

République Algérienne Démocratique Et Populaire  
Ministère De L'enseignement Supérieur  
Et De LA Recherche Scientifique



Université M'hamed Bougara Bumerdes  
Faculté Des Hydrocarbure Et De La Chimie  
Département Génie Des Procédés Chimiques Et Pharmaceutique

# Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme de Master  
**Spécialité : Génie Des Procédés**  
**Option : Sécurité Industrielle**

## Thème

**Prévention de risques lies aux opérations  
de soudage et de contrôle  
(ENGTP-REGHAIA)**

**Réaliser par :**

BOUDJEMA Ikram

**Promoteur :**

Mr.KHELASSI Said

**Membre de jury:**

YOUNSI Ferroudja

**Année universitaire : 2015/2016**

## *Remerciements*

*Je tiens à remercier avant tout DIEU le tout puissant de m'avoir donné le courage et la volonté pendant toutes ces longues années d'études ;*

*Le grand remerciement à ma famille de m'avoir donné tout ce qu'il fait désirer et attend de la vie ;*

*Je tiens à exprimer mes profondes reconnaissances et gratitude à mon encadreur Mr.KHELASSI Said pour son orientation et ses précieux conseils durant l'élaboration de ce travail.*

*Je remercie également les membres du jury qui me feront l'honneur de juger ce modeste travail.*

*Je tiens également, à remercier tous les enseignants du département Génie des procédés chimiques et pharmaceutiques pour leurs soutiens et formation.*

*En fin, je tiens à exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail*

*Merci à tous*

***Sommaire***

<b>Liste des figures</b> .....	III
<b>Liste des tableaux</b> .....	IV
<b>Introduction</b> .....	2

***CHAPITRE I : PRESENTATION DE L'ENGTP (REGHAIA)***

I.1. Présentation de l'entreprise.....	4
I.2. Situation géographique de l'ENGTP .....	8
I.3. Plan de masse de l'ENGTP REGHAIA .....	8
I.4. Organisation et structure .....	10
I.5. Moyen de l'ENGTP en matière de sécurité.....	13
I.6. Présentation de l'atelier.....	18

***CHAPITRE II : PROCEDE DE SOUDAGE ET DE CONTROLE***

II.1. Procédé de soudage.....	23
II.1.2.1. Soudage au gaz ou au chalumeau.....	25
II.1.2.2. Soudage à l'arc électrique.....	26
II.1.3.3 Soudage par résistance.....	36
II.2.1. Le contrôle radiographique.....	37
II.2.2. Les sources de rayonnements ionisants.....	38
II.2.3. Composition de l'appareil de gammagraphie.....	40
II.2.4. Film radiographique.....	41
II.2.5. Manifestation de la radioactivité .....	41
II.2.5.1 Grandeurs et unités.....	41
II.2.5.2. Interaction dans la matière.....	42
II.2.6. Utilisation et entretien de l'équipement de gammagraphie.....	43
II.2.7. Les avantages et les inconvénients du contrôle radiographiques.....	44

***CHAPITRE III : RISQUES LIES AUX OPERATIONS DE SOUDAGE ET DE CONTROLE***

III.1.1. Risques d'intoxication liés aux fumées.....	46
III.1.1. Risques d'anoxie liés aux gaz de protection.....	47
III.1.3. Risques liés aux projections et aux pièces chaudes .....	48
III.1.4. Risques liés aux bruits .....	48
III.1.5. Risques liés aux rayonnements optiques.....	48

III.1.6. Risques liés à l'électricité.....	49
III.1.7. Risques liés aux champs électromagnétiques.....	50
III.1.8. Risques d'incendie et d'explosion.....	51
III.1.9. Risques ergonomiques.....	51
III.1.10. Risques organisationnels.....	51
III.1.11. Risques pour l'environnement .....	52
III.2. Risques spécifiques au soudage au chalumeau.....	52
III.3. Risques spécifiques du soudage à l'arc électrique.....	54
III.4. Pathologies professionnelles liées au soudage .....	56
III.5. Risques liés aux opérations du contrôle.....	58
III.5.1. Effets des rayonnements ionisants sur l'homme.....	59
III.5.1. Effets biologiques d'une exposition.....	60
III.5.2. Conséquences d'une exposition sur la santé.....	61

***CHAPITRE IV : PREVENTION DES RISQUES LIES AUX OPERATIONS DE SOUDAGE  
ET DE CONTROLE***

IV.1.1. Prévention d'ordre technique collective.....	65
IV.1.2. Protection individuelle .....	70
IV.2.1. Base de la radioprotection .....	74
IV.2.2. Protection contre l'exposition externe.....	75
IV.2.3. Normalisation des radiations ionisantes .....	77
IV.2.4. Délimitation des zones et signalisation.....	78
IV.2.5. Responsables de la radioprotection .....	78
IV.2.8. Consignes de sécurité contre les risques de radiologie industrielle .....	79
IV.2.9. Moyen de la radioprotection.....	83

***CHAPITRE IV : PARTIE CALCUL***

V.1. L'activité résiduelle de la source radioactive en fonction du temps.....	88
V.2. Calcul des limites de zone.....	90
V.4. Calcul des limites de zone sur chantier.....	91
V.5. Calcul de l'épaisseur des parois de blockhaus .....	93
<b>Conclusion</b> .....	97
<b>Bibliographie</b> .....	98

***Liste des figures***

Fig 1.1 : Evolution du capital de l'ENGTP (REGHAIA).....5

Fig 1.2 : Plan de masse de L'ENGTP (REGHAIA).....9

Fig 1.3 : Organigramme de la direction générale.....10

Fig 1.4 : Organigramme de la direction QHSE.....11

Fig 1.5 : Affiches au niveau de l'atelier charpente métallique.....15

Fig 1.6 : Centre Médicale et Social (CMS) de l'ENGTP.....18

Fig 1.7 : L'atelier de préfabrication de L'ENGTP REGHAIA.....21

Fig 2.1 : Coupe transversale d'un assemblage .....23

Fig 2.2 : Principaux types d'assemblages.....24

Fig 2.3 : Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobée.....29

Fig 2.4 : procédé de soudage TIG sous protection d'argon.....33

Fig 2.5 : Procédé de soudage MIG/MAG.....34

Fig 2.6 : Procédé de soudage par molettes.....36

Fig 2.7 : Schéma simplifié d'une gammagraphie à éjection manuelle.....37

Fig 2.8 : Composition d'un appareil de gammagraphie.....40

Fig 3.1 : Échelle présentant les conséquences du passage du courant dans le corps.....50

Fig 3.2 : Altérations possibles de l'ADN suite à une exposition à des rayonnements ionisants.....60

Fig 4.1 : les principes de radioprotection temps, distance et écran.....75

Fig 4.2 : Radiamètre.....83

Fig 5.1 : Diagramme de diminution de l'activité résiduelle en fonction du temps.....89

Fig 5.2 : Diagramme de la limite de la zone en fonction de l'activité résiduelle.....91

