositions :

II.5.3.1. Inhalation des brouillards d'huiles

L'inhalation constitue l'une des voies principales d'exposition professionnelle aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et autres substances nocives présentes dans les fluides de travail.

➤ **Mécanisme d'exposition :**

Lors de l'utilisation de **fluides de coupe, huiles entières ou semi-synthétiques**, ceux-ci sont souvent pulvérisés à haute pression sur les zones de travail (pièce + outil). Cette action génère un **brouillard d'huile**, composé de **microgouttelettes en suspension dans l'air**.

- Ce brouillard peut :
 - Contenir des **HAP** présents naturellement dans les huiles minérales non raffinées,
 - Incorporer des **produits de dégradation thermique** (oxydation, pyrolyse),
 - Être **inhale par les opérateurs** à proximité de la zone d'usinage, en particulier en l'absence d'aspiration ou de ventilation adaptée.
- **Conséquences sanitaires possibles :**
 - Irritation des **voies respiratoires** (toux, gêne, asthme professionnel),
 - Dépôt de composés toxiques dans les **alvéoles pulmonaires**,
 - Risques de **cancers respiratoires** en cas d'exposition chronique aux HAP.
- **Situations à risque accru :**
 - Usinage dans des ateliers mal ventilés,
 - Absence de capotage ou d'aspiration localisée sur les machines,
 - Utilisation de fluides anciens ou mal entretenus (fortement contaminés).

II.5.3.2. Contact cutané prolongé avec des fluides souillés

La peau constitue une **porte d'entrée importante** pour les substances liposolubles comme les HAP, surtout en cas de contact **fréquent, prolongé ou répété** avec des fluides industriels contaminés.

- **Mécanisme d'exposition :**
- Les **mains, avant-bras, et parfois le visage** sont souvent exposés lors :
 - Du remplissage ou du changement des fluides de coupe,
 - Du nettoyage des pièces ou des machines,
 - De la maintenance (graissage, démontage de pompes, filtres, etc.).
- Les fluides souillés sont parfois **absorbés par la peau**, surtout si :
 - Le port de gants n'est pas systématique ou inadapté,
 - La peau est humide, lésée, ou en contact prolongé (sous les gants),
 - Le travail est effectué en environnement chaud (sudation).
- **Conséquences sanitaires possibles :**
 - Apparition de **dermatoses** (eczéma, irritation, dermatite allergique),
 - Risques de **cancers cutanés** à long terme (ex. : cancer du scrotum historiquement observé chez les machinistes exposés aux huiles industrielles),
 - **Accumulation systémique de HAP** par voie cutanée (pouvant affecter d'autres organes à distance).

II.5.3.3. Manutention de pièces métalliques contaminées

Les pièces métalliques, après usinage ou traitement, peuvent **conserver à leur surface** des résidus de fluides ou de graisses contenant des substances toxiques, notamment des HAP.

➤ **Mécanisme d'exposition :**

- Lors du **déchargement, du tri, du nettoyage ou du contrôle qualité**, les opérateurs manipulent ces pièces sans toujours porter de gants.
- Le contact avec des **pièces grasses ou huileuses** provoque une contamination directe des mains et des vêtements.
- Ces substances peuvent également se transférer sur :
 - Les **instruments de travail** (pince, clé, support),
 - Les **surfaces de contact** (bancs, établis),
 - Ou être **ingérées accidentellement** si les mains ne sont pas lavées avant de manger ou fumer.

➤ **Conséquences sanitaires possibles :**

- **Irritation cutanée** immédiate ou différée,
- **Contamination croisée** des postes de travail (risques pour d'autres collègues),
- **Ingestion accidentelle de contaminants** avec les risques systémiques associés.

II.5.4. Effets sur la santé des HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques)

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des **polluants organiques persistants** dont plusieurs composés sont classés **cancérogènes certains** (groupe 1 selon le CIRC – Centre International de Recherche sur le Cancer). L'exposition aux HAP en milieu professionnel, notamment en métallurgie, peut avoir des **effets sanitaires graves et irréversibles**, surtout lors d'expositions prolongées ou mal contrôlées.

II.5.4.1. Cancérogénicité des HAP

Certains HAP, comme le **benzo[a]pyrène**, sont fortement **génotoxiques** : ils peuvent interagir avec l'ADN et provoquer des mutations cellulaires. Cette propriété les rend responsables de divers types de cancers, souvent reconnus comme **maladies professionnelles**.¹⁴

➤ **Principaux cancers associés :**

- **Cancer cutané :**
Observé notamment chez les opérateurs en contact prolongé avec des huiles contaminées. Historiquement décrit chez les travailleurs de la métallurgie (ex. : cancer du scrotum chez les machinistes).
- **Cancer pulmonaire :**
Résulte de l'inhalation de fumées, vapeurs ou brouillards d'huiles contenant des HAP. Le risque est accentué dans les environnements mal ventilés.
- **Cancer de la vessie :**
Lié à la métabolisation des HAP dans l'organisme, suivie de leur élimination par voie urinaire. Ces composés peuvent provoquer des lésions chroniques sur l'épithélium vésical.

Remarque : L'exposition simultanée à d'autres substances toxiques (comme les métaux lourds ou les solvants) peut **renforcer la cancérogénicité** des HAP par **effet synergique**.

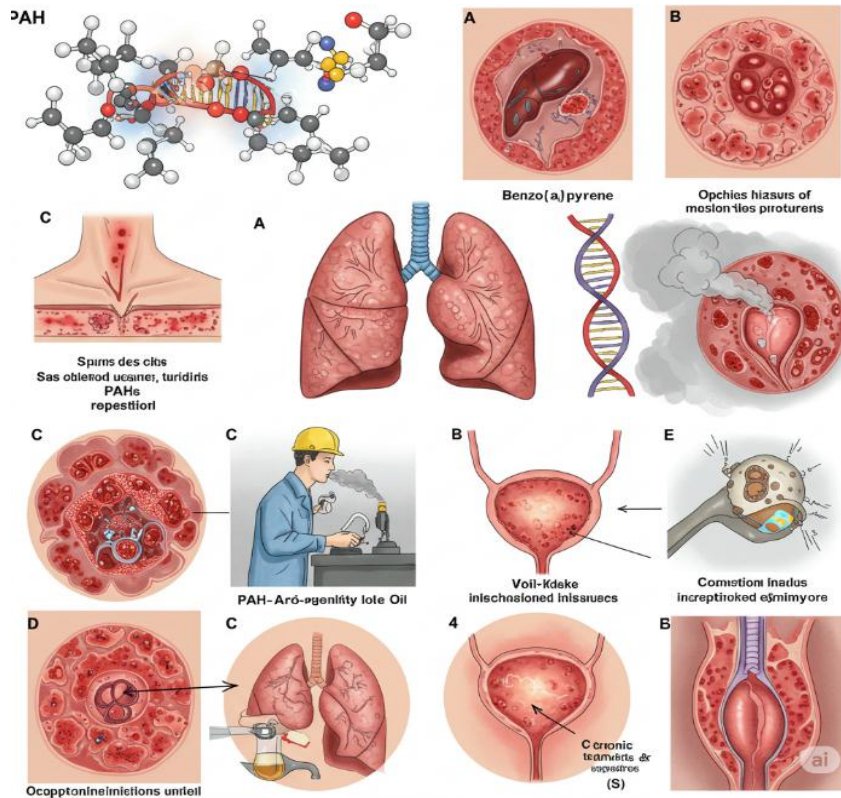


Figure 8 : : Cancérogénicité des HAP

II.5.4.2. Dermatoses professionnelles

Le contact fréquent avec des huiles contaminées en HAP peut provoquer **des pathologies cutanées**.

- **Types de troubles dermatologiques :**
 - **Eczéma de contact :**
Rougeurs, démangeaisons, lésions suintantes au niveau des mains, avant-bras, poignets, surtout en cas de contact prolongé avec des fluides non nettoyés.
 - **Folliculites :**
Inflammations des follicules pileux, souvent observées au niveau des avant-bras, cuisses ou abdomen (zones en contact avec les vêtements imprégnés d'huile).
 - **Hyperkératoses et verrucosités :**
Épaississements localisés de la peau, parfois précurseurs de lésions précancéreuses.

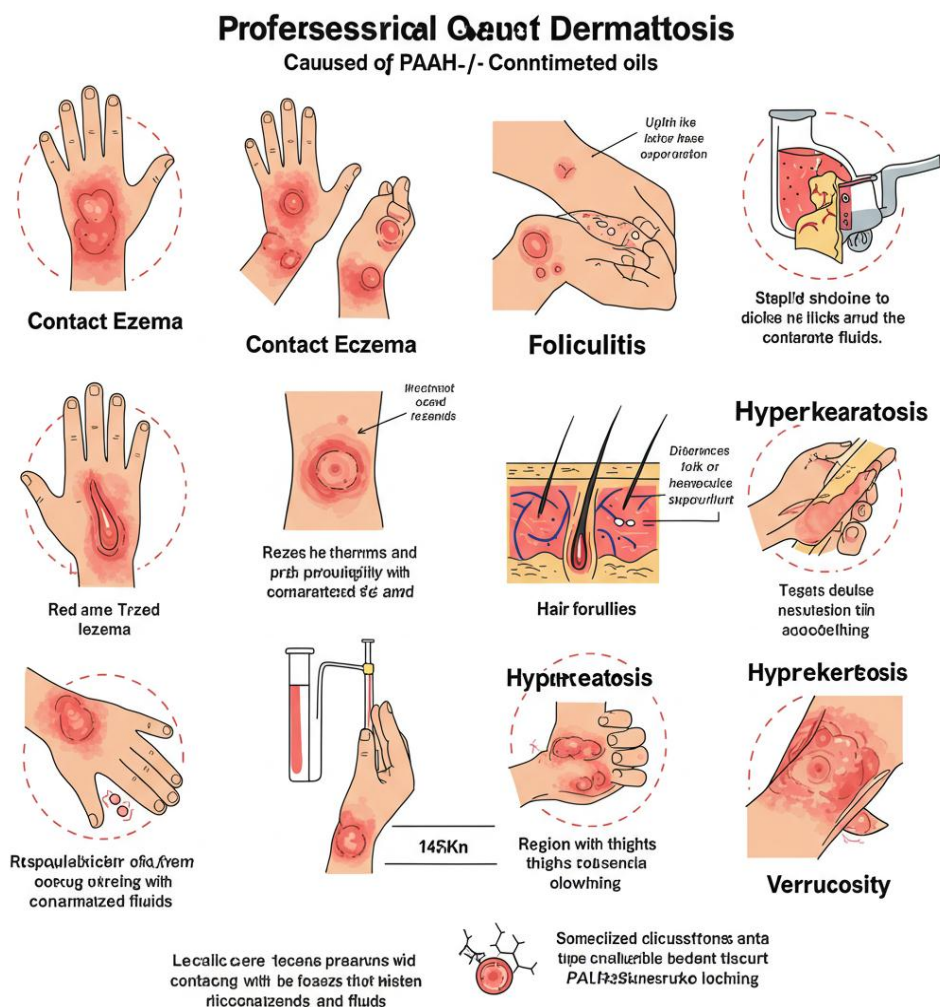


Figure 9 : dermatose professionnelle

II.5.4.3. Irritations oculaires et respiratoires

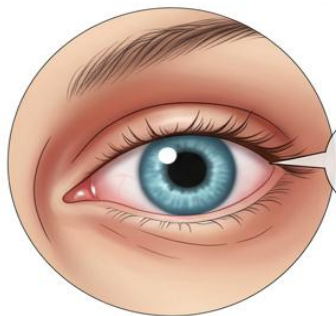
Même à **faible dose**, les HAP peuvent causer une **irritation aiguë des muqueuses**, notamment en cas de brouillard d'huile, de fumée ou de vapeur mal captée.

➤ **Symptômes fréquents :**

- **Yeux** : picotements, rougeurs, conjonctivite, larmoiement.
- **Nez** : écoulement nasal, sécheresse, irritation des sinus.
- **Gorge et voies respiratoires** : toux sèche, enrouement, gêne respiratoire, voire bronchite.

Ces troubles sont souvent sous-estimés, mais ils traduisent une exposition directe à des substances toxiques dans l'air ambiant.

Eye and respiratory irritations PAHs et to PAHs

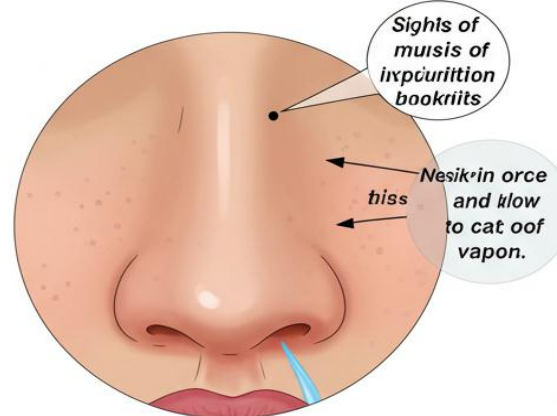


Wiedioxe P talids ruitrs no thre anty
om lcarted of smokstf oil mist;
capured vapor.

Dry cough
Hoarèness
dissactestfen

Dry cough
dissafctory
bronchtis.

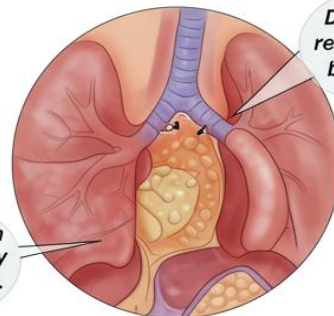
Eye and respiratory irritations expeiat dossed, execisle to thrececilaed a execcifot oil /mist., or smok, e smoks or ovpollly capuatte aptured vur.por.



Sighis of
muisis of
ixpcuriition
bookriits

Nesik-in orce
hiss
to cat oof
vapon.

Veliv uileg luyit aironee anp losthe
Suelrus to runos, esecit at
pollly catrue vapor.



Dry cough
reptironctery
bronchitts.

Pupirind to oureired coisiation rapilly
disfarocellit ar'nnoectire lniint

Figure 10 : irritations oculaires et respiratoires

II.5.4.4. Risques accrus en cas d'exposition combinée

En milieu métallurgique, les opérateurs sont souvent exposés **simultanément** à plusieurs agents chimiques : **HAP**, **métaux lourds** (plomb, chrome, cadmium...), **solvants organiques**, etc.

➤ Conséquences de l'exposition multiple :

- **Effets cumulatifs** : plusieurs toxiques peuvent cibler les mêmes organes (poumons, foie, reins), ce qui augmente la charge toxique globale.
- **Effets synergiques** : certaines substances amplifient les effets des HAP (ex. : les solvants facilitent leur absorption cutanée ou respiratoire).
- **Effets différés** : certaines pathologies (notamment cancéreuses ou neurologiques) peuvent apparaître **des années après l'exposition**.