***Liste des tableaux***

Tableau 2.1 : Radioélément les plus utilisés en contrôle non destructif .....	38
Tableau 2.2 : les différents types de rayonnements ionisants.....	39
Tableau 3.1 : Les principaux constituants des fumées de soudage.....	46
Tableau 3.2 : Effets des fumées et des gaz sur la santé.....	47
Tableau 3.3 : Types de rayonnements et principaux effets associés.....	49
Tableau 3.4 : Risques liés à l'exposition aux poussières des métaux.....	55
Tableau 3.5 : Seuil pour les effets déterministes.....	62
Tableau 3.6 : Effets sur l'organisme des rayonnements ionisants en fonction de la dose reçue.....	62
Tableau 5.1 : La décroissance de l'activité résiduelle en fonction du temps.....	89
Tableau 5.2 : Les limites des trois zones (interdite, contrôlée et surveillée).....	90

# *INTRODUCTION*

### Introduction

Le soudage occupe une place importante dans toutes les branches d'industrie, car il permet d'adapter au mieux les formes de construction aux contraintes qu'elles sont appelées à supporter en service. Il consiste à réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage, de manière à assurer la continuité entre les parties à assembler. Mais les opérations de soudage présentent de nombreux risques potentiels pour les soudeurs.

Dans l'ensemble des secteurs industriels, la qualité de la soudure doit généralement être contrôlée régulièrement en cours de production, en cours de fonctionnement ou lors de la maintenance afin de déterminer s'elles présentent des défauts. Aujourd'hui on assiste à une demande très importante et généralisée du contrôle non destructif (CND). La qualité de la soudure est devenue une nécessité pour les entreprises confrontées à la concurrence internationale et à une clientèle exigeante et afin de garantir la sécurité des personnes et des matériels.

Le contrôle non destructif lui-même présente un risque non négligeable vu la dangerosité des sources radioactives manipulées au cours des essais non destructifs et leurs pouvoir d'émission de rayonnements ionisants, qui peuvent altérer la santé de ses employés ainsi que l'ensemble du personnel de l'entreprise et même toute la population (public).

L'entreprise nationale de grands travaux pétroliers l'ENGTP est une filiale 100% SONATRACH, leader dans son domaine en matière de construction des ouvrages et des installations industriels, est dans l'obligation de mettre en œuvre une politique efficace de prévention de haut niveau concernant la radioprotection, avec le respect strict de la réglementation en vigueur afin de pouvoir préserver la santé de ses travailleurs, la sécurité de ses installations et la contribution dans la préservation de l'environnement.

L'objet de ce mémoire sera de présenter les risques liés aux opérations de soudage et de contrôle radiographique au niveau de l'ENGTP et leurs effets sur l'homme et l'environnement, ainsi que les mesures de préventions à mettre en place afin de supprimer ou réduire ces risques.

Ce mémoire va donc s'articuler autour de la problématique suivante :

**Quels sont les conséquences de l'exposition de l'homme aux risques liés aux opérations de soudage et de contrôle radiographique ?**

**Les mesures de préventions mis en œuvre sont-elles efficaces et satisfaisante ?**

Dans un premier temps sera établi une présentation des techniques de procédés de soudage et de contrôle radiographique.

Une analyse sera ensuite consacrée pour déterminer les risques liés aux opérations de soudage et de contrôle radiographique, ainsi que une présentation des mesures de préventions à mettre en place.

En dernier lieu une partie calcul sera réalisée sur l'efficacité de la radioprotection disponible au niveau de l'ENGTP.

*CHAPITRE I :*

*PRESENTATION DE*

*L'ENGTP (REGHAIA)*

## I.1. Présentation de l'entreprise

ENGTP est une entreprise de grande envergure spécialisée dans la construction en tous corps de métiers, de grands ensembles industriels et de canalisation dans, principalement les domaines Oil et Gas et Energy.

Sa présence sur le marché depuis plus de 43 ans, lui a permis de développer un large portefeuille d'activités et d'accumuler un savoir-faire, une expertise et des capacités qui l'ont hissé au statut d'Entreprise Leader en Algérie.

**Dénomination :** Entreprise de Grands Travaux Pétroliers (ENGTP)

**Statut :** Société par action Filiale à 100% du groupe Sonatrach.

**Capital social :** 6.390.000.000.

**Chiffre d'Affaire annuel :** 20 Milliard DA (260 Millions US\$).

**Capacité annuelle de réalisation :** 10.000.000 Heures.

**Effectifs moyen :** 10.000 personnes.

**Siege Social :** Zone industrielle Réghaia BP 09, Alger.

### a. Historique l'ENGTP (REGHAIA)

Naissance d'ALTRA entreprise algérienne des grands travaux société économique mixte dans la quelle SONATRACH déteint 51% des actions ; effectifs de l'entreprise 600 agents, chiffre d'affaire 24 MDA En :

**1972 :** Fin de société mixte par achats des actions détenus par le partenaire étranger , ALTRA se transforme en filiale, effectifs 1600 agents ,chiffre d'affaire 122 MDA.

**1980 :** La résurrection de SONATRACH donne naissance à l'entreprise nationale de grands travaux pétroliers (GTP), entreprise socialiste à caractère économique .Effectif 6700 agents, chiffre d'affaire 600 MDA.

**1989 :** ENGTP devient une société par action son actionnaire est le fond participation MINES-HYDRICARBURES .Effectifs 7400 agents chiffre d'affaire 770 MDA.

**1995** : Après la dissolution du fond de participation, le Holding publique réalisation et grands travaux pétroliers deviennent actionnaires principale de G T P, chiffres d'affaires 6886 MDA, effectifs 9800 agents.

**1999** : Augmentation de capital social de 570.000.000.00 DA à 165.000.000.00 DA et division des actions comme suit :

- ✓ 51% attribués au SONATRACH
- ✓ 49% attribués au HOLDING publiques réalisation et grands travaux.

#### 2004 : Certification Qualité

L'ENGTP est certifiée système management qualité selon le l'ISO 9001 version 2008, certification obtenue auprès de l'organisme certificateur AIB Vinçotte international (organisme Belge).