Cela justifie une **surveillance médicale renforcée** pour les travailleurs exposés à des mélanges de substances dangereuses

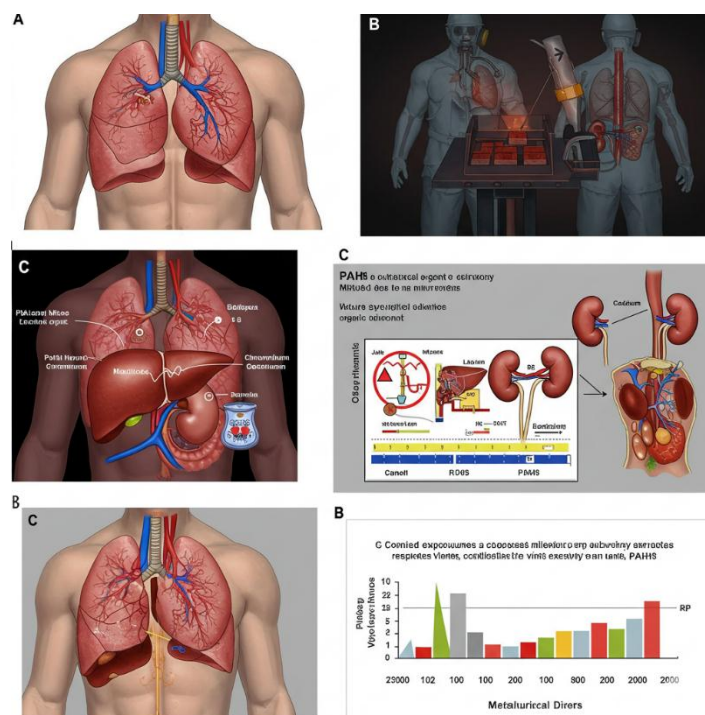


Figure 11 : conséquences de l'exposition aux plusieurs agents chimiques

II.5.5. Mesures de prévention et de protection contre les HAP en métallurgie

La présence de **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)** dans l'environnement de travail représente un **risque important pour la santé** des opérateurs. Pour limiter leur exposition, il est essentiel de mettre en place des **stratégies de prévention à plusieurs niveaux** : technique, individuelle, organisationnelle et médicale.

II.5.5.1. Prévention technique

Les mesures de prévention technique représentent la **première ligne de défense** contre l'exposition aux Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP) en milieu métallurgique. L'objectif principal est de **réduire ou éliminer les émissions à la source**, c'est-à-dire au moment même où les HAP peuvent être libérés dans l'environnement de travail.

II.5.5.1.1. Choix des produits et procédés

a. Substitution des fluides de coupe

La composition chimique des fluides de coupe joue un rôle clé dans la prévention de l'exposition aux HAP. Il est essentiel de **choisir des fluides ayant une faible teneur en composés aromatiques** :

- **Huiles faiblement aromatiques :**
 - Issues de procédés de raffinage sévère (raffinage hydrotraité, désaromatisation).
 - Réduction importante de la présence de HAP par rapport aux huiles brutes.
- **Fluides synthétiques :**
 - Constitués d'eau et d'additifs, ne contiennent pas ou très peu de composants pétroliers.
 - Moins polluants, moins odorants, et souvent biodégradables.
- **Éviter les huiles entières minérales non traitées :**
 - Ces huiles sont directement issues de la distillation du pétrole brut.
 - Elles contiennent une proportion élevée de HAP et représentent un danger sanitaire élevé.

b. Utilisation de lubrifiants exempts de HAP

- Choisir des **lubrifiants industriels conformes aux réglementations européennes :**
 - **REACH** (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques).
 - **CLP** (classification, étiquetage, emballage des produits chimiques).
- Lire attentivement les **fiches de données de sécurité (FDS)** pour vérifier la présence de substances préoccupantes.
- S'assurer que les fournisseurs proposent des produits étiquetés comme **non cancérogènes ou à faible toxicité**.

II.5.5.2. Maîtrise de l'environnement de travail

a. Aspiration à la source

L'aspiration à la source consiste à **capturer les polluants dès leur émission**, avant qu'ils ne se diffusent dans l'air ambiant. C'est l'une des techniques les plus efficaces pour maîtriser les brouillards d'huile contaminés par les HAP.

- Installer des dispositifs d'aspiration localisée sur :
 - **Tours, fraiseuses, rectifieuses, centres d'usinage CNC.**
 - Postes de **nettoyage** ou de **maintenance** susceptibles d'émettre des vapeurs ou des projections d'huiles.
- L'aspiration doit être :
 - Suffisamment **puissante**,
 - **Positionnée près de la source d'émission**,
 - **Équipée de filtres adaptés** (filtres à coalescence, filtres HEPA, etc.).

b. Ventilation générale

Complémentaire à l'aspiration localisée, la ventilation générale permet de **renouveler l'air de l'atelier** et de diluer les polluants résiduels.

- Mise en place de systèmes de **ventilation mécanique contrôlée (VMC industrielle)**.
- Conception du bâtiment favorisant une **bonne circulation de l'air** (aérations, extractions, hauteur sous plafond).

- **Éviter les zones confinées**, les recoins mal ventilés, et s'assurer de l'absence de recirculation d'air pollué.

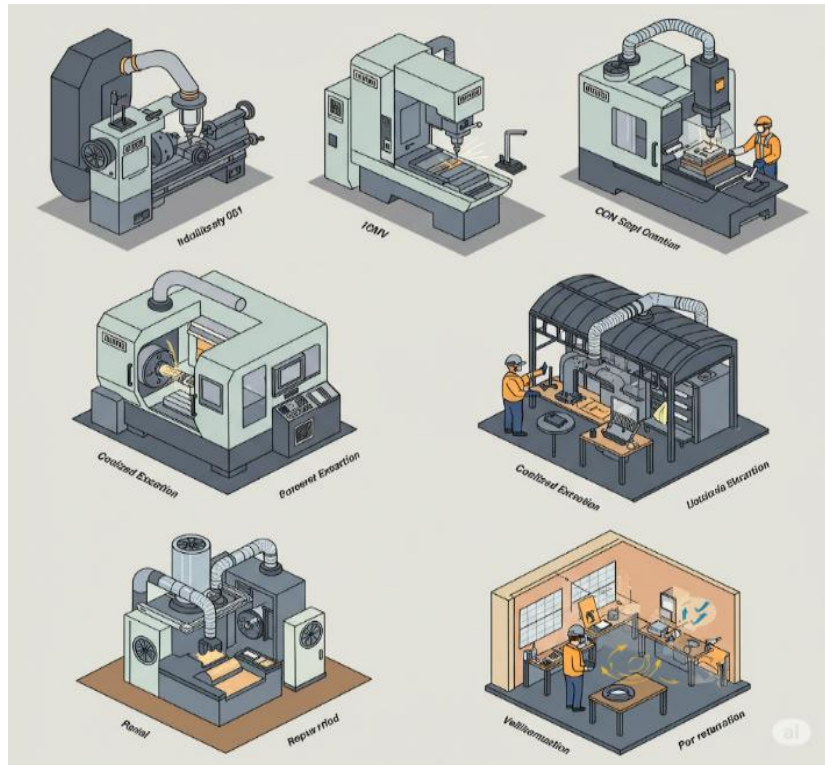


Figure 12 : l'environnement de travail.

II.5.5.3. Automatisation des tâches dangereuses

Réduire l'intervention humaine dans les postes à forte émission de HAP permet de limiter considérablement les risques d'exposition.

a. Réduction de l'exposition directe

- **Automatiser les opérations à haut risque**, notamment :
 - L'**usinage intensif** avec production massive de brouillards d'huiles.
 - Le **nettoyage manuel des machines**, où les opérateurs sont exposés à des résidus d'huiles ou de fluides usagés.
- Utilisation de **robots industriels** ou de **bras automatisés** :
 - Permet de maintenir une distance entre le travailleur et la zone contaminée.
 - Réduit la fréquence et la durée de l'exposition humaine.

b. Utilisation de systèmes télécommandés

- Dans les zones confinées ou difficiles d'accès (intérieur de cuves, chambres de traitement thermique), privilégier :
 - Des **outils de manipulation à distance**.
 - Des **systèmes de lavage automatisés** ou en circuit fermé

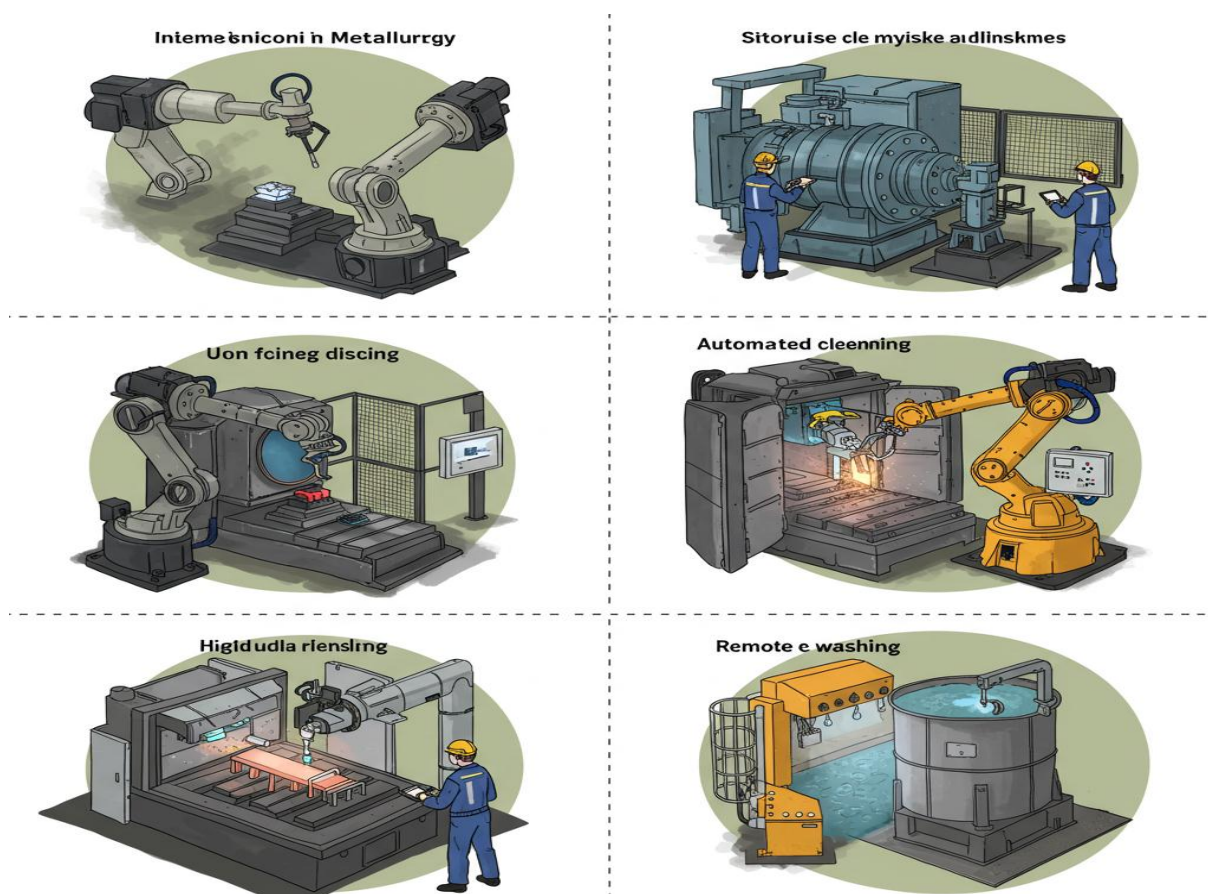


Figure 13 : : utilisation des systèmes télécommandés et automatisés

II.5.5.4. Protection individuelle

Lorsque les **mesures techniques** de prévention ne permettent pas une **élimination totale des risques**, il est crucial de mettre en place des **équipements de protection individuelle (EPI)** pour protéger les opérateurs contre l'exposition aux **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)** et autres substances toxiques en métallurgie. Ces protections visent à réduire les risques de contamination par contact direct ou par inhalation.

II.5.5.4.1. Protection cutanée

Le contact direct avec les **fluides de coupe**, huiles et autres produits chimiques peut entraîner des irritations cutanées, des dermatoses ou une absorption de substances toxiques par la peau. Pour cela, une protection adaptée est indispensable.

II.5.5.4.2. Gants de protection

- **Matériaux résistants aux hydrocarbures :**

- Choisir des gants fabriqués à partir de matériaux **résistants aux huiles et aux fluides industriels**, tels que le nitrile, le néoprène ou les gants en PVC.
- Ces gants doivent offrir une **bonne étanchéité** et une **résistance à la dégradation par les solvants**.

- **Changement régulier des gants :**

- Les gants doivent être remplacés dès qu'ils sont **souillés** ou **endommagés** pour garantir leur efficacité.
- Il est conseillé de vérifier régulièrement l'état des gants et d'éviter de les laisser en contact avec des fluides pendant de longues périodes.

II.5.5.4.3. Vêtements professionnels spécifiques

- **Combinaisons anti-huiles :**

- Les **combinaisons de travail** doivent être fabriquées à partir de tissus **résistants aux huiles et produits chimiques**, comme des tissus enduits de PVC ou de polyester.
- Ces vêtements doivent couvrir l'intégralité du corps pour éviter tout contact avec les fluides contaminés.

- **Manches longues et chaussures fermées :**

- Port de **manches longues** pour protéger les bras.
- **Chaussures fermées**, résistantes aux huiles et autres produits chimiques, pour protéger les pieds en cas de projections.

- **Lavage des vêtements :**

- Il est impératif que les **vêtements de travail** soient régulièrement lavés pour enlever toute contamination. Si possible, des **machines de lavage spécifiques** doivent être utilisées.
- **Éviter de porter les vêtements souillés** à l'extérieur des zones de travail pour prévenir la contamination croisée.



Figure 14 : : protection individuelle des mains

II.5.4.4. Protection respiratoire

Les travailleurs en métallurgie sont souvent exposés à des **brouillards d'huile** et à des **vapeurs contenant des HAP**, qui peuvent avoir des effets graves sur les voies respiratoires. Il est donc crucial de **protéger les voies respiratoires**.

a. Masques filtrants (FFP2 ou FFP3)

- **Masques de protection contre les particules :**
 - Les masques **FFP2 ou FFP3** sont recommandés lorsque des **brouillards d'huile, vapeurs, ou particules fines** sont présents dans l'air.
 - Ces masques permettent de **filtrer les particules fines** et les **polluants** inhalés, réduisant ainsi les risques de maladies respiratoires et cancéreuses
- **Remplacement des filtres :**
 - Les filtres doivent être régulièrement remplacés et les masques vérifiés pour garantir une **bonne étanchéité** et efficacité.

b. Protection des yeux

- **Lunettes ou visières :**
 - En cas de **projections d'huile, de nettoyage à haute pression** ou lors des opérations d'usinage, les **lunettes de protection** ou **visières** sont essentielles pour protéger les yeux des substances irritantes.
 - Les lunettes doivent être équipées de **verres antibuée** pour assurer une visibilité optimale.



Figure 15 : protection respiratoire

II.5.5.5. Hygiène personnelle

En plus de la protection mécanique, l'hygiène personnelle joue un rôle crucial dans la **prévention des risques chimiques**. L'objectif est de limiter la contamination croisée et de réduire les risques d'exposition prolongée.

a. Lavage régulier des mains et des avant-bras

- **Savons adaptés :**

- Le **lavage des mains** et des **avant-bras** doit être effectué fréquemment à l'aide de **savons adaptés** pour enlever les huiles, solvants et autres substances chimiques.
- Il est impératif de se laver **avant les repas, avant les pauses et après le travail** pour prévenir l'ingestion de substances toxiques.

b. Accès à des douches et vestiaires séparés

- **Douches industrielles :**

- Des **douches** doivent être mises à disposition des travailleurs afin de pouvoir se **laver intégralement** après une journée de travail exposé à des contaminants chimiques.

- **Vestiaires séparés :**

- Il est crucial de disposer de **vestiaires séparés** pour les **vêtements de travail souillés** et les **vêtements personnels**. Ceci permet d'éviter toute contamination croisée entre les zones de travail et les espaces de repos.



Figure 16 : hygiène personnelle

II.5.5.6. Contrôle et surveillance

Pour une gestion efficace des risques chimiques, notamment ceux liés aux **Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (HAP)** en métallurgie, il est crucial de mettre en place des **mesures de contrôle et de surveillance**. Cela comprend le suivi de l'exposition des travailleurs ainsi que la surveillance de leur état de santé, afin de détecter et prévenir les effets négatifs de ces substances toxiques.

II.5.5.6.1. Contrôle de l'atmosphère de travail

Une surveillance régulière de la qualité de l'air dans les ateliers est essentielle pour mesurer les **niveaux d'exposition aux HAP** et garantir que les **valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP)** ne sont pas dépassées.

➤ Mesure des taux de HAP dans l'air

• Prélèvements atmosphériques :

- Les **prélèvements d'air** sont effectués à des endroits stratégiques dans les ateliers (près des machines, dans les zones de travail à risque) afin de mesurer les concentrations de HAP.
- Les **prélèvements peuvent être individuels** (sur le travailleur) ou **ambients** (sur l'air général de l'atelier), selon les exigences spécifiques de chaque situation.

• Laboratoires agréés :

- Les analyses sont réalisées par des **laboratoires spécialisés et agréés**, utilisant des techniques telles que la **chromatographie en phase gazeuse** ou la **spectrométrie de masse** pour identifier et quantifier les HAP présents dans l'air.

• Comparaison aux VLEP :

- Les résultats des analyses doivent être comparés aux **valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP)**, définies par la réglementation en vigueur (par exemple, le **Code du Travail** en France).
- Si les concentrations dépassent ces limites, des mesures de correction doivent être mises en place immédiatement (modification des procédés, amélioration de la ventilation, etc.).



Figure 17 : contrôle de l'atmosphère de travail

II.5.5.7. Surveillance médicale

Le suivi de la santé des travailleurs exposés aux **HAP** est indispensable pour détecter précocement les effets de l'exposition et mettre en place des actions correctives.

a. Suivi individuel renforcé (SIR)

- **Travailleurs à risque :**
 - Un suivi médical renforcé est nécessaire pour les travailleurs qui sont régulièrement exposés aux **brouillards d'huile** ou **vapeurs de HAP**.
 - Ce suivi inclut des examens réguliers adaptés aux risques spécifiques rencontrés dans leur environnement de travail.
- **Examens médicaux spécifiques :**
 - Des **examens dermatologiques** pour détecter des **dermatoses professionnelles** (eczéma, irritations cutanées).
 - Des **examens respiratoires**, notamment la **spirométrie**, pour surveiller les effets sur les poumons.
 - Des **analyses urinaires** (dosage des **métabolites de HAP**) pour évaluer l'accumulation de produits chimiques dans l'organisme et détecter d'éventuels effets toxiques.

b. Tenue d'un dossier médical professionnel

- **Suivi des antécédents d'exposition :**
 - Un dossier médical individuel est tenu pour chaque travailleur afin de suivre l'**historique de ses expositions** aux HAP et autres substances toxiques.
 - Ce dossier permet de détecter précocement les signes de **maladies professionnelles** et d'adapter les mesures de prévention si nécessaire.
- **Identification précoce des pathologies :**
 - Le dossier médical est un outil clé pour identifier rapidement **les symptômes** de maladies liées à l'exposition (cancers, maladies respiratoires) et intervenir avant que les symptômes ne deviennent graves.

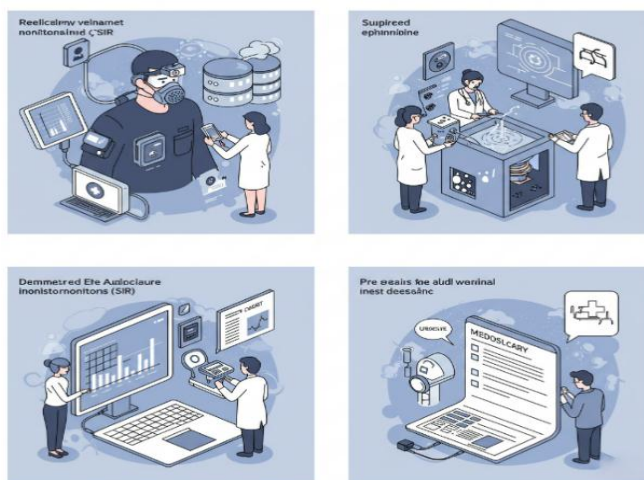


Figure 18 : surveillance médicale

II.5.5.8. Formation et sensibilisation

La **formation continue** des travailleurs et de l'encadrement est primordiale pour les sensibiliser aux **risques chimiques** et leur apprendre à adopter des comportements sécuritaires dans leur environnement de travail.

a. Information claire et accessible sur les risques liés aux HAP

- **Affiches et informations visuelles :**
 - Des **affiches informatives** sur les risques liés aux HAP et aux autres produits chimiques doivent être placées de manière visible dans les ateliers.
 - Des **notices de poste** et **fiches de données de sécurité** (FDS) doivent être mises à disposition des travailleurs pour chaque produit chimique utilisé, indiquant les précautions à prendre et les risques associés.

b. Formation continue

- **Utilisation correcte des EPI :**
 - Des sessions de **formation régulières** doivent être organisées pour enseigner aux travailleurs comment utiliser correctement les **Équipements de Protection Individuelle (EPI)**, en particulier les **masques respiratoires, gants et vêtements de protection**.
- **Bonnes pratiques de manipulation des produits chimiques :**
 - Former les travailleurs aux **bonnes pratiques** pour la manipulation et le stockage des produits chimiques afin de minimiser les risques de déversements ou d'expositions accidentelles.
- **Gestes de prévention au quotidien :**
 - Enseigner aux travailleurs les **gestes de prévention** quotidiens, comme l'importance du **lavage des mains** avant les repas ou après avoir manipulé des substances chimiques, ainsi que le respect des consignes de sécurité pour la gestion des équipements et des machines.

II.6. Conclusion

Les risques chimiques et toxicologiques des métaux lourds et des HAP, se manifestent dans l'utilisation de fluides comme l'huile MDX 10 et le mazout, avec des impacts sur la santé, la sécurité et l'environnement. Ces constats nécessitent des mesures préventives intégrées, incluant automatisations, ventilation, substitution de produits, rotation des postes et port d'EPI, pour protéger les travailleurs tout en préservant la productivité industrielle.

CHAPITRE 3 :

Problèmes de santé des
travailleurs en métallurgie

III. Chapitre III : Problèmes de santé des travailleurs en métallurgie

III.1. Introduction

L'exposition permanente des travailleurs à des métaux ou composés métalliques sous forme de fumées ou de particules, de poussières, est responsable de pathologies respiratoires aiguës ou chroniques et, pour certains métaux lourds tels que le cadmium, le mercure ou le plomb... de certaines maladies neurologiques et cardio-vasculaires. Par ailleurs, il existe des éléments épidémiologiques de la relation entre le cancer du poumon et l'exposition professionnelle à divers composés métalliques (béryllium, chrome, cadmium, nickel...).

III.2. Maladies professionnelles courantes

Les travailleurs du secteur métallurgique sont confrontés à une large gamme de risques professionnels. L'exposition chronique à des agents chimiques (métaux lourds, solvants, fluides de coupe), physiques (bruit, chaleur, rayonnements, vibrations) et mécaniques (manutentions, gestes répétitifs, postures contraignantes) peut provoquer des maladies professionnelles graves, souvent irréversibles. Ces pathologies peuvent compromettre durablement la santé des opérateurs, réduire leur espérance de vie en bonne santé et entraîner une désinsertion professionnelle. Parmi les maladies les plus fréquemment rencontrées, on distingue les dermatoses professionnelles, les pneumoconioses, et les intoxications aux métaux lourds.

III.2.1. Dermatoses professionnelles

Les dermatoses professionnelles regroupent l'ensemble des affections cutanées causées par des agents présents sur le lieu de travail. En métallurgie, elles sont souvent liées à l'exposition répétée à des fluides de coupe usagés, des huiles entières, des solvants ou des métaux sensibilisants.

➤ Origines :

- Contact fréquent avec des fluides de coupe oxydés ou contaminés par des micro-organismes.
- Utilisation d'huiles minérales entières, graisses industrielles ou dégraissants agressifs.
- Exposition directe à des métaux allergènes comme le nickel, le chrome (notamment le chrome hexavalent), ou le cobalt.
- Manque de port de gants ou port de gants inadaptés ou abîmés.

➤ Types de dermatoses :

- **Eczéma de contact allergique** : Réaction d'hypersensibilité retardée due à une sensibilisation progressive à un allergène. Cette forme apparaît souvent après des semaines ou des mois d'exposition continue.

- **Dermite irritative de contact** : Inflammation directe de la peau sans mécanisme allergique, déclenchée par des agents irritants puissants ou répétitifs (alcalis, acides, solvants, abrasifs).

➤ Conséquences :

- Symptômes cutanés : **rougeurs, fissures, démangeaisons, vésicules, desquamation.**
- Risque de **surinfection bactérienne ou fongique**, surtout en cas de lésions ouvertes.
- Conséquences professionnelles : baisse de productivité, **absentéisme accru, changement de poste** voire **inaptitude partielle ou définitive** au poste de travail.¹⁶

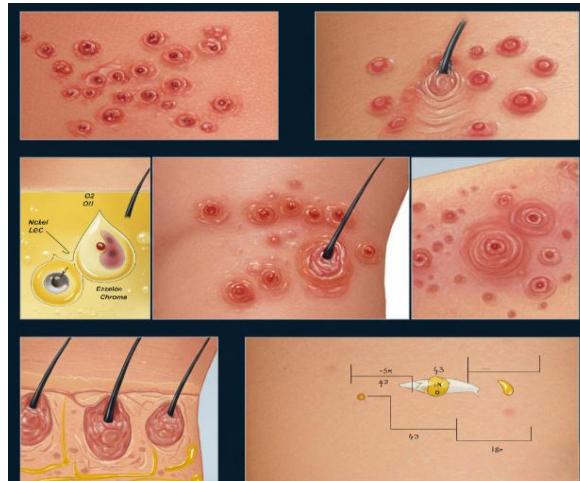


Figure 19 : Les dermatoses professionnelles

III.2.2. Pneumoconioses

Les pneumoconioses sont des affections pulmonaires chroniques causées par l'**inhalation prolongée de poussières métalliques ou minérales**. Ces poussières, non éliminées efficacement par les voies respiratoires, s'accumulent dans les alvéoles pulmonaires et peuvent entraîner une inflammation, une fibrose et, dans certains cas, un cancer.

➤ Exemples :

- **Sidérose** : due à l'inhalation prolongée de particules de fer, notamment chez les soudeurs, polisseurs ou sableurs.
- **Aluminose** : causée par la poussière d'aluminium, souvent dans les ateliers de polissage ou de fonderie.
- **Béryllose** : affection grave, rare mais potentiellement mortelle, liée au béryllium utilisé dans des secteurs comme l'aéronautique ou l'électronique.

➤ Symptômes :

- **Toux chronique** sèche et persistante.
- **Dyspnée** (essoufflement) à l'effort, puis au repos à un stade avancé.
- **Douleurs thoraciques, oppression, fatigue persistante.**

- À long terme : **fibrose pulmonaire irréversible, insuffisance respiratoire, risque de cancer bronchopulmonaire.**

➤ **Facteurs aggravants :**

- Tabagisme, mauvaise ventilation, absence d'EPI respiratoires, co-exposition à d'autres polluants atmosphériques (HAP, solvants).

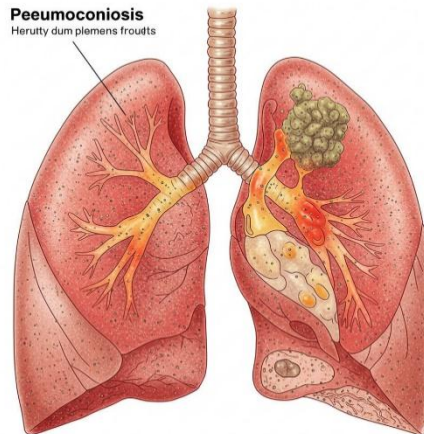


Figure 20 : Les pneumoconioses

III.2.3. Intoxications aux métaux lourds

L'intoxication aux métaux lourds est l'un des risques majeurs en métallurgie. Ces substances peuvent pénétrer l'organisme par inhalation, ingestion ou voie cutanée, et s'accumuler dans les tissus, provoquant des effets systémiques à long terme.

➤ **Métaux concernés :**

- **Plomb (Pb) :** soudure, batteries, fabrication de pièces métalliques.
- **Mercure (Hg) :** équipements anciens, thermomètres industriels, amalgames.
- **Cadmium (Cd) :** revêtements électrolytiques, fabrication de piles et accumulateurs.
- **Chrome hexavalent (Cr^{6+}) :** procédés de chromage, passivation, peinture industrielle.
- **Nickel (Ni) :** fabrication d'aciers inoxydables, pièces en alliage.

➤ **Voies de pénétration dans l'organisme :**

- **Inhalation** de fumées, poussières ou vapeurs métalliques (soudage, meulage, traitement thermique).
- **Contact cutané**, notamment en cas de plaies ou de lésions de la peau.
- **Ingestion indirecte** : mauvaise hygiène des mains avant les repas, atmosphère poussiéreuse.¹⁷

1. Effets à long terme :

- **Neurologiques** : troubles de la mémoire, diminution des capacités cognitives, tremblements, troubles de l'humeur.
- **Rénaux** : insuffisance rénale chronique, atteinte tubulaire.
- **Hépatiques** : hépatotoxicité (atteinte du foie par bioaccumulation).
- **Effets sur la reproduction** : diminution de la fertilité, troubles hormonaux, effets tératogènes.¹⁸
- **Cancérogénicité** : plusieurs métaux (Cr^{6+} , Cd, Ni) sont **classés cancérogènes avérés pour l'homme** (groupe 1 du CIRC – Centre International de Recherche sur le Cancer).

III.3. Facteurs aggravants

Les risques sanitaires liés à l'activité métallurgique ne dépendent pas uniquement de la nature et de la toxicité des substances manipulées. Ils sont largement modulés, renforcés ou accélérés par un ensemble de **facteurs aggravants** qui contribuent à l'apparition ou à l'aggravation des maladies professionnelles. Ces facteurs, souvent négligés, relèvent de l'organisation du travail, des infrastructures, des pratiques de prévention, ou encore du comportement individuel. Ils forment un environnement de vulnérabilité qu'il est essentiel d'identifier pour mettre en œuvre des mesures correctrices efficaces.

A. Exposition prolongée

L'effet toxique d'une substance n'est pas seulement lié à son intensité, mais aussi à sa **durée d'exposition**. En métallurgie, de nombreux postes impliquent une exposition continue à de faibles doses de polluants, qui, cumulées sur le long terme, peuvent entraîner des pathologies chroniques.