**2005** : L'ENGTP devient filiale du Groupe SONATRACH à 100 %.L'effectif social de l'entreprise tout au long de ces années est résumé sur la figure1

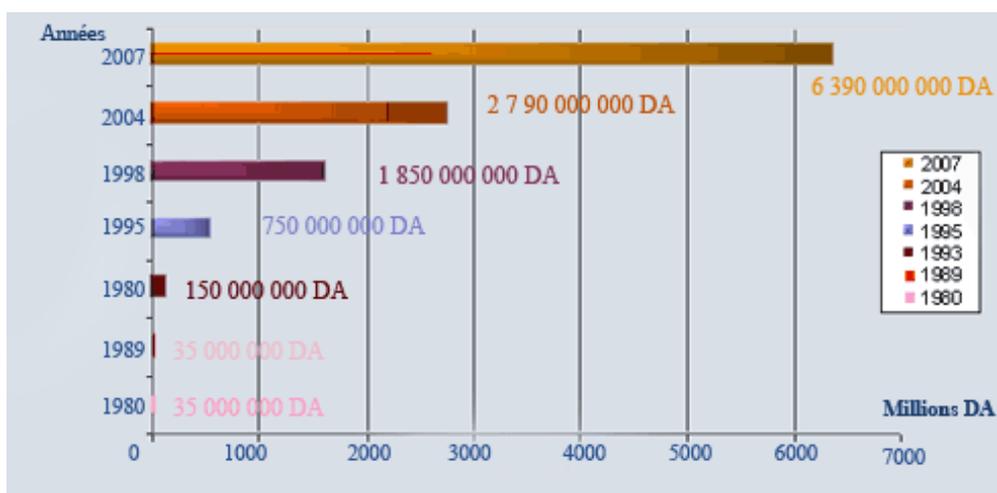


Fig 1.1 : évolution du capital de l'ENGTP (REGHAIA)

#### 2013 : Certification SST (Santé, Sécurité au Travail)

L'ENGTP est certifiée Système Management SST selon le référentiel OHSAS 18001 version 2007, certification obtenue auprès de l'organisme SGS Qualitest Algérie (Organisme Français).

**b. Missions et activités**

- Construction de grands ensembles industriels dans le domaine des hydrocarbures et des industries s'y rapportant, notamment ceux de la pétrochimie, du raffinage et du gaz.
- Pose de canalisation (pipeline).
- Engineering des installations ou ensemble industriels.
- Expertise dans le domaine du soudage et du contrôle de soudage.
- **L'Engineering et le Procurement**
  - Engineering de base et de détail.
  - Procurement.
  - Supervision et Contrôle de la construction.
  - La capacité de réalisation en matière d'Engineering et Procurement est de 150.000 heures/an.
  - ENGTP a acquis de longue date une bonne maitre dans le domaine de la Réalisation clés en main (en EPC) des projets de :
    - Depots de stockage et de distribution des hydrocarbures liquides et liquéfiés.
    - Les centres emplisseurs de bouteilles de GPL.
- **Les activités de Réalisation**
  - Génie civil**
    - Terrassements généraux et particuliers.
    - Fondation des équipements et des structures.
    - Bâtiments techniques, industriels et administratifs.
    - Infrastructures sociales (bâtiments).
    - Génie civil lié à la construction de canalisations.
- **Montage industriel (MIE)**
  - Pose de canalisations**
    - Topographie.
    - Réalisation des pistes et tranchées.
    - Soudage et contrôle NDT.
    - Enrobage de mise en fouille.
    - Electricité et protection cathodique.
    - Remblai.
    - Tests hydrostatiques.
    - Balisage et remise en état des lieux.

- **Préfabrication et Tuyauterie et de Charpente Métalliques**

- **La Maintenance Industrielle**

- Interventions préventives par la mise à disposition d'équipes spécialisées en maintenance industrielle.
- Interventions curatives par la remise en état d'équipement ou d'organes d'unités en exploitation.
- Arrêts programmés des unités de production.

- **Les activités de soutien à la construction**

- Catering, Maintenance des Equipements de Réalisation, Transport, Approvisionnement, etc.

### **c. Domaines d'intervention (marchés)**

- **Production et traitement des Hydrocarbures**

- Unités de récupération condensat.
- Unités de récupération GPL.
- Stations de compression.
- Stations de pompage.
- Unités de traitement de gaz.
- Unités de traitement d'huile.

- **Collecte et transport des Hydrocarbures**

- Réseaux de collectes.
- Réseaux de dessertes.
- Pipes de transport.
- Postes de sectionnement.
- Postes de coupure.

- **Raffinage et pétrochimie**

- Raffineries.
- Unités production engrais.
- Unités production ammoniac.
- Complexe Matières Plastiques.

- **Energie Electrique**

- Centrales thermo électrique.
- Centrales à Turbines à gaz.
- Centrales Diesel.

- Postes Blindés.
- Postes de Transformation.
- **Stockage et Distribution**
- Dépôts de stockage de carburants.
- Centres emplisseurs de GPL.

#### **d. Répartition de l'ENGTP**

L'ENGTP répartie sur le territoire national avec cinq régions :

- Siège de la direction générale Alger (Reghaia)
- Direction la Direction Régionale d'Arzew (DRZ)
- Direction la Direction Régionale Skikda (DRK)
- Direction la Direction Régionale Hassi R'Mel (DRR)
- Direction la Direction Régionale Hassi messaoud (DRM)
- Centre de soudure et d'expertise d'Arzew (CSZ).

### **I.2. Situation géographique de l'ENGTP**

GTP est située au centre de la zone industrielle de REGHAIA sur une surface de 8300 m<sup>2</sup>, elle se trouve à 700 m au sud de la route national numéro : 05 et d'un (01) Km au nord de l'autoroute (ALGER-BOUMERDES) sur l'est REGHAIA ville, sur L'ouest ROUIBA industrielle, elle contient deux parcs de station engins.

L'établissement ENGTP REGHAIA est situé à la zone industrielle de REGHAIA. Son environnement immédiat est composé de :

- Côté nord : entreprise SONATRO
- Côté sud : entreprise ENAG
- Côté Est : EGZIB / Protection civile / Cité d'habitations dénommées les IRIS ainsi qu'un établissement scolaire technique
- Côté ouest SNVI.

### **I.3. Plan de masse de l'ENGTP REGHAIA**

L'établissement ENGTP – REGHAIA est composé de :

- Un bâtiment administratif abritant la Direction Générale et les Directions centrales.
- Un hangar abritant les ateliers de maintenance.
- Un hangar abritant les ateliers de préfabrication charpente, soudage et le laboratoire de contrôle destructif et non destructif.

- Un hangar abritant les moyens généraux et le service sécurité.
- Un bloc cantine, hôtel, salle de conférence, salle d'archives et salle de sport.
- Un centre médical.
- Une station de service à l'intérieur de l'établissement
- Un parc matériel
- Superficie totale : 07 Hectares et 28 Ares
- Mode de construction : Ossature en charpente métallique



Fig 1.2 : Plan de masse de L'ENGTP (REGHAIA)