- **Durée cumulée d'exposition** : Lorsqu'un ouvrier reste au même poste pendant plusieurs années, il accumule quotidiennement des quantités de substances nocives, même si les niveaux d'exposition restent en dessous des seuils réglementaires. Ces faibles doses répétées (effet "low-dose") peuvent avoir des effets délétères sur le foie, les reins, le système nerveux ou les poumons.
- **Postes fixes sans alternance** : L'absence de rotation entre différents types de tâches (chaudes/froides, poussiéreuses/non poussiéreuses) ne permet pas au corps de se régénérer face aux agressions chimiques ou physiques répétées.
- **Travail posté ou de nuit** : De nuit, les systèmes de ventilation peuvent être moins performants, et la fatigue augmente les erreurs de manipulation, ce qui accroît le risque d'exposition accidentelle.
- **Effet cumulatif non surveillé** : En l'absence de contrôle médical régulier ou de suivi environnemental, les expositions prolongées passent inaperçues jusqu'à l'apparition de symptômes cliniques avancés.¹⁹

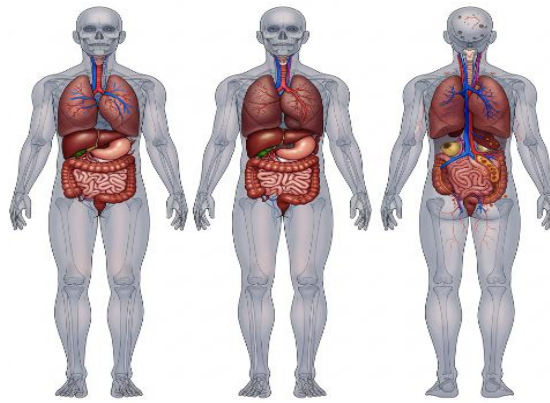


Figure 21 : L'effet toxique d'une substance due à l'exposition prolongée

B. Absence ou mauvais usage des équipements de protection individuelle (EPI)

Les EPI constituent la **dernière ligne de défense** entre l'opérateur et les agents dangereux. Leur inefficacité, qu'elle soit liée à leur absence, leur mauvaise qualité ou leur utilisation inadéquate, expose directement le travailleur aux risques.

- **Gants absents, déchirés ou mal adaptés** : Le port de gants résistants aux solvants ou aux huiles est indispensable. Un gant non adapté à la substance utilisée peut donner une fausse impression de sécurité. De plus, un gant contaminé et non changé régulièrement devient une source de pollution directe.
- **Masques inadaptés ou mal portés** : Utiliser un simple masque chirurgical face à des fumées de soudage ou des brouillards d'huile n'offre aucune protection respiratoire réelle. Le non-respect de l'étanchéité (masques mal ajustés) est aussi un facteur aggravant majeur.
- **Vêtements souillés** : Porter une combinaison imbibée de solvants ou de liquides de coupe prolonge le contact cutané avec des substances toxiques, augmentant le risque de dermatoses ou d'intoxication percutanée.
- **Réutilisation des EPI** : Certains équipements sont à usage unique ou doivent être remplacés fréquemment. Leur réutilisation altère leur capacité filtrante ou protectrice.



Figure 22 : : mauvais usage des EPI

C. Mauvaise aération des ateliers

La **qualité de l'air ambiant** dans un atelier métallurgique conditionne fortement le niveau d'exposition aux agents inhalables (fumées métalliques, poussières, brouillards d'huile, gaz).

- **Ateliers fermés ou confinés** : Dans des espaces restreints, les polluants s'accumulent rapidement, surtout en l'absence de systèmes de renouvellement d'air.
- **Ventilation naturelle insuffisante** : Ouvrir des fenêtres ou des portes n'est pas une solution efficace contre des vapeurs lourdes ou des particules fines. Celles-ci peuvent stagner au niveau du sol ou se disperser dans toute l'atelier.
- **Absence ou panne des dispositifs d'aspiration à la source** : Ces systèmes captent les polluants à l'endroit même de leur émission (poste de soudage, bain de traitement de surface, etc.). Leur défaillance entraîne une dispersion généralisée.
- **Entretien insuffisant des systèmes de ventilation** : Des filtres encrassés, des gaines obstruées ou des ventilateurs à faible débit réduisent drastiquement l'efficacité du système.

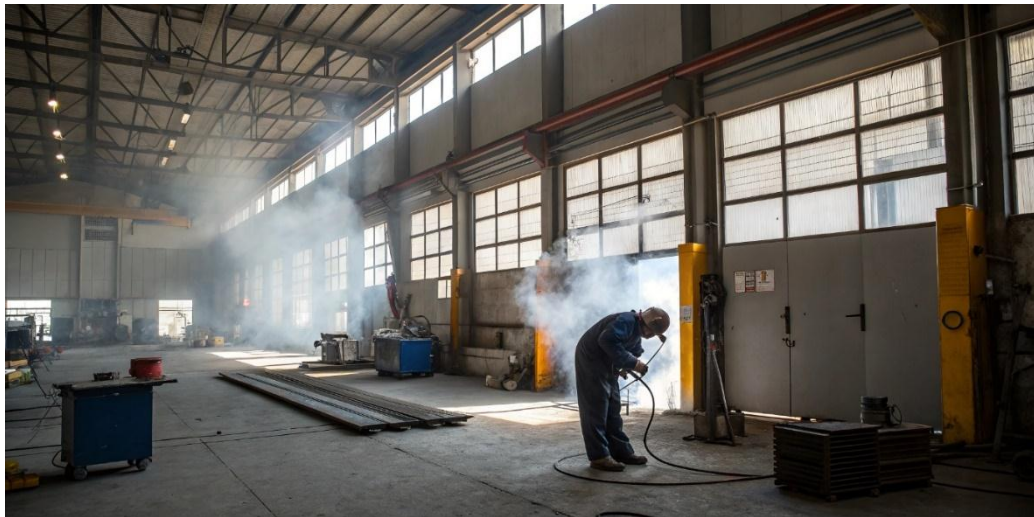


Figure 23 : mauvaise aération des ateliers

D. Hygiène insuffisante

Une **hygiène de base déficiente** constitue une porte d'entrée indirecte mais significative des contaminants dans l'organisme. Le non-respect des mesures d'hygiène aggrave les expositions par voie cutanée ou digestive.

- **Absence de douches ou vestiaires séparés** : Sans séparation entre les vêtements de travail et les vêtements de ville, la contamination peut se propager à l'extérieur de l'entreprise (exposition passive des proches, notamment les enfants).
- **Manque de points d'eau ou de savon adapté** : Ne pas se laver les mains avant de manger, fumer ou se toucher le visage favorise l'ingestion involontaire de substances dangereuses.
- **Alimentation sur les postes de travail** : La consommation de nourriture dans les zones de production est une pratique courante mais extrêmement risquée. Les surfaces contaminées (tables, mains, outils) constituent un vecteur direct d'exposition par ingestion.

E. Manque d'information et de formation

La **méconnaissance des risques** est un facteur aggravant majeur, notamment chez les jeunes embauchés ou les intérimaires, souvent moins sensibilisés.

- **Absence de formation initiale** : De nombreux travailleurs manipulent des produits sans connaître leur composition, ni les risques associés (inflammabilité, toxicité, sensibilisation...).
- **Non-lecture ou non-compréhension des FDS** : Les Fiches de Données de Sécurité sont parfois absentes, mal traduites ou inaccessibles. Même lorsqu'elles sont disponibles, leur complexité technique rend leur compréhension difficile sans formation.
- **Non-respect des gestes de prévention** : Le port d'EPI, le respect des zones de travail, les procédures de nettoyage sécurisées ou les gestes d'urgence en cas de contact ne sont pas toujours intégrés aux habitudes, surtout dans les environnements de travail sous pression (productivité, délais, etc.).

III.4. Prévention et amélioration des conditions de travail

La prévention des maladies professionnelles en métallurgie nécessite une **approche systémique et intégrée** de la gestion des risques. Elle ne peut se limiter à des actions isolées, mais doit s'inscrire dans une politique globale de **sécurité, santé au travail et qualité de vie**. Cette prévention repose sur une combinaison de **mesures techniques, organisationnelles, médicales et comportementales** visant à réduire à la source les expositions, à contrôler les émissions et à sensibiliser durablement les opérateurs.

III.4.1. Mesures techniques

Les **mesures techniques** constituent la première ligne d'action, car elles permettent de **supprimer ou de réduire à la source** les risques professionnels. Elles sont souvent les plus efficaces à long terme, car elles évitent que le danger ne parvienne jusqu'au travailleur.

a. Substitution des produits dangereux

Le principe de **substitution** est central en prévention : remplacer un produit dangereux par un produit moins toxique ou non toxique chaque fois que cela est techniquement possible.

- **Substitution des fluides de coupe minéraux** par des fluides **synthétiques ou semi-synthétiques**, exempts d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et moins irritants pour la peau.
- Remplacement des **solvants chlorés** par des solvants **à base aqueuse** ou des produits de nettoyage biodégradables.
- Utilisation de **produits sans chrome hexavalent** dans les opérations de passivation ou de traitement de surface (par exemple, conversion au chrome trivalent ou à base de zirconium ou de silicates).
- Remplacement des **métaux cancérogènes** (comme le béryllium ou certains alliages contenant du nickel ou du cadmium) par des alliages alternatifs moins nocifs, dans la mesure où les performances techniques restent compatibles.

Cette démarche nécessite une **évaluation préalable** des risques du produit de remplacement, afin d'éviter un effet de substitution négatif (remplacer un danger par un autre, parfois moins connu).



Figure 24 : substitution des produits dangereux

b. Aspiration à la source des polluants

L'**aspiration à la source** consiste à capter les polluants au plus près de leur point d'émission avant leur dispersion dans l'environnement de travail.

- **Bras articulés aspirants** installés sur les postes de soudage ou de meulage, captant les fumées métalliques ou les poussières abrasives dès leur production.
- **Cabines fermées avec ventilation forcée** pour les opérations de polissage, sablage, ou bain chimique.
- **Systèmes d'aspiration avec filtres HEPA** ou électrostatiques pour les brouillards d'huile dans les centres d'usinage.
- Maintenance régulière des systèmes d'aspiration : vérification des débits, changement des filtres, contrôle de la captation réelle par mesure de débit ou de concentration ambiante.



Figure 25 : aspiration à la source des polluants

L'aspiration à la source est **plus efficace qu'une simple ventilation générale**, car elle évite la dispersion des polluants dans l'ensemble de l'atelier.

c. Ventilation générale des locaux

La ventilation générale permet de **renouveler l'air ambiant** et de maintenir des concentrations de polluants dans l'air en dessous des valeurs limites d'exposition (VLEP).

- **Systèmes de ventilation mécanique contrôlée (VMC industrielle)** combinant extraction et insufflation d'air propre.
- **Ventilation par balayage** : l'air propre est introduit à un point stratégique et chasse les polluants vers des zones d'extraction.
- **Systèmes de compensation** pour éviter les effets de dépression ou les flux d'air inverses (qui peuvent ramener les polluants vers les opérateurs).
- Intégration de **capteurs de CO₂** , **de poussières fines** ou **de COV** pour surveiller la qualité de l'air en temps réel.

Une bonne ventilation doit être conçue en fonction de l'activité, du volume du local, du nombre d'opérateurs et de la nature des substances émises.



Figure 26 : ventilation générale des locaux

d. Automatisation des tâches dangereuses

L'automatisation vise à **réduire l'exposition directe** des travailleurs aux risques chimiques, physiques ou mécaniques.

- **Robots de soudage ou de découpe laser** confinés dans des enceintes fermées avec extraction intégrée.
- **Centres d'usinage fermés** avec systèmes de lavage automatisés, évitant le contact direct avec les fluides.
- **Manipulateurs télécommandés** pour le chargement ou le déchargement de bains chimiques (galvanoplastie, décapage...).
- **Dispositifs de remplissage automatique** pour limiter les éclaboussures ou l'inhalation de vapeurs lors du dosage de produits dangereux.
- **Capteurs intelligents** pour la détection de fuites, de températures critiques ou de concentrations dangereuses dans l'air.²⁰

L'automatisation ne supprime pas toujours le danger, mais elle **éloigne le travailleur** de la zone d'exposition, ce qui réduit les risques tout en améliorant l'ergonomie.



Figure 27 : automatisation des tâches dangereuses

III.4.2. Mesures organisationnelles

Les mesures organisationnelles ont pour objectif de structurer le travail de manière à limiter l'exposition des salariés aux agents nocifs, améliorer l'efficacité des protections mises en place, et créer un environnement de travail plus sûr. Elles complètent les mesures techniques et forment un pilier essentiel de la prévention durable des risques professionnels en métallurgie.²¹

A. Rotation des postes

La rotation des postes consiste à faire alterner les travailleurs sur différentes tâches au cours de la journée ou de la semaine, en particulier celles qui présentent un risque élevé.

- **Réduction de la charge toxique individuelle :** En changeant régulièrement de poste, les travailleurs sont moins longtemps exposés à des substances dangereuses (fumées de soudage, poussières de meulage, brouillards d'huiles...).
- **Prévention des troubles musculo-squelettiques (TMS) :** Varier les gestes et les postures limite les efforts répétitifs et les postures contraignantes responsables de TMS (lombalgies, tendinites, canal carpien...).
- **Maintien de la vigilance :** La monotonie et l'exposition prolongée à des environnements contraignants diminuent l'attention. Une rotation bien organisée prévient la lassitude et les erreurs humaines.
- **Conditions d'application :**
 - Nécessite une **formation polyvalente** des opérateurs.
 - Doit être intégrée dans les **plannings de production**.
 - Inclut une **analyse ergonomique** des postes pour organiser les rotations intelligemment.

La rotation des postes ne supprime pas les risques, mais elle les distribue équitablement et permet un meilleur contrôle de l'exposition cumulée.



Figure 28 : rotation des postes

B. Entretien régulier des systèmes d'extraction et de ventilation

Les dispositifs d'aspiration et de ventilation, essentiels à la réduction des polluants dans l'air, perdent leur efficacité sans une maintenance rigoureuse et planifiée.

- **Risques liés à l'encrassement :**
 - Baisse de l'efficacité de l'extraction à la source.
 - Rejets secondaires de particules accumulées dans les gaines.
 - Hausse du risque d'incendie.
- **Actions d'entretien nécessaires :**
 - **Nettoyage périodique** des conduits, bras articulés, hottes et gaines.
 - **Changement régulier des filtres** (HEPA, charbon actif...).
 - **Vérification du débit d'air** : contrôle des vitesses d'aspiration avec des instruments spécifiques.
 - **Contrôle des composants mécaniques** : clapets, moteurs, turbines, roulements.
 - **Tenue d'un carnet d'entretien** : traçabilité des opérations réalisées, dates, anomalies, réparations.

Un système bien entretenu garantit une atmosphère de travail plus propre, prolonge la durée de vie des installations, et réduit les coûts liés aux défaillances techniques.

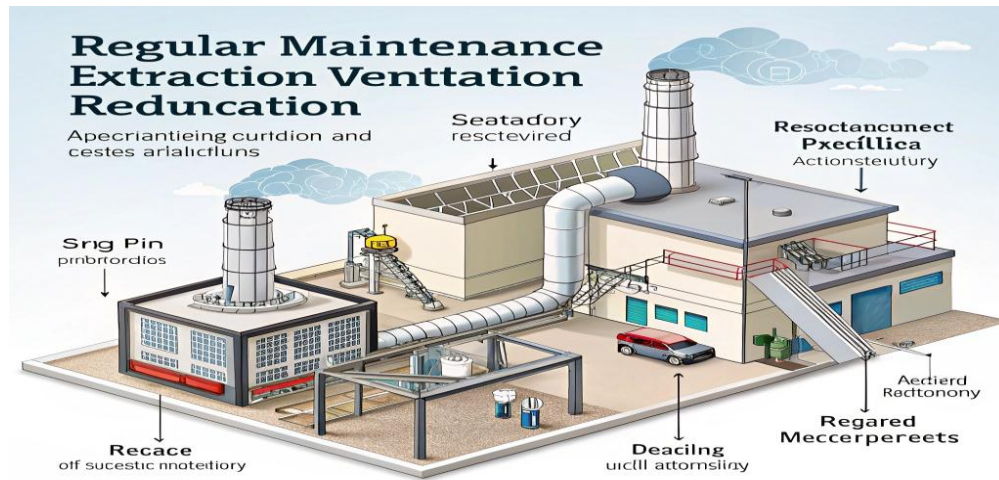


Figure 29 : entretien régulier des systèmes d'extraction et de ventilation

C. Surveillance environnementale

La surveillance environnementale permet d'évaluer objectivement l'exposition aux polluants en milieu de travail, d'anticiper les risques, et d'ajuster les mesures de prévention en conséquence.

- **Mesures des polluants atmosphériques :**
 - Réalisées par des **laboratoires accrédités** ou avec des **capteurs internes**.
 - Incluent la détection des **particules fines**, des **composés organiques volatils (COV)**, des **métaux en suspension**, du **CO₂** , etc.
- **Types de dispositifs :**
 - **Pompes personnelles** portées par les travailleurs pour mesurer l'exposition individuelle.
 - **Capteurs fixes** installés dans les zones à risques (meulage, bains chimiques, soudure...).
 - **Systèmes connectés** transmettant les données en temps réel avec alarme en cas de dépassement.
- **Analyse des résultats :**
 - Comparaison avec les **valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP)** fixées par la réglementation.
 - Utilisation pour **cartographier les zones à risques**, identifier les points noirs et adapter les priorités d'intervention.
- **Communication et transparence :**
 - Les résultats doivent être affichés dans les ateliers et expliqués aux salariés lors des briefings sécurité.
 - Permet une **sensibilisation active** des opérateurs aux risques présents dans leur environnement immédiat.

La surveillance environnementale, combinée à une bonne gestion des données, permet de créer un **système de prévention intelligent** et réactif, capable de s'adapter aux évolutions des procédés et aux risques émergents.

III.4.3. Protection individuelle

La protection individuelle est un élément crucial pour prévenir l'exposition des travailleurs aux agents chimiques et physiques dangereux en métallurgie. Les équipements de protection individuelle (EPI) agissent comme une barrière directe entre l'environnement de travail et le corps du salarié, réduisant ainsi les risques d'intoxication, de contamination, et de blessures. Bien que les EPI ne puissent pas éliminer complètement les dangers, leur usage approprié est essentiel dans une stratégie globale de prévention.

A. Port obligatoire des EPI adaptés

Les EPI doivent être choisis en fonction des risques spécifiques présents dans chaque secteur de la métallurgie. Ils permettent de protéger les travailleurs contre les contacts directs ou l'inhalation de substances dangereuses, notamment les produits chimiques (solvants, métaux lourds, huiles de coupe), les poussières, les fumées métalliques, et les risques mécaniques.

- **Gants de protection :**
 - **Utilisation :** Les gants sont indispensables pour protéger la peau contre les produits chimiques (huiles, solvants, acides) et les risques mécaniques (coups, coupures).
 - **Types :** Gants en nitrile, néoprène ou PVC, adaptés aux produits manipulés. Ils doivent être résistants aux solvants, aux huiles, et à l'abrasion.
 - **Entretien :** Les gants doivent être inspectés régulièrement pour détecter les déchirures ou signes d'usure. Des gants usés ou perforés doivent être remplacés immédiatement.
- **Lunettes de protection :**
 - **Utilisation :** Les lunettes de protection sont indispensables pour éviter les projections de métaux en fusion, de produits chimiques, ou de poussières fines.
 - **Normes :** Elles doivent répondre aux normes européennes (EN 166), et être équipées de verres résistants aux impacts, aux produits chimiques, et anti-buée.
- **Masques respiratoires FFP2/FFP3 :**
 - **Utilisation :** Les masques filtrants FFP2 et FFP3 sont nécessaires pour protéger les voies respiratoires contre les poussières fines, les fumées métalliques, les vapeurs et les aérosols chimiques.
 - **Critères :** Les masques FFP2 offrent une protection contre les particules et les agents biologiques, tandis que les FFP3 assurent une protection supérieure, notamment contre les fumées métalliques ou les poussières toxiques (métaux lourds, HAP).
 - **Changement régulier :** Les masques doivent être remplacés dès qu'ils sont saturés ou endommagés. Les filtres doivent être adaptés aux substances présentes.
- **Vêtements de protection :**
 - **Utilisation :** Des vêtements adaptés sont nécessaires pour éviter le contact direct avec des huiles, des produits chimiques, et pour protéger contre la chaleur ou les éclats de métal.
 - **Types :** Les combinaisons étanches, les tabliers en caoutchouc ou PVC, et les vêtements résistants à la chaleur (en coton ou tissus traités) doivent être portés.

Ils doivent être confortables pour ne pas entraver les mouvements tout en offrant une protection maximale.

- **Protection contre les huiles** : Les vêtements doivent être spécifiquement conçus pour résister à l'absorption d'huiles et de fluides industriels, ce qui évite que ces substances pénètrent dans la peau et la contaminent.



Figure 30 : port des EPI adaptés par les employés

B. Lavage régulier des mains et de la peau exposée

L'hygiène personnelle joue un rôle majeur dans la prévention des maladies professionnelles liées aux produits chimiques et aux métaux lourds.

- **Lavage des mains** :
 - Les travailleurs doivent se laver les mains après chaque tâche, avant de manger, boire, ou fumer, afin d'éliminer toute contamination par des substances toxiques. Des stations de lavage des mains doivent être disponibles à proximité des zones de travail.
 - **Produits de lavage** : Les savons et détergents doux, spécialement conçus pour éliminer les huiles et les solvants, doivent être utilisés. Les produits abrasifs ou irritants sont à éviter, car ils peuvent abîmer la peau.
- **Lavage de la peau exposée** :
 - Lorsque la peau est exposée à des produits chimiques ou à des poussières métalliques, un nettoyage immédiat est nécessaire pour réduire les risques d'absorption.
 - Des **lingettes détergentes** ou des **gels de lavage sans eau** peuvent être utilisés en complément des lavages à l'eau et au savon.
- **Prévention de la déshydratation de la peau** :
 - Après le lavage, des crèmes hydratantes adaptées doivent être appliquées pour éviter que la peau ne devienne sèche ou irritée. Certaines substances, comme les huiles ou solvants, peuvent causer des fissures ou des irritations si elles sont en contact prolongé avec la peau.



Figure 31 : lavage régulier des mains

C. Remplacement fréquent des EPI souillés

L'utilisation d'EPI souillés ou défectueux représente un risque pour la santé des travailleurs. Il est donc impératif de remplacer régulièrement ces équipements afin de garantir une protection optimale.

- **Gants** : Les gants doivent être changés dès qu'ils deviennent visiblement usés, sales ou déchirés. Les gants imbibés de produits chimiques, de graisses ou d'huiles doivent également être changés rapidement pour éviter toute pénétration dans la peau.
- **Masques** : Les masques filtrants doivent être remplacés en fonction de la durée d'exposition ou dès qu'ils deviennent saturés. Si un masque est endommagé, il doit être changé immédiatement. Les filtres de rechange doivent être adaptés aux substances présentes sur le site.
- **Vêtements** : Les combinaisons et tabliers doivent être régulièrement inspectés et lavés. Les vêtements souillés d'huiles ou de solvants peuvent rapidement devenir un vecteur de contamination. Un remplacement rapide est essentiel, notamment après un contact avec des produits particulièrement toxiques.
- **Consignes de gestion des EPI** :
 - Un système de **gestion et de traçabilité des EPI** doit être mis en place dans chaque entreprise, avec des registres d'entretien, des dates de remplacement, et des contrôles réguliers.

- Des zones dédiées au **stockage et à l'entretien des EPI** doivent être mises en place pour garantir que les équipements ne soient pas endommagés ou contaminés.²²



Figure 32 : remplacement fréquent des EPI

III.4.4. Suivi médical et surveillance

Le suivi médical et la surveillance sont des éléments essentiels pour assurer la santé des travailleurs dans le secteur métallurgique. Étant donné les risques sanitaires élevés associés à l'exposition prolongée aux agents chimiques, aux poussières métalliques, et aux autres dangers présents dans les ateliers de métallurgie, une surveillance systématique et régulière est nécessaire pour détecter précocement les signes de maladies professionnelles et prendre des mesures correctives rapidement.

A. Visites médicales régulières (surveillance individuelle renforcée)

Les visites médicales sont un outil fondamental dans la surveillance de l'état de santé des travailleurs, et elles doivent être effectuées de manière régulière tout au long de leur carrière, notamment pour les travailleurs exposés à des agents dangereux.

• Fréquence des visites médicales :

- **Initiale** : Avant toute prise de fonction, une visite médicale pré-emploi doit être réalisée pour évaluer l'aptitude du travailleur à occuper un poste à risque.
- **Suivantes** : Les visites doivent être régulières, généralement **annuelles**, pour surveiller l'évolution de la santé du travailleur. En cas de risques plus élevés ou d'exposition à des agents particulièrement toxiques, la fréquence des visites peut être augmentée.

• Surveillance renforcée :

- Pour les travailleurs exposés de manière prolongée à des substances hautement toxiques (par exemple, les métaux lourds ou les solvants), la surveillance médicale doit être renforcée, avec un suivi plus rapproché des symptômes et des facteurs de risques.

- **Objectif des visites médicales :**

- Vérification de l'aptitude physique et mentale des travailleurs à continuer leur activité sans risquer leur santé.
- Identification des premiers signes de maladies professionnelles, telles que des troubles respiratoires, des affections dermatologiques, ou des troubles neurologiques.
- Suivi des pathologies préexistantes qui pourraient être aggravées par l'exposition professionnelle.

B. Examens dermatologiques, respiratoires, biologiques

Des examens médicaux spécifiques sont nécessaires pour détecter rapidement les maladies liées à l'exposition aux produits chimiques et à la poussière, ainsi que pour identifier des signes d'intoxication avant qu'ils ne deviennent graves.

- **Examens dermatologiques :**

- **But :** Le suivi dermatologique est essentiel pour détecter les affections cutanées causées par le contact direct avec des métaux lourds, des huiles de coupe, des solvants ou d'autres produits chimiques. Les dermatites de contact, les éruptions cutanées ou les ulcères peuvent être des signes précoces de problèmes de peau.
- **Fréquence :** Les travailleurs manipulant des produits chimiques doivent bénéficier d'un examen dermatologique lors de chaque visite médicale pour détecter des signes de dermatoses professionnelles.

- **Examens respiratoires :**

- **But :** L'exposition à des poussières métalliques, des fumées de soudure, des vapeurs d'huile, ou des gaz industriels peut entraîner des troubles respiratoires tels que des pneumopathies, des asthmes professionnels, ou des cancers du poumon. Les examens respiratoires, comme les tests de la fonction pulmonaire (spirométrie), permettent de mesurer la capacité respiratoire et de détecter des anomalies.
- **Tests spécifiques :** En fonction de l'exposition, des examens complémentaires tels que des radiographies pulmonaires ou des tests de la fonction pulmonaire peuvent être nécessaires.
- **Surveillance à long terme :** Les travailleurs exposés à des agents toxiques respiratoires doivent être suivis pendant plusieurs années pour détecter des signes de pathologies respiratoires à un stade précoce.

- **Examens biologiques :**

- **Recherche de métaux lourds dans le sang ou l'urine :** Les travailleurs exposés à des métaux lourds (plomb, cadmium, mercure, arsenic, etc.) doivent faire l'objet d'examens biologiques réguliers. Des tests sanguins ou urinaires permettent de mesurer la concentration de ces substances dans l'organisme, ce qui peut indiquer une intoxication.
 - **Test de plombémie :** Les travailleurs exposés au plomb (par exemple dans la production de batteries) doivent faire régulièrement des tests de plombémie pour éviter les effets neurologiques et autres dommages graves.
- Tests pour**

- **d'autres métaux** : La présence de cadmium, de mercure ou d'autres métaux lourds peut être recherchée par des tests urinaires, permettant de quantifier l'accumulation dans l'organisme.
- **Biomarqueurs d'intoxication** : L'évolution des biomarqueurs spécifiques à certains produits chimiques (comme les enzymes hépatiques pour les solvants) peut être un indicateur de l'empoisonnement chronique.

C. Tenue d'un carnet de santé professionnel

Le carnet de santé professionnel est un document central dans la surveillance médicale des travailleurs. Il permet de suivre l'évolution de la santé de chaque salarié de manière individualisée et de garantir une traçabilité dans le temps.

- **But du carnet de santé professionnel** :
 - Centraliser toutes les données relatives à l'état de santé du travailleur, y compris les résultats des visites médicales, des examens cliniques, des tests biologiques, et des diagnostics de maladies professionnelles.
 - Assurer un suivi continu et personnalisé, et garantir que les informations sont disponibles en cas de besoin pour une évaluation complète des risques à long terme.
 - Le carnet permet aussi de suivre l'historique des expositions professionnelles, des actions de prévention mises en place, et des mesures correctives ou de réadaptation nécessaire.
- **Contenu du carnet de santé** :
 - Informations personnelles et professionnelles : Nom, âge, poste occupé, durée d'exposition aux agents toxiques.
 - Résultats des examens médicaux (respiratoires, dermatologiques, biologiques).
 - Suivi des maladies professionnelles détectées, des prescriptions médicales et des arrêts de travail éventuels.
 - Éventuelles recommandations médicales, telles que des changements de poste, des aménagements spécifiques ou des interdictions de travail dans certaines conditions.
- **Confidentialité et accessibilité** :
 - Le carnet de santé professionnel est un document confidentiel et doit être tenu à jour par le service médical de l'entreprise. Toutefois, il doit être accessible en cas de contrôle de la médecine du travail, d'audits ou en cas de demandes d'indemnisation dans le cadre de maladies professionnelles.

III.4.5. Formation et sensibilisation

La formation et la sensibilisation des travailleurs représentent un pilier fondamental pour garantir la sécurité et la santé des employés dans l'industrie métallurgique. Même si des mesures techniques et organisationnelles sont mises en place, elles ne peuvent être pleinement efficaces sans l'implication active des travailleurs, qui doivent être conscients des risques auxquels ils sont exposés et savoir comment y faire face. La formation continue permet de maintenir à jour les connaissances des travailleurs, de promouvoir une culture de sécurité et

de prévention, et d'assurer que chacun applique les bonnes pratiques de sécurité dans son quotidien de travail.

A. Formation continue sur les risques chimiques et les bons gestes de prévention

La formation continue est essentielle pour maintenir une vigilance constante face aux risques chimiques. Elle doit couvrir plusieurs aspects clés pour que les travailleurs puissent se protéger efficacement.