I.4 Organisation et structure

- Organigramme de la direction générale

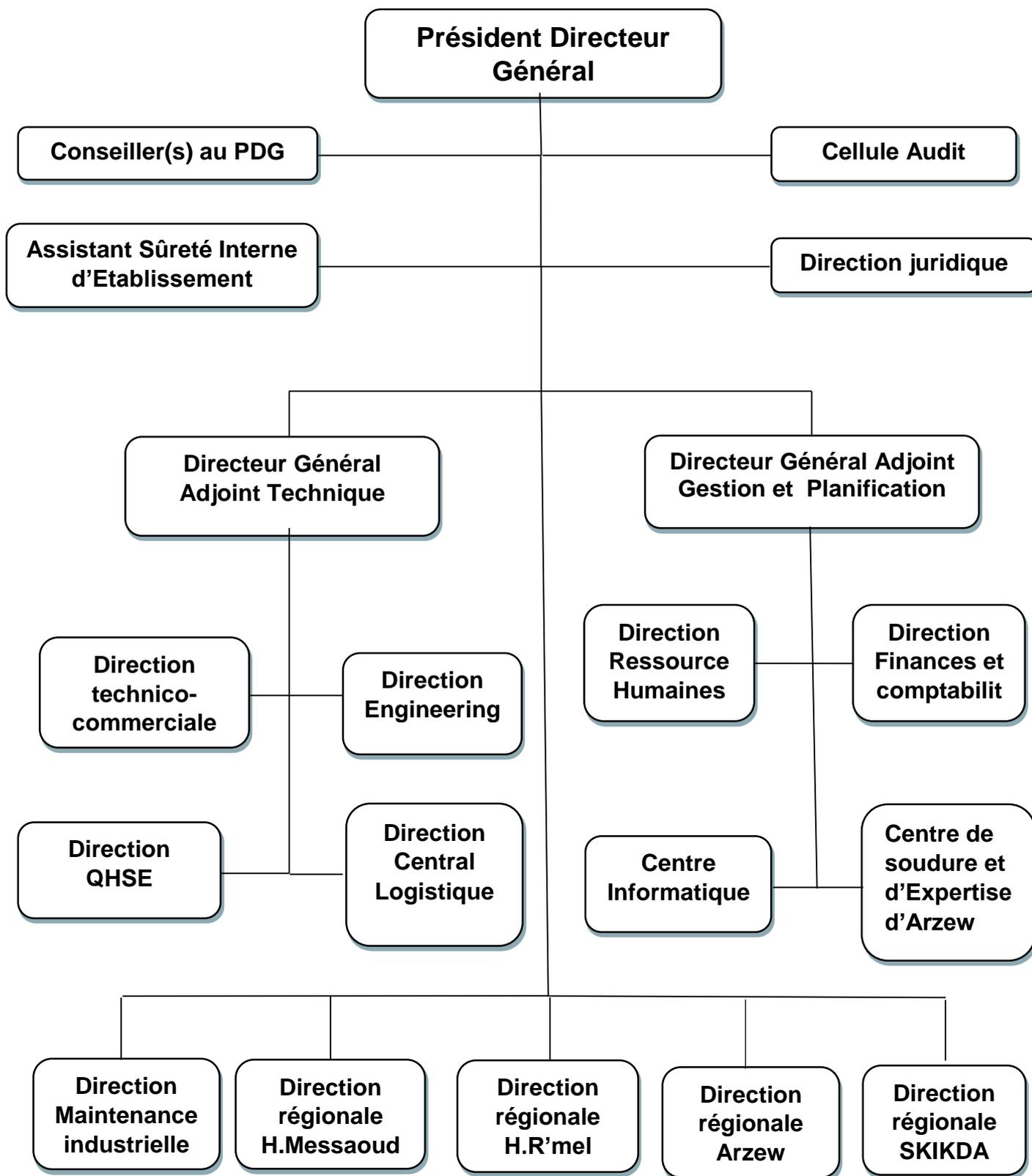


Fig 1.3 : Organigramme de la direction générale

- Organigramme de la direction QHSE (ENGTP REGHAIA)

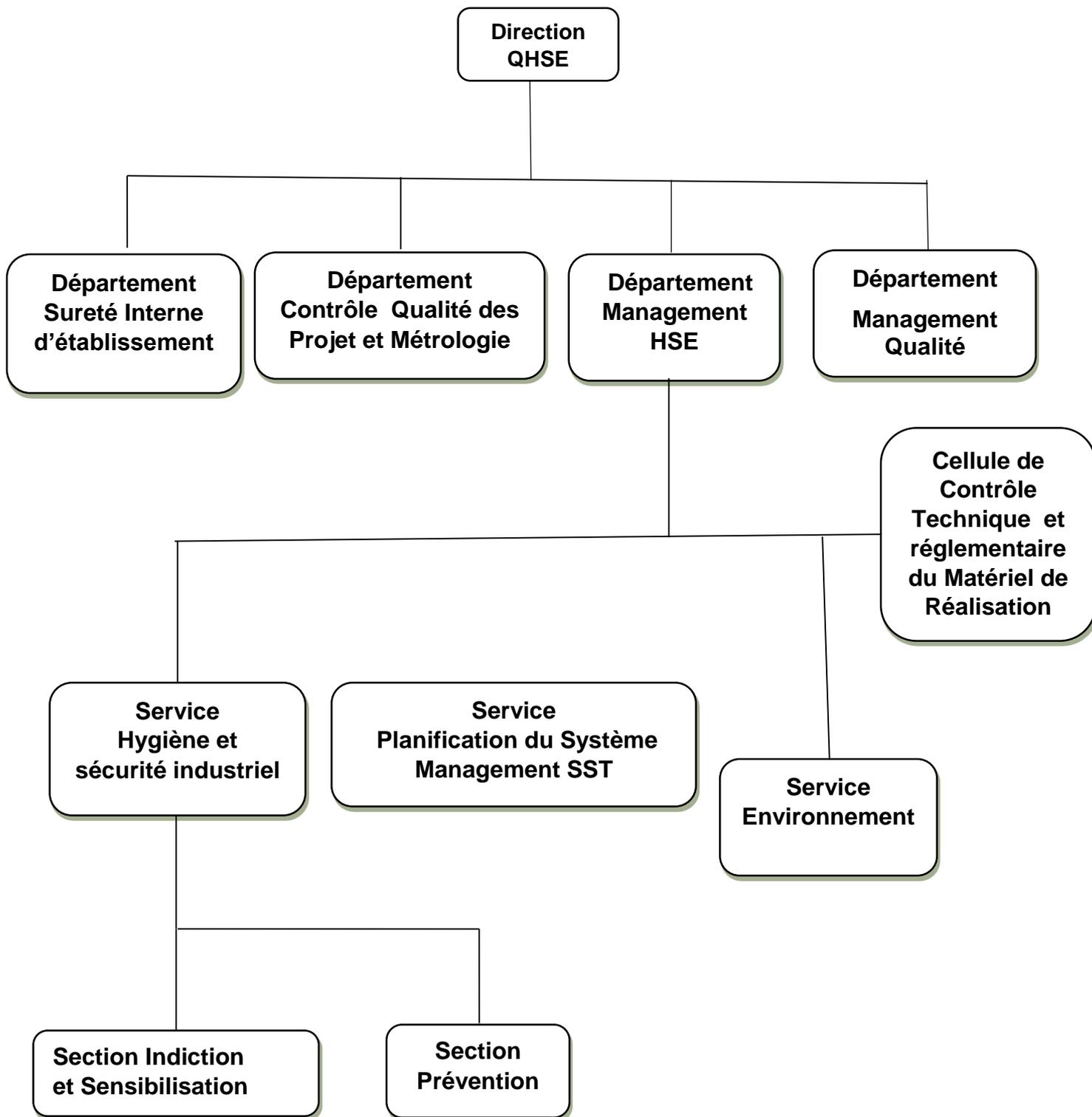


Fig 1.4 : Organigramme de la direction QHSE

- **Service d'Hygiène et de Sécurité**

Le Service d'Hygiène et Sécurité a été créé conformément à la réglementation algérienne en vigueur.