B. Identification des risques chimiques

Les travailleurs doivent apprendre à identifier les substances dangereuses qu'ils manipulent, ainsi que les risques associés à leur exposition. Les principaux risques chimiques dans le secteur métallurgique incluent :

- **Solvants** : utilisés pour nettoyer les pièces métalliques ou dissoudre des huiles, souvent volatils et inflammables.
- **Huiles et fluides de coupe** : peuvent libérer des fumées et des vapeurs toxiques, et sont parfois source de risques allergiques ou cancérogènes.
- **Métaux lourds** (plomb, cadmium, mercure) : présents dans certains alliages métalliques, ces métaux peuvent s'accumuler dans le corps, provoquant des intoxications graves.
- **Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)** : des composés chimiques formés lors de la combustion incomplète de matières organiques, présents dans les fumées métalliques, qui sont classés comme cancérogènes.

Les travailleurs doivent également savoir comment lire et interpréter les **Fiches de Données de Sécurité (FDS)**, qui contiennent des informations essentielles sur les propriétés des produits, leurs risques, les mesures de sécurité et de gestion, ainsi que les interventions d'urgence.

C. Bonnes pratiques de prévention

Pour minimiser les risques d'exposition aux agents chimiques, il est crucial d'adopter de bonnes pratiques de prévention. La formation doit inclure :

- **Utilisation des équipements de protection individuelle (EPI)** : Le port des EPI est crucial pour protéger les travailleurs des risques chimiques. La formation doit inclure l'enseignement des bons gestes pour utiliser correctement les gants, les masques respiratoires, les lunettes de protection, et les vêtements de protection. Par exemple, un masque FFP2 ou FFP3 est nécessaire lors de l'inhalation de poussières ou de vapeurs toxiques.
- **Manipulation sûre des produits chimiques** : Les travailleurs doivent apprendre à manipuler les produits chimiques de manière à limiter l'exposition. Cela inclut l'utilisation d'outils adaptés pour éviter le contact direct avec les substances, ainsi que la mise en place de dispositifs de captation des fumées à la source.
- **Pratiques d'hygiène** : La formation doit insister sur l'importance de l'hygiène personnelle, en particulier le lavage des mains et des parties du corps exposées aux produits chimiques. Elle doit également inclure des pratiques telles que l'élimination

sécurisée des déchets industriels et l'évitement de l'ingestion accidentelle de substances toxiques.

D. Réaction face à une exposition ou un accident

Une formation adéquate doit aussi préparer les travailleurs à réagir en cas d'exposition accidentelle ou de situation d'urgence. Cela inclut :

- **Gestes de premiers secours** en cas de contact avec des produits chimiques (par exemple, lavage à l'eau en cas de brûlures chimiques, utilisation de douches d'urgence ou de stations oculaires pour rincer les produits chimiques en cas de contact avec les yeux).
- **Protocole d'évacuation** : Les travailleurs doivent être informés des procédures d'évacuation spécifiques en cas de fuite chimique ou d'incendie dans les ateliers.
- **Signalement des incidents** : La formation doit inclure des instructions sur la manière de signaler immédiatement toute situation à risque ou accident survenu dans l'atelier, pour que des mesures correctives puissent être mises en place rapidement.

E. Formation des nouveaux employés

La formation des nouveaux employés doit être particulièrement rigoureuse, surtout ceux qui sont amenés à travailler avec des substances dangereuses. Elle doit inclure une introduction complète aux risques chimiques, à l'utilisation des équipements de protection, ainsi qu'aux procédures d'urgence. La formation des nouveaux employés peut inclure des sessions théoriques et pratiques, y compris des démonstrations sur les bonnes pratiques de sécurité et l'utilisation correcte des équipements.

III.4.6. Mise à jour continue

La sécurité en entreprise évolue avec les changements dans les produits chimiques utilisés, les équipements, et les procédures de travail. Par conséquent, la formation ne doit pas être un événement ponctuel, mais un processus continu. Elle doit être régulièrement mise à jour pour intégrer les nouvelles réglementations, les innovations technologiques, et les retours d'expérience des travailleurs. Cela permet de garantir que les employés sont toujours au courant des dernières pratiques de sécurité et des risques émergents.

III.4.7. Affichage dans les ateliers : pictogrammes, procédures, consignes

L'affichage visuel est un complément indispensable à la formation des travailleurs. Il permet de maintenir les risques à l'esprit en permanence et de guider les actions de prévention.

➤ Pictogrammes de sécurité

Les pictogrammes sont un moyen simple et efficace de communiquer les risques dans les ateliers. Ils doivent être clairement visibles dans toutes les zones où des risques chimiques ou physiques sont présents. Ces pictogrammes doivent être conformes aux normes internationales (SGH - Système Général Harmonisé), afin d'être compris même par les travailleurs ne maîtrisant pas la langue locale. Ils incluent des symboles pour :

- **Dangers chimiques** : toxiques, irritants, cancérigènes.

- **Risques physiques** : bruits forts, chaleur, zones de haute tension, etc.

Les pictogrammes doivent être placés à des endroits stratégiques, près des produits chimiques, des machines ou des zones d'exposition



Figure 33 : pictogrammes de sécurité

➤ Procédures et consignes de sécurité

Les procédures et consignes de sécurité doivent être affichées dans les ateliers, à proximité des machines ou des zones à risque. Ces documents doivent décrire de manière claire et concise les bonnes pratiques de sécurité à adopter dans chaque situation :

- **Procédures pour les produits chimiques** : par exemple, des consignes spécifiques pour le nettoyage des équipements après utilisation de solvants ou l'utilisation des fluides de coupe.
- **Consignes en cas d'urgence** : des instructions sur la manière de réagir en cas de fuite de produit chimique, d'incendie ou de blessure.



Figure 34 : consignes de sécurité

III.4.8. Plan d'évacuation et d'intervention d'urgence

Un plan d'évacuation détaillant les chemins d'évacuation, les points de rassemblement et les procédures à suivre en cas de crise doit être affiché de manière visible. Les numéros d'urgence doivent être indiqués, afin que les travailleurs puissent rapidement obtenir de l'aide en cas de besoin.



Figure 35 : plan d'intervention

III.4.9. Sensibilisation régulière à la sécurité

En plus des formations continues et des affichages visuels, des actions de sensibilisation régulières doivent être organisées pour maintenir un haut niveau de conscience des risques parmi les travailleurs.

➤ Réunions de sécurité

Des réunions régulières doivent être organisées pour discuter des problèmes de sécurité, des incidents récents et des mesures correctives mises en place. Ces réunions permettent aux travailleurs de poser des questions, de partager leurs expériences et de discuter des risques spécifiques dans leur environnement de travail.

➤ Campagnes de sensibilisation

Les campagnes de sensibilisation peuvent être organisées pour rappeler les bonnes pratiques et les risques spécifiques. Par exemple, une campagne spécifique peut être lancée lors du passage à une nouvelle substance chimique, ou pour rappeler les comportements sûrs à adopter lors de périodes de pic d'activité.

Ces campagnes peuvent inclure des affiches, des vidéos pédagogiques, ou des événements de sécurité interactifs pour maintenir l'engagement des travailleurs et les inciter à adopter les bonnes pratiques.

III.5. CONCLUSION

Ce chapitre a mis en lumière les principales maladies professionnelles affectant les travailleurs de l'industrie métallurgique, telles que les dermatoses, les pneumoconioses et les intoxications aux métaux lourds, aggravées par des facteurs comme l'exposition prolongée, le mauvais usage des EPI, une ventilation insuffisante et un manque d'hygiène ou de formation. Pour y remédier, des mesures de prévention combinées ont été proposées : substitution des substances dangereuses, automatisation des tâches à risque, ventilation efficace, rotation des postes, port rigoureux d'EPI, surveillance médicale renforcée et sensibilisation continue. Ces actions, intégrées dans une approche globale, visent à réduire les risques sanitaires, améliorer les conditions de travail et garantir la santé des opérateurs tout en maintenant l'efficacité des processus industriels

CHAPITRE 4 :

Stage pratique

IV. Chapitre IV : Stage pratique

IV.1. Introduction

Le secteur de la métallurgie joue un rôle central dans le développement industriel, en fournissant des matériaux de base pour de nombreuses applications dans le bâtiment, l'automobile, l'énergie et d'autres industries stratégiques. Toutefois, derrière cette production de haute précision et de grande valeur se cachent de nombreux risques liés à la sécurité des travailleurs, à l'impact environnemental des procédés industriels, ainsi qu'à la gestion des déchets métalliques et chimiques.

C'est pourquoi il est essentiel d'intégrer une démarche HSE rigoureuse dans ce secteur afin d'assurer à la fois la protection du personnel et la conformité aux réglementations environnementales en vigueur.

C'est dans ce contexte que j'ai effectué mon stage pratique au sein de l'entreprise **SARL ATOM METAL**, une société spécialisée dans la fabrication et le traitement de produits métalliques. Mon stage a été réalisé au sein du département HSE

Ce rapport a pour objectif de présenter cette expérience de stage, qui s'inscrit dans le cadre de ma mémoire de fin d'étude. Il m'a permis de mettre en pratique les connaissances acquises durant mon cursus, et faire une étude de cas concernant les risques liés au fluide métallurgique.

IV.2. Présentation de l'entreprise :

IV.2.1. ATOM METAL dans le monde :

ATOM METAL s'est lancé dans l'exportation de produits en 2021 et, depuis lors, l'entreprise n'a cessé d'accroître son volume d'exportation chaque année. Nos produits ont pénétré avec succès des marchés clés dans le monde entier, avec une augmentation notable de notre présence en Europe, en particulier au Portugal. Au cours des trois dernières années, **ATOM METAL** a effectivement livré ses produits à **six pays distincts en Europe et en Afrique**. Avec une vision claire en tête, l'entreprise vise à exporter **30% de sa capacité de production totale**, établissant ainsi une trajectoire solide pour la croissance future et l'ouverture sur le monde.

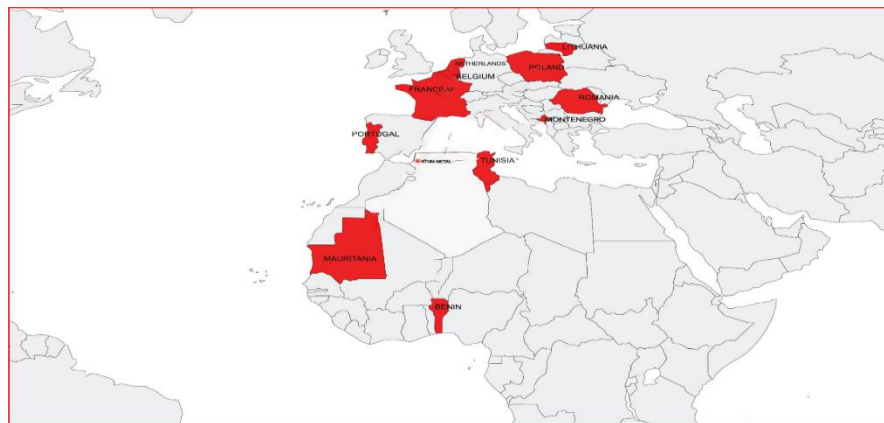


Figure 36 : ATOM METAL dans le monde

IV.2.2. ATOM METAL en Algérie :

Présente activement sur le marché national, **ATOM METAL** s'impose comme un acteur clé dans le domaine des produits métallurgiques en Algérie. Grâce à la qualité de ses produits et à son expertise technique, l'entreprise a participé à plusieurs projets d'envergure à travers le pays. Elle a notamment été **le fournisseur et l'installateur des clôtures du nouveau stade olympique d'Oran**, un projet emblématique pour la région de l'Ouest. Elle a également contribué à l'aménagement du **stade de Tizi Ouzou**, ainsi qu'à celui du **port de Béjaïa**, en assurant la fourniture et la pose de systèmes de clôture sécurisés. Ces réalisations témoignent du savoir-faire local d'**ATOM METAL** et de sa capacité à répondre aux exigences techniques des grands chantiers publics et privés en Algérie.

IV.2.3. Situation géographique :

Zone Industrielle de Hassi Ameur, Section N°4, Ilots 139 et 141, Hassi Bounif, Oran, Algérie. Cette localisation se trouve à proximité de la route nationale N11, facilitant l'accès depuis la ville d'Oran.

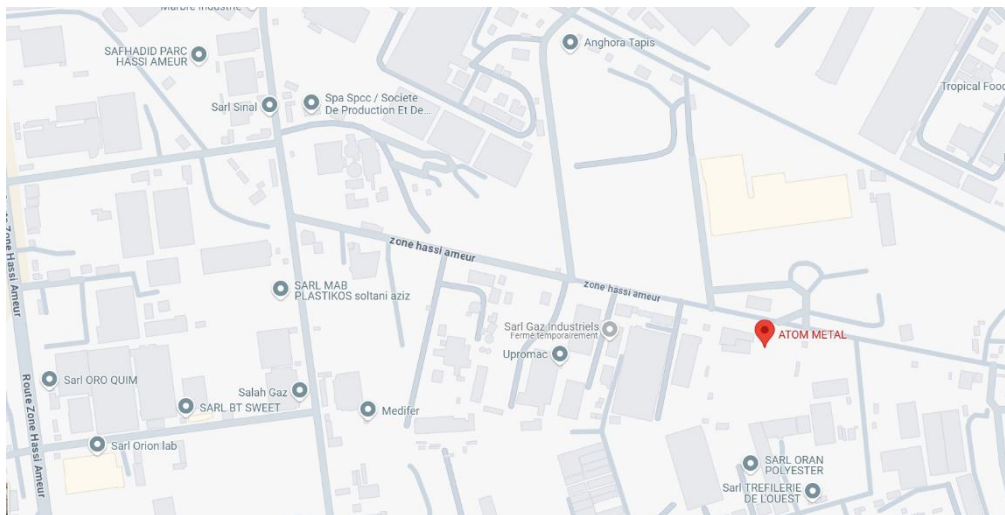


Figure 37 : situation géographique de SARL ATOM METAL

IV.2.4. Historique :

Créée en 2015, SARL **ATOM METAL** témoigne de l'esprit de collaboration entre les entrepreneurs algériens et turcs. Nichée dans la ville dynamique d'Oran, la SARL **ATOM METAL** s'est rapidement imposée comme une pierre angulaire du paysage manufacturier algérien. Au début de ses activités, la SARL **ATOM METAL** s'est concentrée sur le treillis métallique en béton et a atteint une capacité de production annuelle impressionnante de 60.000 tonnes métriques. Cela a marqué le début de notre engagement en faveur de la qualité et de l'innovation.

Forte de son succès initial, SARL **ATOM METAL** s'est lancée dans la production de clôtures galvanisées et s'est rapidement hissée au sommet du secteur algérien de la clôture. En un temps record, nous avons consolidé notre position en tant que premier fournisseur d'une gamme complète de solutions de clôtures adaptées aux divers besoins du marché avec un engagement inébranlable pour le progrès, SARL **ATOM METAL** a entamé la troisième phase de son voyage en augmentant sa gamme de produits.

En Introduisant la production de fil galvanisé à chaud, nous avons considérablement élargi nos offres, consolidant ainsi notre position dans l'industrie.

Aujourd'hui, SARL **ATOM METAL** continue d'orienter le marché algérien vers de nouveaux sommets grâce à sa ligne de production de fil galvanisé à la pointe de la technologie. Avec une capacité annuelle de 35 000 tonnes, nous restons à la pointe de l'innovation, établissant de nouvelles normes d'excellence à chaque fois.

IV.2.5. Description du site :

Le site est structuré en plusieurs zones :

- **Zone de production** : contient les machines (soudeuse, coupeuse, brise-vue, concertina, four de peinture...).
- **Zone de stockage** : stockage des produits chimiques et matières premières .
- **Zone de pesée** : avec pont bascule pour les camions qui prennent les déchets.
- **Zone de stockage des déchets** : chambres séparées pour déchets (fer, bois...).
- Zone administrative.
- Poste de grade.

VI.2.6. Produits fabriqués :

ATOM METAL propose une gamme variée de produits métallurgiques, notamment :

- **Treillis soudé** : C'est une armature métallique constituée de fil d'acier type **SAE 1008** soudés électriquement par résistance aux points de maillage. Ainsi le treillis soudé prend la forme d'un quadrillage métallique très rigide et résistant. Le ferrailage est en plaque ou en rouleaux, ses mailles peuvent être carrés ou rectangulaires.

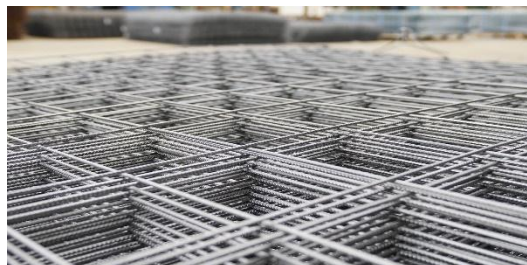


Figure 38 : treillis soudé

- **Le panneau de clôture simple fil** : est le modèle le plus répandu, apprécié pour sa polyvalence et sa simplicité d'installation. Conçu en fils d'acier galvanisé et soudé, il

offre une protection efficace tout en garantissant une intégration harmonieuse dans différents environnements, qu'il s'agisse de sites résidentiels, industriels ou publics.



Figure 39 : Panneau de clôture simple fil

- **Le panneau de clôture double fil** : est une solution robuste et sécurisée, renforcée par un double fil horizontal pour une excellente stabilité. Idéal pour les stades de proximité et les espaces nécessitant une protection accrue (industries, écoles, espaces publics), il allie résistance et durabilité grâce à son acier galvanisé et son traitement anticorrosion. Son design épuré assure une intégration harmonieuse, et son installation est facile grâce à divers systèmes de fixation.



Figure 40 : Panneau de clôture double fil

- **Le panneau sécurité** : est un système de clôture rigide de haute sécurité. Ces types des panneaux sont composés de mailles rectangulaires serrées qui permettent d'avoir une bonne visibilité à travers la clôture, un atout pour les sites sensibles.



Figure 41 : Panneau sécurité

- **Le brise-vue** : aussi appelé grillage gazonné ou gazon artificiel pour siège, est une solution esthétique et fonctionnelle pour préserver l'intimité et embellir les espaces extérieurs. Conçu en fibres synthétiques fixées sur un support en polyuréthane, il imite l'herbe naturelle tout en étant résistant aux intempéries et aux UV. Facile à installer sur clôtures, balcons ou murs, il offre une protection efficace contre le vis-à-vis et le vent, tout en demandant peu d'entretien.



Figure 42 : Brise-vue

- **Fil concertina** : est un fil de fer disposant de lames ou ongles coupants disposés à intervalle réguliers. Il est notamment utilisé dans les clôtures pour le bétail en raison de son faible coût et autour des zones nécessitant une sécurité accrue pour éviter intrusions ou évasions.



Figure 43: Fil concertina

IV.2.7. Les étapes du processus de fabrication :

Le processus de fabrication chez **SARL ATOM METAL** suit une chaîne de production clairement définie, où chaque étape repose sur l'efficacité de l'étape précédente. Voici une description des différentes étapes, de la réception des matières premières jusqu'à la livraison des produits finis.

○ Réception et préparation des matières premières

Les **matières premières** (aciers, fers, fils métalliques) sont livrées sur le site sous forme de **bobines** ou de **barres métalliques**. À leur arrivée, elles sont inspectées pour vérifier leur conformité aux spécifications, telles que l'épaisseur, la longueur et le type de métal. Une fois les matières validées, elles sont stockées dans la zone prévue à cet effet.

○ Découpe des matériaux

Une fois les matières premières stockées, elles passent à l'étape de **découpe**. Les barres ou bobines métalliques sont **mesurées et coupées** selon les dimensions spécifiques nécessaires à la production de brise-vue, concertina, ou autres produits. Les machines de **coupe** sont programmées pour effectuer ces tâches de manière automatisée. Cela peut entraîner des **risques de coupures** et d'**accumulation de copeaux métalliques** dans la zone de travail.

○ Soudure et assemblage

Les **machines soudeuses** sont utilisées pour assembler les différentes parties du produit, telles que les panneaux de clôture ou les brise-vue. À cette étape, il y a un risque élevé de **brûlures** dû à la chaleur intense produite par le procédé de soudage, ainsi qu'une exposition

aux **fumées métalliques** et aux **étincelles**. C'est une zone particulièrement **dangereuse** si les mesures de sécurité ne sont pas respectées, notamment en ce qui concerne le port des EPI (gants, masques, lunettes).

- **Application de peinture**

Une fois l'assemblage terminé, les produits passent dans le **four de peinture**. À ce stade, les produits métalliques sont **peints** avec des revêtements protecteurs. Ce processus génère des **vapeurs toxiques** qui peuvent être dangereuses pour la santé si elles ne sont pas correctement évacuées par des **systèmes de ventilation**. Les produits sont ensuite séchés dans le four.

- **Contrôle qualité et expédition**

Une fois la peinture sèche, chaque produit est inspecté pour vérifier son **conformité** en termes de **dimensions** et de **résistance mécanique**. Les produits qui répondent aux critères sont **étiquetés** et **emballés** avant d'être expédiés. La zone de contrôle qualité assure que tous les produits répondent aux **normes de sécurité** et aux exigences du client.



Figure 44 : site ATOM METAL

IV.2.8. Processus de la Machine de Coupe et Redressage de Fil Galvanisé



Figure 45 : machine de coupe et redressage

La machine illustrée est un ensemble de plusieurs postes de travail qui transforment une bobine de fil galvanisé en barres droites coupées à longueur. Le processus typique se déroule comme suit :

III.2.8.1. Déroulage (Dérouleur/Porte-Bobine) :

- Le fil galvanisé, en provenance d'une grosse bobine est tiré par le système.
- Le dérouleur peut être passif (le fil est simplement tiré) ou actif (motorisé pour aider à maintenir la tension).
- Un système de tension est souvent présent pour éviter les emmêlements et assurer une alimentation régulière.



Figure 46 : porte bobine

IV.2.8.2. Pré-dressage (Optionnel mais fréquent) :

Avant d'entrer dans la section de redressage principale, le fil peut passer par un pré-dresseur simple, souvent constitué de quelques rouleaux. Cela aide à éliminer les courbures majeures dues à l'enroulement en bobine.

IV.2.8.3. Redressage Mécanique (Système de Galets de Redressage) :



Figure 47 : Galets de Redressage

C'est l'étape cruciale où le fil est redressé. Il existe généralement deux configurations principales :

a. Redresseurs à galets rotatifs (rotary straighteners) :

Le fil passe à travers un ensemble de galets (généralement 5 ou 7) qui tournent autour du fil. Ces galets appliquent des flexions plastiques successives dans plusieurs plans, éliminant ainsi la mémoire de forme du fil. C'est le type le plus courant pour un redressement de haute qualité.

b. Redresseurs à galets fixes (roller straighteners) :

Le fil passe entre des paires de galets fixes qui le plient alternativement vers le haut et vers le bas, puis de gauche à droite. Moins courant pour les fils ronds, mais parfois utilisé.

Le bon ajustement des galets est essentiel pour obtenir un fil parfaitement droit sans endommager la couche de galvanisation.

IV.2.8.4. Lubrification :

Le fil redressé passe souvent par un bac de lubrification. C'est ici que l'huile MDX 10 et le gasoil (mazout) sont utilisés.

La lubrification réduit le frottement lors du processus de coupe et protège le fil de l'oxydation superficielle, surtout si le fil est stocké avant utilisation. Elle peut aussi servir à nettoyer légèrement la surface du fil.

IV.2.8.5. Entraînement du Fil (Système de Pincement/Traction) :

Des paires de rouleaux motorisés (souvent caoutchoutés ou avec un revêtement à haute friction) entraînent le fil à travers la machine.

Ces rouleaux assurent une vitesse constante et maintiennent la tension nécessaire pour le processus de redressage et de coupe. On les voit également sur les images, souvent avec des volants (roues oranges) associées.

IV.2.8.6. Mesure de Longueur :

Un encodeur rotatif ou un système de mesure optique mesure la longueur du fil au fur et à mesure qu'il avance.

Le système de contrôle de la machine utilise ces informations pour déclencher la coupe à la longueur désirée.

IV.2.8.7. Cisaillement/Coupe :

Une fois la longueur prédéfinie atteinte, un mécanisme de cisaillement (couteau guillotine ou ciseaux rotatifs) coupe le fil.

Ce mécanisme doit être rapide et précis pour garantir la longueur et une coupe nette sans déformation excessive de l'extrémité du fil ; les barres coupées prêtes à être collectées.

IV.2.8.9. Collecte des Barres Coupées :

Les barres droites coupées tombent sur un système de collecte, souvent un berceau ou des tréteaux, où elles sont regroupées et prêtes pour l'emballage ou l'étape de production suivante.



Figure 48 : l'opération de collecte des barres

IV.2.9. Lubrifiants Utilisés : Huile MDX 10 et Mazout (Gasoil)

L'utilisation de l'huile MDX 10 et du mazout (gasoil) comme lubrifiants dans ce type de machine est assez courante, surtout dans des contextes où des solutions économiques sont privilégiées.

IV.2.9.1. Huile MDX 10

IV.2.9.1.1. Classification de la substance

Les dangers physiques, pour la santé et pour l'environnement du mélange ont été évalués et/ou testés, et la classification suivante s'applique.

Classification selon la directive 67/548/CEE ou 1999/45/CEE et ses amendements Cette préparation ne répond pas aux critères de classification de la directive 1999/45/CE et ses amendements

- Viscosité à 100 °C (mm²/s) : 6,0
- Additifs : Peut contenir des additifs anti-usure (AW), extrême-pression (EP) ou des agents mouillants pour améliorer l'adhérence et la réduction du frottement.
- Propriétés de refroidissement : Capacité limitée à dissiper la chaleur par rapport aux fluides de coupe dédiés.
- Point d'éclair (°C) : 200
- Point d'écoulement (°C) : -22
- **Paramètres de contrôle**

Tableau 4 : limite d'exposition professionnelle de huile MDX 10

Limites d'exposition professionnelle
Brouillard d'huile, minéral (SEQ100910)
VLCT : 10 mg /m3
VME : 5 mg

IV.2.9.1.2. Informations sur les effets toxicologiques

- **Toxicité aiguë** : Les températures élevées ou l'action mécanique peuvent produire des vapeurs, des brouillards ou des émanations susceptibles d'être irritants pour les yeux, le nez, la gorge et les poumons. L'ingestion de grandes quantités peut entraîner des perturbations gastro-intestinales dont des irritations, la nausée et la diarrhée.
- **Corrosion ou irritation de la peau** : Le contact fréquent ou prolongé peut dégraisser et dessécher la peau, entraînant gêne et dermatite.¹⁵

IV.2.9.1.3. Effet sur le Fil Galvanisé :

- **Lubrification** : Réduit le frottement entre le fil et les galets de redressage, les mécanismes de coupe. Cela minimise l'usure des machines et prolonge la durée de vie des outils.
- **Protection contre la corrosion** : Forme un film protecteur sur la surface du fil, offrant une protection temporaire contre l'oxydation après le processus, particulièrement importante pour le fil galvanisé dont la couche de zinc est déjà une protection en soi, mais qui peut être affectée par des manipulations ou des atmosphères humides.
- **Amélioration de la coupe** : Facilite la pénétration du couteau, réduit l'échauffement localisé et peut améliorer la qualité de la coupe (moins de bavures).
- **Nettoyage léger** : Aide à emporter les petites particules métalliques ou la poussière qui pourraient s'accumuler sur le fil.
- **Influence sur la couche de zinc** : Une huile appropriée ne devrait pas attaquer chimiquement la couche de zinc. Cependant, un frottement excessif ou des additifs incompatibles pourraient potentiellement marquer ou altérer l'aspect de la surface galvanisée, bien que cela soit rare avec des huiles de base minérale.

IV.2.9.2. Mazout (Gasoil / Diesel)**IV.2.9.2.1. Caractéristiques :**

- **Composition** : Hydrocarbure liquide dérivé du pétrole brut, principalement utilisé comme carburant diesel.
- **Viscosité** : Très faible par rapport à une huile de lubrification, ce qui le rend très fluide.
- **Point d'éclair** : Faible (environ 52°C minimum pour le gasoil routier), ce qui le rend plus inflammable que l'huile MDX 10.

- **Additifs** : Contient des additifs spécifiques pour son usage comme carburant (anti-mousse, anti-corrosion pour les réservoirs, etc.), mais pas pour la lubrification industrielle.
- **Volatilité** : Relativement volatile, s'évapore plus rapidement que l'huile.

IV.2.9.2.2. Effet sur le Fil Galvanisé :

- **Lubrification** : Offre une lubrification très légère et temporaire. Sa faible viscosité signifie qu'il ne crée pas un film protecteur durable et résistant aux pressions. Il peut être utilisé pour un "rinçage" ou pour des applications où une lubrification minimale est requise, ou pour diluer une huile plus visqueuse.
- **Nettoyage/Dégraissage** : Sa nature de solvant peut aider à nettoyer le fil en dissolvant les graisses ou les dépôts légers.
- **Influence sur la couche de zinc** : En tant qu'hydrocarbure, il ne devrait pas attaquer chimiquement la couche de zinc. Cependant, son absence de propriétés lubrifiantes efficaces à haute pression peut entraîner une usure accrue des outils et, indirectement, des marques sur le fil si le frottement devient excessif.
- **Résidus** : Peut laisser des résidus légers après évaporation, mais généralement moins qu'une huile plus lourde.
- Raison de l'utilisation combinée (si c'est le cas) :
- Le mazout est parfois utilisé pour diluer des huiles plus épaisses pour faciliter l'application ou pour réduire la viscosité dans des systèmes de circulation.
- Il peut aussi servir de nettoyant avant l'application d'une huile plus protectrice, ou comme agent de refroidissement sommaire.
- C'est souvent une solution économique, bien que moins performante et plus risquée que des lubrifiants industriels dédiés.

IV.2.10. Risques Associés

L'utilisation de cette machine et des lubrifiants spécifiques présente plusieurs risques qui doivent être gérés rigoureusement.