- **Référence réglementaire du service d'hygiène et de sécurité**

- IL est institué par la loi n° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail, en son article 26 ;
- Décret exécutif n° 05-11 du 27 Dhou El Kaada 1425 correspondant au 8 janvier 2005 fixant les conditions de création, d'organisation et de fonctionnement du service d'hygiène et de sécurité ainsi que ses attributions.
- Le service d'hygiène et de sécurité est une structure relevant du département management HSE/ direction HSE.

- **Description des missions du service Hygiène et Sécurité à l'ENGTP :**

- Veiller à la mise en œuvre du Système Management HSE par les structures opérationnelles de l'entreprise.
- Prendre en charge l'activité sécurité industrielle de l'unité Réghaia –Siège.
- Veiller à la mise en œuvre des mesures préventives liées à l'identification des dangers inhérents aux activités de l'entreprise.
- Proposer aux structures de l'entreprise toutes les mesures, ou moyens susceptibles de réduire les risques d'accidents.
- Veiller à la mise en œuvre du processus d'évaluation des risques sur les postes de travail.
- Inspecter les postes de travail et préconiser les recommandations d'amélioration des conditions de sécurité.
- Faire veiller au respect du port individuel des équipements de protection sur les lieux de travail.
- S'assurer que les briefings HSE se font régulièrement par les structures avant le début de toutes tâches.
- Assurer l'induction HSE des nouveaux embauchés.
- Assurer le suivi des actions correctives et préventives en matière de sécurité industrielle.

- Veiller à l'application, par les structures de l'entreprise, de la réglementation relative au contrôle technique réglementaire des installations et équipements.
- Prendre en charge les démarches nécessaires avec les organismes externes chargés du contrôle Technique réglementaire des équipements et installations.
- S'assurer que le contrôle des équipements et installations soit effectué par les structures de l'entreprise.
- S'assurer que les réserves mentionnées dans les rapports de contrôle technique réglementaire est sont prises en charge et levées par les structures concernées.
- Organiser les exercices de réponse aux situations d'urgences.
- Veiller en liaison, avec le département métrologie, à l'étalonnage des appareils de mesure affectés au département management HSE.
- Gérer le matériel affecté au département management HSE.
- Etablir les spécifications techniques et cahiers des charges pour tout investissement entrant dans le cadre de l'activité du département management HSE.
- Etablir les rapports d'activités de son service.

## **I.5. Moyen de l'ENGTP en matière de sécurité**

### **1. Moyens humain et formation**

La commission supérieure d'hygiène et de sécurité présidée par le directeur Général ou son représentant définit la politique de sécurité d'ENGTP. Cette politique est mise en œuvre, suivie et contrôlée à travers l'organisation suivante.

Le personnel ci-dessous a été formé dans des écoles spécialisées telles que l'institut algérien du pétrole, institut national des hydrocarbures et l'institut d'hygiène et de sécurité.

Le volet sensibilisation des travailleurs durant la durée des projets est pris en charge en collaboration des organismes spécialisés par l'organisation des séminaires et journées d'études avec support audiovisuel.

- **Qualification**

- Ingénieurs sécurité industrielle
- Ingénieur Environnement
- Superviseurs HSE
- Inspecteurs sécurité industrielle
- Techniciens supérieurs HSE

- Techniciens hygiène et sécurité
- Médecins du travail
- Infirmiers

## **2. Moyen matériels**

- L'obligation est faite à l'entrepreneur de mettre à la disposition de son personnel tous les moyens de protection nécessaire, que ce soit en matière d'équipement de protection individuel ou collectif.
- Les chantiers de GTP sont dotés de moyens de lutte anti-incendie (extincteurs et chariots de différents types)
- Les chantiers et bases de vie de GTP sont dotés d'infirmeries et d'ambulances.

## **3. Les procédures**

Les procédures relatives aux travaux sont décrites dans un ouvrage intitulé « manuel de sécurité » qui englobe tous les corps de métier de l'entreprise. Le « règlement de sécurité » représente la carte des risques industriels de GTP.

## **4. Les Affiches**

Au niveau de L'ENGTP, l'affichage en matière d'HSE est transmis aux travailleurs à travers des panneaux d'affichages des consignes de sécurités et les panneaux de signalisation, ils sont répartis selon les activités de l'entreprise afin de prévenir les risques spécifiques à l'activité de l'entreprise.

Ces panneaux sont :

- Visibles, ils sont placés dans un lieu accessible et bien éclairé
- Ils sont conçus d'une taille suffisante pour garantir une bonne visibilité
- Ils sont placés à l'entrée de la zone à risque ou à proximité immédiate de l'objet à signaler.
- Tous les affichages, doivent être apposés dans des endroits bien aménagés et entretenus régulièrement.



Fig 1.5 : Affiches au niveau de l'atelier charpente métallique

## 5. Briefings HSE

Les briefings HSE sont instaurés au niveau de tous les sites de l'entreprise avant le démarrage de toute tâche, animés par les responsables habilités sur les chantiers (conducteur travaux, chef d'équipe...) et par les chefs d'ateliers en concertation avec le personnel HSE.

Les thèmes abordés lors de ces briefings sont :

- La nature de la tâche à exécuter
- L'identification des dangers et l'évaluation des risques inhérente à la tâche
- Les moyens de prévention et de protection mis en œuvre
- Sensibilisation sur le respect du port des EPI et le respect des consignes HSE

Ces briefings sont consignés sur des registres mis à cet effet pour chaque site.

Les briefings HSE sont une exigence de la procédure de sensibilisation SST (PRC-SMS-9-0007). Le temps d'animation des briefings est de 10 minutes.

## 6. La signalisation

L'utilisation de la signalisation de sécurité ne supprime pas l'obligation faite aux employeurs d'évaluer les risques et de prendre toutes les mesures de prévention qui s'imposent.

Les employeurs doivent prévoir une signalisation de sécurité appropriée lorsque les risques ne peuvent être évités ou limités par des moyens techniques de protection collective ou par des procédés et des méthodes d'organisation du travail.

La signalisation de sécurité s'applique aux lieux de travail pour but d'attirer de manière rapide et intelligible l'attention sur des objets ou sur des situations comportant des risques ou pouvant

La signalisation doit être permanente pour:

- Une interdiction,
- Un avertissement,
- Une obligation,
- Une indication,
- Les moyens de sauvetage ou de secours,
- Les équipements de lutte contre l'incendie,
- La Signalisation des récipients et les tuyauteries par des couleurs conventionnelles,
- Les risques de choc ou de chute,
- Les voies de circulation.

Elle doit être occasionnelle pour:

- Signaler des événements dangereux,
- l'appel à des personnes (pompiers, infirmiers, etc.),
- l'évacuation d'urgence,
- Le guidage des travailleurs effectuant des manœuvres.