IV.2.10.1. Risques pour la Sécurité des Opérateurs

- **Risques mécaniques** :
 - **Pièces en mouvement** : Rouleaux de redressage, systèmes d'entraînement, couteaux de coupe, chaînes de transport. Risque d'entraînement, de cisaillement, d'écrasement ou d'amputation si les carter de protection ne sont pas en place ou sont ouverts pendant le fonctionnement.
 - **Fil sous tension** : Le fil est constamment sous tension pendant le processus, présentant un risque de rupture et de "fouettement" (effet de fouet) pouvant causer des blessures graves.
 - **Projection de particules** : Lors du redressage ou de la coupe, de petites particules de métal ou de revêtement de zinc peuvent être projetées.
 - **Bruit** : Le fonctionnement de la machine génère un niveau sonore très élevé, pouvant entraîner des troubles auditifs à long terme (acouphènes, surdité professionnelle).
 - **Chutes** : Les sols peuvent devenir glissants à cause des lubrifiants.

- **Manutention des bobines et des barres :** Risques liés au levage (troubles musculo-squelettiques) et à l'écrasement lors de la manipulation des bobines lourdes de fil ou des paquets de barres coupées.
- **Risques chimiques (liés aux lubrifiants : Huile D10 et Mazout) :**
 - **Contact cutané :** Le contact prolongé ou répété avec l'huile D10 ou le mazout peut provoquer des irritations cutanées, des dermatites, des dessèchements ou des crevasses. Le mazout est un irritant cutané plus connu.
 - **Inhalation :** Les vapeurs ou aérosols (brouillards) d'huile et de mazout peuvent être inhalés, irritant les voies respiratoires et les poumons. Une exposition prolongée peut entraîner des problèmes respiratoires. Le mazout est plus volatil et ses vapeurs sont plus facilement inhalées.
 - **Ingestion :** Bien que peu probable, l'ingestion accidentelle peut entraîner des troubles gastro-intestinaux.
 - **Toxicité à long terme :** Certains composants des huiles minérales et du mazout peuvent être potentiellement cancérogènes en cas d'exposition chronique et non protégée (notamment les hydrocarbures aromatiques polycycliques - HAP).

➤ **Risque d'incendie/explosion :**

Le **mazout (gasoil)** a un point d'éclair plus bas que l'huile MDX 10, ce qui le rend plus inflammable. La présence de mazout près de sources de chaleur (moteurs de machine, étincelles dues au frottement ou à la coupe) augmente considérablement le risque d'incendie.

Les accumulations de lubrifiants sur les machines ou au sol, combinées à des températures élevées ou à des étincelles, peuvent déclencher un incendie.

IV.2.10.2. Risques pour la Machine et la Production

- **Usure accélérée des composants :**
 - Si la lubrification est insuffisante ou de mauvaise qualité, le frottement augmente, entraînant une usure prématurée des galets de redressage, des roulements, des engrenages et des couteaux de coupe. Le mazout seul ne fournit pas une lubrification suffisante pour des charges élevées.
 - Corrosion des pièces de la machine si les lubrifiants ne contiennent pas d'additifs anticorrosion ou si l'environnement est très humide.
- **Problèmes de qualité du produit :**
 - **Qualité de redressement :** Des problèmes de redressage peuvent entraîner des fils non droits, inutilisables ou nécessitant un retravail. Cela peut être dû à un mauvais réglage, mais aussi à un frottement excessif si la lubrification est inadéquate.
 - **Qualité de coupe :** Des bavures, des coupes non nettes ou des longueurs imprécises peuvent résulter de l'usure des couteaux (aggravée par une mauvaise lubrification) ou d'un mauvais réglage.
 - **Altération de la galvanisation :** Bien que la couche de zinc soit robuste, un frottement excessif sans lubrification adéquate peut entraîner des marques, des

- **Contamination du fil** : Un excès de lubrifiant, surtout s'il est sale, peut laisser un film huileux indésirable sur le fil, ce qui peut affecter les étapes de fabrication ultérieures (par exemple, soudage, peinture).
- Pannes et arrêts de production :
- L'usure excessive des pièces et la surchauffe peuvent entraîner des pannes inopinées de la machine, occasionnant des arrêts de production coûteux et une perte de productivité.

IV.2.10.3. Etude HZOP

Fiche HAZOP – Huile MDX10 (lubrification machine coupeuse) :

Système étudié : Système de lubrification d'une machine coupeuse utilisant l'huile MDX10.

Paramètres analysés :

1-Débit d'huile

2-Pression

3-Température

4-Qualité de l'huile

5-Niveau de lubrification

6-Fréquence d'application

7-Type de lubrifiant

Tableau 5: Analyse HAZOP

Paramètre	Guide Word	Déviations	Causes possibles	Conséquences possibles	Mesures de prévention / détection
Température	High	Huile trop chaude	Machine en surchauffe, environnement chaud	Dégradation huile, baisse de viscosité	Suivi température, ventilation locale
Température	Low	Huile trop froide	Démarrage à froid, zone non chauffée	Mauvaise lubrification, viscosité trop élevée	Préchauffage, lubrifiant adapté
Qualité lubrifiant	Wrong	Mauvais type d'huile	Erreur humaine, produit non identifié	Risque de panne, corrosion, incompatibilité	Étiquetage clair, formation opérateurs
Niveau huile	Low	Niveau bas	Fuite, consommation anormale, absence de contrôle	Manque de lubrification, risque mécanique	Checklists régulières, capteur de niveau
Fréquence	MORE	Sur-lubrification	Excès de zèle, mauvais planning	Gaspillage, accumulation, risques glissants	Planning maintenance précis, suivi HSE
Niveau huile	LOW	Niveau bas	Fuite, consommation anormale, absence de contrôle	Manque de lubrification, risque mécanique	Checklists régulières, capteur de niveau
Fuite	YES	Fuite d'huile	Joint usé, mauvais serrage, tuyau percé	Pollution, glissade, perte de performance	Bac de rétention, inspection régulière

Fiche d'hydrocarbures (MAZOUT) (lubrification machine coupeuse) :

Système étudié : : Système de lubrification d'une machine coupeuse utilisant l'huile à base d'hydrocarbures (MAZOUT).

Tableau 6 : Fiche d'hydrocarbures.

Élément analysé	Paramètre	Mot-guide (Guide Word)	Déviation	Causes possibles	Conséquences potentielles
Fût de mazout	Intégrité	Fuite	Fût percé ou déformé	Mauvais stockage, chute, matériau faible	Déversement, glissade, pollution, risque incendie
Fût de mazout	Fermeture	Ouvert	Fût mal refermé	Négligence, manipulation fréquente	Évaporation, émission de vapeurs, contamination
Transfert manuel	Quantité	Trop	Ajout excessif	Absence de doseur, mauvaise estimation	Débordement sur la machine, incendie potentiel
Transfert manuel	Contact opérateur	Plus	Contact direct	Absence d'EPI, éclaboussure pendant le versement	Irritation peau/yeux, contamination EPI
Zone autour de la machine	Glissance	Présence de liquide	Fuites ou éclaboussures	Trop-plein, débordement non nettoyé	Glissade, chute, blessure
Utilisation machine	Température	Trop	Mazout enflammé	Étincelle, court-circuit proche, résidu mazout	Départ de feu
Stockage fûts	Environnement	Trop chaud / trop soleil	Dégradation	Stockage à l'extérieur ou proche de source de chaleur	Fût affaibli → fuite, émission vapeur inflammable
Fût de mazout	Intégrité	Fuite	Fût percé ou déformé	Mauvais stockage, chute, matériau faible	Déversement, glissade, pollution, risque incendie
Fût de mazout	Fermeture	Ouvert	Fût mal refermé	Négligence, manipulation fréquente	Évaporation, émission de vapeurs, contamination

IV.2.10.4. Impact environnemental :

- **Pollution des sols et des eaux :** Les fuites de lubrifiants ou leur élimination inappropriée peuvent contaminer les sols et les nappes phréatiques, avec des conséquences écologiques graves.
- **Déchets dangereux :** Les huiles et mazout usagés sont des déchets dangereux qui nécessitent une collecte et un traitement spécifiques.
- **Émissions atmosphériques :** Les vapeurs volatiles de mazout contribuent à la pollution de l'air ambiant.

IV.3. Prévention et amélioration des conditions de travail

IV.3.1. Mesures techniques

Les mesures techniques visent à limiter l'exposition directe des travailleurs aux dangers. Voici quelques exemples :

- **Automatisation** des machines : pour éviter le contact direct avec les pièces chaudes ou les produits chimiques.
- **Ventilation et aspiration** à la source : pour évacuer les fumées, poussières et vapeurs nocives.
- **Enceintes fermées** pour les machines dangereuses : protection contre les projections et le bruit.
- **Utilisation de produits moins toxiques** : remplacer les fluides dangereux par des alternatives moins nocives.
- **Entretien régulier des équipements** : éviter les fuites, les surchauffes et les accidents.

IV.3.2. Mesures organisationnelles

Les mesures organisationnelles améliorent les conditions de travail par une meilleure organisation :

- **Réduction du temps d'exposition** aux agents dangereux par la rotation des postes.
- **Planification des tâches à risque** en dehors des horaires de grande affluence.
- **Affichage clair des consignes de sécurité** à chaque poste de travail.
- **Surveillance médicale régulière** pour les travailleurs exposés.
- **Gestion rigoureuse des stocks** de produits chimiques (étiquetage, stockage sécurisé).

IV.3.3. Formation et sensibilisation

La formation est essentielle pour que les travailleurs adoptent les bons réflexes :

- **Formations régulières en sécurité et santé au travail** adaptées à chaque poste.
- **Sensibilisation aux risques spécifiques** (produits toxiques, machines, bruit...).
- **Exercices de simulation** pour les situations d'urgence (incendie, fuite chimique...).
- **Implication des travailleurs** dans la politique de prévention (remontée des incidents, suggestions...).

IV.4. Conclusion :

Les risques chimiques et toxicologiques des métaux lourds et des HAP, se manifestent dans l'utilisation de fluides comme l'huile MDX 10 et le mazout, avec des impacts sur la santé, la sécurité et l'environnement. Ces constats nécessitent des mesures préventives intégrées, incluant automatisation, ventilation, substitution de produits, rotation des postes et port d'EPI, pour protéger les travailleurs tout en préservant la productivité industrielle

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

L'industrie métallurgique, bien qu'essentielle au progrès technologique et économique, expose les travailleurs à des risques chimiques et toxicologiques significatifs, découlant des procédés d'extraction, de transformation et de traitement des métaux, ainsi que de l'utilisation de fluides de travail comme les huiles et le mazout. Ces procédés, bien que nécessaires pour produire des matériaux de haute qualité, génèrent des dangers tels que les dermatoses, les pneumoconioses, les intoxications aux métaux lourds et les cancers professionnels, aggravés par des facteurs comme l'exposition prolongée, le manque d'hygiène ou l'absence de protections adaptées. Face à ces défis, ce mémoire a proposé une approche intégrée combinant des mesures techniques (substitution des substances dangereuses, automatisation, ventilation), organisationnelles (rotation des postes, formation continue) et individuelles (port d'EPI, surveillance médicale). Ces solutions, soutenues par une sensibilisation accrue et le respect des réglementations, visent à concilier l'efficacité industrielle avec la protection de la santé des travailleurs et la préservation de l'environnement, assurant ainsi la durabilité et la responsabilité de ce secteur clé.

References bibliographiques

- (1) *Techniques de l'ingénieur : Page Inexistante*. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/metallurgie-des-poudres-42263210/metallurgie-extractive-generalites-m1100/> (accessed 2025-06-16).
- (2) *Service géologique national | BRGM*. <https://www.brgm.fr/fr> (accessed 2025-06-16).
- (3) *Mise en forme à l'état semi-solide*. Techniques de l'Ingénieur. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/mise-en-forme-des-metaux-aspects-rheologiques-et-metallurgiques-42476210/mise-en-forme-a-l-etat-semi-solide-m3050/> (accessed 2025-06-16).
- (4) *Mise en forme de l'acier par estampage*. Techniques de l'Ingénieur. <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-mise-en-forme-des-metaux-et-fonderie-tiamc/archive-1/mise-en-forme-de-l-acier-par-estampage-m3200/> (accessed 2025-06-16).
- (5) Planes, F. *Les 7 traitements thermiques de l'acier : comment transforment-ils ce métal ?* Ferros Planes. <https://ferroplanes.com/fr/les-7-traitements-thermiques-de-lacier-comment-transforment-ils-ce-metal/> (accessed 2025-06-16).
- (6) Trempe (métallurgie). *Wikipédia*; 2025.
- (7) meta-author. *Basics of Tempering*. <https://virgamet.com/blog/basics-of-tempering> (accessed 2025-06-16).
- (8) admin. *TRATAMIENTOS TERMO-QUÍMICOS*. MetalCast. <https://metalcas.com.mx/en/2020/08/19/tratamientos-termo-quimicos/> (accessed 2025-06-16).
- (9) *Documentation scientifique et technique, conseil et formation | Techniques de l'Ingénieur*. <https://www.techniques-ingenieur.fr/> (accessed 2025-06-16).
- (10) *Traitement de surfaces - Technologie de surface - Bodycote Plc*. Bodycote Heat Treatment. <https://www.bodycote.com/fr/services/traitement-de-surfaces/> (accessed 2025-06-19).
- (11) *Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*. Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr> (accessed 2025-06-19).
- (12) *Legislation | Safety and health at work EU-OSHA*. <https://osha.europa.eu/fr/legislation/directives/directive-2004-37-ec> (accessed 2025-06-19).
- (13) *EDTA et sel tétrasodique (FT 276). Généralités - Fiche toxicologique - INRS*. https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_276 (accessed 2025-06-19).
- (14) *List of Classifications*. <https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications> (accessed 2025-06-19).
- (15) *Produits : Mixoil MDX 10*. <https://mixoil.dz/index.php/nos-produits/mixoil-mdx-detail> (accessed 2025-06-19).
- (16) *Résultats de la recherche simple - INRS*. <https://www.inrs.fr/header/recherche.html> (accessed 2025-06-19).

- (17) *Intoxication Aux Métaux Lourds - Symptômes et Causes*. Phytonut.
<https://www.phytonut.com/blog/metaux-lourds-intoxication/> (accessed 2025-06-19).
- (18) *Sénat - Accueil*. Sénat. <https://www.senat.fr/> (accessed 2025-06-19).
- (19) *Service de Santé au Travail, Réglementations Officiel Prevention : Sécurité au travail, prévention risque professionnel. Officiel Prevention, annuaire CHSCT*.
<https://www.officiel-prevention.com/categorie/sante-hygiene-medecine-du-travail-sst/service-de-sante-au-travail-reglementations> (accessed 2025-06-19).
- (20) *INRS - Automatisation et robotisation dans l'industrie - Recherche Google*.
https://www.google.com/search?q=INRS+-+Automatisation+et+robotisation+dans+l%E2%80%99industrie&oq=INRS+-+Automatisation+et+robotisation+dans+l%E2%80%99industrie&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOTIJCAEQIRgKGKABMgcIAhAhGI8CMgcIAxAhGI8C0gEJMjAwNGoxajE1qAIJsAIB8QXEAvvCvuFPFg&sourceid=chrome&ie=UTF-8#vhid=zephyr:0&vssid=atritem-https://www.inrs.fr/dam/inrs/CataloguePapier/HST/TI-DO-38.pdf (accessed 2025-06-19).
- (21) *Sécurité des équipements de travail - Brochure - INRS*.
<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206122> (accessed 2025-06-19).
- (22) *Un EPI efficace est un EPI adapté et bien utilisé ! - Actualité - INRS*.
<https://www.inrs.fr/actualites/epi-adapte-et-bien-utilise.html> (accessed 2025-06-19).