## **7. Le Flash HSE**

Le flash HSE est un moyen de communication des événements accidentel dangereux survenus au sein des unités de l'entreprise, il constitue une opportunité pour identifier les comportements et les situations dangereuse et d'évaluer leur conséquence afin de réduire les dommages occasionnés au patrimoine humaine, matériel et environnemental. Il constitue aussi un retour d'expérience des événements accidentel significatif en termes d'enseignements.

## 8. Les consignes de sécurité

- ENGTP est tenue conformément aux dispositions législatives et réglementaires d'assurer aux travailleurs les conditions appropriées d'hygiène et de sécurité
- L'entreprise est tenue d'afficher les règles, normes et consignes d'hygiène et de sécurité.
- Les règlements, consignes et prescriptions relatives à l'hygiène et à la sécurité ont un caractère impératif pour l'ensemble du personnel
- Toute violation d'une consigne ayant trait à la prévention, à l'hygiène et à la sécurité constitue une faute professionnelle passible de sanction
- Les travailleurs engagent leur responsabilité professionnelle et sont passibles de sanctions disciplinaires en cas de perte ou non - port des effets individuels de protection ou de dégradation des moyens collectifs de protection.

La sécurité, la santé et la protection de l'environnement incombent en premier lieu à l'employeur qui doit mettre en œuvre les consignes de sécurité contenues dans le PHS, ils doivent veiller à :

- Strict respect de ces consignes par leur personnel.
- Strict respect du port des équipements de protection individuel et/ou collectif
- Prendre les mesures coercitives contre tout ouvrier ou responsable négligeant ces consignes
- Prendre les mesures encourageantes en faveur de tout ouvrier ou responsable ayant un esprit de sécurité
- Veiller à ce que le programme de sensibilisation soit appliqué et respecté.
- Prendre les mesures correctives nécessaires en face de toute anomalie ou risque d'accident ou incident.

## 9. Les vérifications

- Les inspections sur site doivent être conduites quotidiennement par les techniciens de sécurité, assistées par ses l'ingénieur de sécurité du site.
- Des inspections mensuelles doivent être conduites par le chef de service sécurité.
- Les visites d'inspection et de contrôle devront aboutir à l'identification et à la correction des anomalies et conditions non – sécuritaires constatées sur le site de travail
- Les aspects durant les visites d'inspection sont pris en charge selon le spécimen de check liste ci-après

## 10.Médecine de travail

Il existe un Centre Médical et Social (CMS), sa structure est composée comme suit :

- Cabinet dentiste,
- Cabinet médecin travail,
- Cabinet médecin généraliste
- Salle de soin
- Petite pharmacie
- Bureau des œuvres sociaux

Le personnel du CMS

- Chef de centre
- Médecin de travail
- Médecin généraliste
- Médecin dentiste
- Technicien Supérieures en santé.
- Chauffeur d'ambulance



Fig 1.6 : Centre Médicale et Social (CMS) de l'ENGTP

## I.6. Présentation de l'atelier

L'atelier de préfabrication d'ENGTP a une superficie de : 4050 m<sup>2</sup> et de 11m de hauteur, destiné pour la fabrication de la charpente métallique moyenne et lourde (pipeline, bâtiment ...) y compris le hall de peinture et un atelier secondaire d'une superficie de 1050 m<sup>2</sup> et 11m de

hauteur destiné pour la préfabrication de la charpente légère (plates forme, échelle, escaliers, supports, tuyauteries...).

- **Matériel et équipement :**

L'atelier de préfabrication contient comme matériels :

- 02 cisailles guillotinées.
- 01 cisaille grugeoir.
- 02 presses plieuses.
- 01 cintreuse coude<sup>2</sup> use.
- 03 tronçonneuses manuelles.
- 01 poinçonneuses reproductrice.
- 01 banc de poinçonnage cisaille.
- 01 chalumeau oxycoupeur à œil électrique.
- 04 perceuses radiales.
- 02 poinçonneuses cisailles.
- 01 filtreuse.
- 01 perceuse à colonne.
- 12 ponts roulants.
- 01 cintreuse à cylindre.
- 30 postes à soudés.
- 01 perceuses multibroches à commande numérique.
- 01 radiographie.

- **Organisation de l'atelier**

-01 Responsable préfabrication :

- Coordonner et gérer les moyens humains et matériels.
- Elaborer le plan de charge des ateliers.
- Arrêter les priorités de lancement des ouvrages à préfabriquer.
- Etablir les demandes de personnels et d'approvisionnement.

-01 Chef d'atelier principal :

- Gérer dossier de préfabrication.
- Signaler toute éventuelle anomalie constatée au niveau d'atelier.
- Tenir des réunions de coordination avec les chefs d'ateliers et responsables des équipes.

- Signer les bons consommables.
- Veiller à l'utilisation rationnelle du personnel.
- Suivre et contrôle des affaires encours et fabrication.
- Distribuer les plans de fabrication aux différents responsables d'équipe.

-01 Chef d'équipe :

- Veiller à la discipline de travail au niveau des éléments de son équipe.
- Recevoir les instructions du chef d'atelier.
- Veiller au rendement de chaque élément de son équipe.

-01 Responsable section méthodes :

- Élaborer les débits et les assemblages.
- Lancer les ouvrages en fonction de matière au niveau des stocks.
- Réceptionner et étudier les plans de fabrication.
- Assurer une alimentation régulière des ateliers en plans de débit et d'assemblage.

-01 Responsable de service de contrôle et d'expédition :

- Contrôler visuel et dimensionnel conformément aux plans de traçage.
- Signaler toute éventuelle anomalie aux responsables d'atelier.
- Etablir les rapports de production journaliers.

-01 Responsable de section suivi et contrôle cout :

- Etablir les situations d'avancement travaux des différents affaires en cours de fabrication.
- Etablir le plan de production des ateliers.

L'espace de l'atelier et des bureaux sera normalement ouvert entre 08h00 et 16h00 du dimanche à jeudi. Cependant, il est possible d'effectuer des heures supplémentaires en fonction du plan de charge des ateliers.

Les travailleurs ne seront pas en situation de « travailleur isolé » du fait d'un gardiennage assuré à l'entrée du bâtiment et la présence permanente d'un élément HSE sur place lors des heures du travail. En cas de visite de l'atelier en dehors des heures de travail « habituelles », le gardien sur place sera informé de la présence d'un salarié conformément à la procédure de gestion du contrôle d'accès.



**Fig 1.7 : L'atelier de préfabrication de L'ENGTP REGHAIA.**

*CHAPITRE II*

*PROCEDES DE SOUDAGE*

*ET CONTROLE*

## II.1. Procédé de soudage [1]

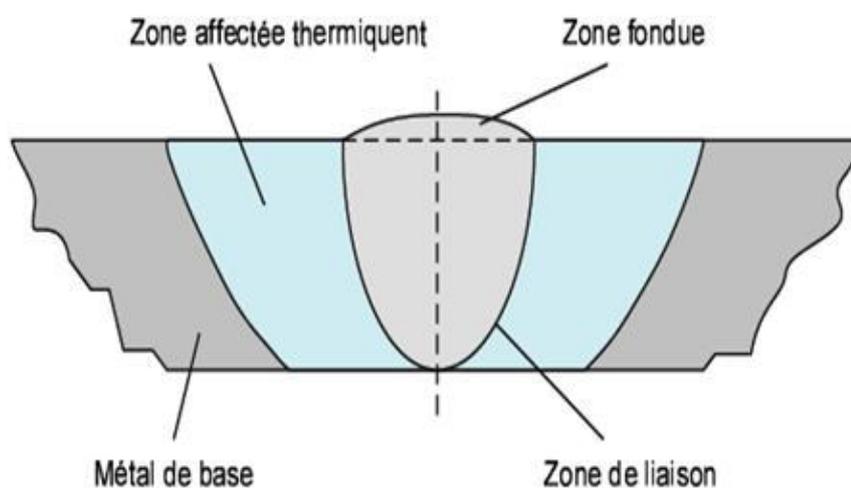
- **Introduction**

De nombreuses industries réalisent des assemblages d'éléments métalliques par soudage (Chaudronnerie, menuiserie métallique, constructions navale, construction industrielle, ferroviaire et auto mobile,...). Il existe aujourd'hui de nombreux procédés de soudage répondant à la très grande variété d'assemblage à réaliser et aux caractéristiques des métaux utilisés. Ce chapitre fait une description des différents procédés de soudage.

- **Définition du procédé de soudage**

Le soudage est une opération d'assemblage où la continuité métallique entre les pièces à assembler est assurée par la fusion globale ou de proche en proche de leurs bords. On obtient ainsi, après solidification, un joint homogène aux caractéristiques plus au moins Proches de celle du métal de base, ou un joint hétérogène dans le cas de métaux différents.

Cette opération peut être assimilée à une opération locale d'élaboration métallurgique et à une opération locale de traitement thermique donnant une structure cristalline dépendant à la fois de la composition chimique élaborée et du traitement thermique. Ainsi réalisée, la soudure se décompose en plusieurs zones:



**Fig 2.1 : Coupe transversale d'un assemblage**

- **La zone fondue :** (nommée ZF) zone où l'état liquide a été atteint et dans laquelle a été élaborée la composition chimique. La structure métallurgique obtenue après solidification, dépend du cycle de refroidissement. On peut distinguer, au sein de cette zone, des gradients de concentration (ségrégation). Il est donc possible d'examiner la composition d'une soudure ainsi que les variations de dureté.
- **La zone affectée thermiquement :** (nommée ZAT) zone se trouvant en bordure de la zone fondue, de largeur variable, ayant été soumise à l'élévation de température sans être portée à la fusion. Le chauffage, la composition chimique et la vitesse de refroidissement de cette zone génèrent des modifications plus ou moins importantes de la structure métallurgique.
- **La zone de liaison :** cette zone, située à la frontière entre la zone fondue et la zone affectée thermiquement, correspond à la surface sur laquelle la solidification du métal fondu a commencé.
- **Le métal de base :** au-delà de la zone affectée thermiquement, l'élévation de température est insuffisante pour engendrer une quelconque transformation structurale. Cette zone est aussi dite non affectée.

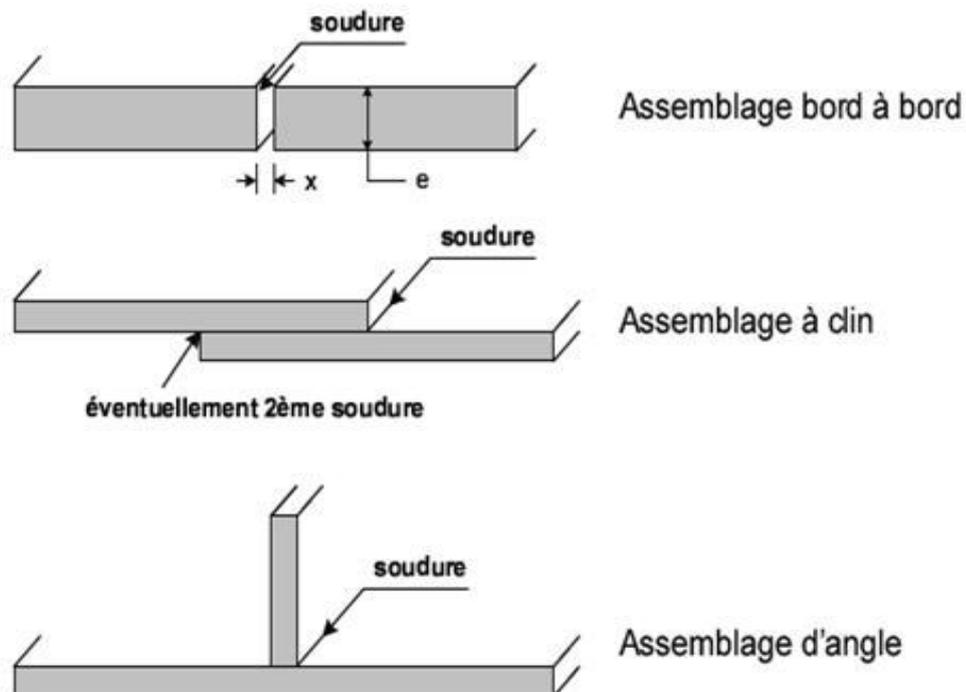


Fig 2.2 : Principaux types d'assemblages

### II.1.2. Types de Procédés de soudage

Tout d'abord il convient de :

Différencier le soudage manuel du soudage mécanisé pour lequel on ne parle pas de soudeurs mais d'opérateurs de soudage.

Ces opérateurs ne sont pas obligatoirement formés aux techniques de soudage. Fréquemment leurs connaissances dans le domaine du soudage sont restreintes. Leur rôle se limite à la commande manuelle des machines.

Ils doivent néanmoins parfois effectuer des «reprises» de soudure.

Pour eux, en processus habituel, l'exposition aux risques est limitée : pas d'exposition à l'arc électrique, ni aux fumées et poussières et l'accès à la zone de soudage est sécurisée.

Nous n'évoquerons ici que les procédés de soudage manuels, impliquant sur le terrain les postes de soudeur.

Parmi les différents procédés de soudage manuels on peut encore différencier, selon le métal d'apport qui permet l'assemblage des deux pièces métalliques :

- **Soudure hétérogène** : métal différent avec point de fusion plus bas
- **Soudure autogène**: pas d'apport de métal ou apport d'un métal identique.

#### II.1.2.1. Soudage au gaz ou au chalumeau

Le soudage au gaz ou à la flamme, consiste à assembler des pièces de métal à l'aide d'un métal d'apport amené à fusion par la chaleur de la flamme d'un chalumeau.

Selon le type de pièces à assembler et la résistance de l'assemblage que l'on souhaite obtenir, on utilise différentes techniques.

- **Principe**

Les deux pièces de métal sont chauffées jusqu'à fusion et le joint, entre elle, est formé de leur propre métal ainsi que du métal d'apport, sous la forme d'une baguette. Le métal d'apport qui constituera la soudure est identique au métal de base, la soudure est dite autogène.

La température de chauffe se situe entre 2 850°C et 3 200°C.

Le métal d'apport viendra combler l'espace entre les deux pièces à souder.

Des points de soudure (c'est le pointage) permettront de stabiliser les deux pièces, puis l'espace sera comblé au fur et à mesure par le dépôt du métal d'apport en fusion.

Celui-ci se dépose sous forme d'une goutte. Puis le soudeur imprime un mouvement de rotation avec la flamme du chalumeau. Ce qui donnera cet aspect caractéristique, avec effet de vague, du cordon de soudure au chalumeau.

Ce type de soudure s'apparente à du «grand art» en soudage et n'est pas à la portée de n'importe quel soudeur.

La chaleur nécessaire est apportée par une flamme obtenue par un mélange de deux gaz, oxygène et Acétylène.

L'un, l'O<sub>2</sub>, le comburant du mélange, a pour rôle d'activer la flamme ; l'autre, l'acétylène, le combustible, celui de la créer.

La densité de l'acétylène est plus faible que l'air. A l'intérieur des bouteilles, il est obtenu à l'aide d'un mélange d'acétone : 1L d'acétone permet de fournir 24L d'acétylène.

Ce mélange gazeux est à l'origine de la flamme la plus chaude, 3 200 °C à la pointe du dard.

A cette température tous les métaux sont en fusion.

Les deux gaz sont utilisés en basse pression, un détendeur permet l'apport au poste du mélange gazeux à bonne pression.

Dans le soudage, le contact avec l'air ambiant empêche la soudure de se faire, car il entraîne immédiatement une oxydation des métaux à son contact.

C'est pourquoi, le soudage doit toujours se faire sous protection, ici protection gazeuse, qui crée une enveloppe gazeuse entre les métaux et l'air ambiant, ennemi du soudeur

### **II.1.2.2. Soudage à l'arc électrique [2]**

Le soudage électrique est souvent utilisé dans la réparation d'équipements, dans l'assemblage de structures métalliques et dans la fabrication de multiples produits en métal. Avant de traiter des caractéristiques propres à chacun des procédés, il est utile de présenter des particularités générales qui s'appliquent aux procédés à l'arc électrique. Voici donc certaines notions de base qui caractérisent la plupart des procédés à l'arc électrique.

- **Principe**

Dans les procédés électriques, le courant circule dans l'électrode (sous forme de fil ou de baguette) et, dans certains cas, fait fondre la pointe de l'électrode ainsi qu'une partie du métal de base. Toutefois certains procédés utilisent une électrode qui ne fond pas (électrode non fusible). La baguette d'apport est injectée dans le métal en fusion; les deux se fusionnent et finissent par refroidir pour produire le cordon de soudure.

- **Amorce de l'arc**

On peut réaliser l'amorce de l'arc électrique en court-circuitant l'électrode et la pièce ou en utilisant un courant à haute fréquence. La technique par court-circuit fonctionne comme suit : avant de commencer la soudure, le soudeur approche la pointe de l'électrode de la pièce de métal. Lorsque le courant réussit à ioniser l'environnement gazeux et protecteur, c'est-à-dire lorsqu'il augmente sa conductivité électrique, le gaz ionisé permet le passage de l'arc électrique à la pièce et c'est à ce moment que la soudure débute. La pointe de l'électrode atteint une température très élevée qui fait fondre l'électrode si elle est fusible, ainsi qu'une partie du métal de base et le métal d'apport s'il y a lieu. La technique de haute fréquence fonctionne comme suit : un module capable de générer un courant de haute fréquence est intégré dans l'équipement de soudage. Lors de l'amorce, le soudeur approche la torche de la pièce à souder tout en actionnant un interrupteur. Le module génère un courant de haute fréquence à une tension élevée (3 000 à 5 000 volts) qui est coupé lorsque l'arc s'établit, après environ 3 secondes. Dans le cas du procédé TIG, la méthode de haute fréquence est préférable pour éviter toute contamination de l'électrode ou encore de la soudure.

- **Protection du bain de fusion**

Dès que la soudure débute, il faut protéger le bain de fusion composé du métal de base fondu et du métal d'apport. Il faut absolument éviter que le bain de fusion n'entre en contact avec l'azote, l'oxygène ou l'humidité contenue dans l'air, ce qui pourrait nuire à la qualité mécanique du cordon de soudure : manque de ductilité, porosité excessive, inclusions trop nombreuses, etc. Dans presque tous les procédés de soudage à l'arc électrique, le bain de fusion est protégé par un gaz de protection. Ce gaz protecteur est acheminé à travers le pistolet de soudage ou est produit par la combustion du fondant. Le fondant peut provenir de la baguette, du fil-électrode ou peut être déposé à la surface du métal à souder.

- **Caractéristiques électriques**

Pour souder, il est nécessaire d'abaisser la tension fournie par le réseau d'alimentation électrique. C'est pourquoi deux types de tension sont présents dans un poste de soudage: la tension primaire et la tension secondaire. La tension primaire ou tension du secteur est la tension disponible dans l'atelier ; elle permet l'alimentation électrique de l'équipement de soudage.

Cette tension primaire est réduite par un transformateur localisé dans le poste de soudage, qu'on nomme également la soudeuse. C'est la tension réduite qui alimente le pistolet et qu'on appelle la tension secondaire. Pour produire le courant direct, des redresseurs sont utilisés dans le circuit

électrique de la soudeuse. Le soudeur ajuste la tension et l'ampérage du circuit secondaire de son poste de soudage en fonction du procédé utilisé.

La plupart des procédés électriques fonctionnent sur du courant direct (CD), sauf certains procédés peuvent fonctionner tant sur le courant alternatif que sur le courant direct (CA).

- **Principaux procédés de soudage à l'arc [1]**

Les différentes techniques de soudage à l'arc utilisent l'énergie calorifique d'un arc électrique entretenu entre une électrode et le métal à assembler.

Le métal d'apport est apporté par une baguette. Et la protection de la soudure se fait soit par un gaz ou par l'enrobage de la baguette.

L'échauffement local produit un bain de fusion qui, en se refroidissant, constitue le cordon de soudure.

Les phénomènes métallurgiques qui se produisent pendant l'opération de soudage sont complexes en raison de :

- ✓ La nature du métal de base
- ✓ Les gradients de température influant sur sa structure granulaire et sur sa composition chimique
- ✓ L'oxydation provoquée par l'atmosphère entourant le bain de fusion.

Le courant électrique continu ou alternatif est fourni par un générateur dont la tension à vide doit être supérieure à la tension d'amorçage.

L'intensité du courant est réglée en fonction de différents paramètres comme le diamètre de l'électrode, la nature de l'enrobage éventuel, la position de soudage, le type d'assemblage, la dimension et la nuance des pièces à assembler.

Les autres paramètres à régler sont la distance de l'électrode par rapport au métal de base et sa vitesse d'avance.

### **II.1.2.2.1. Soudage manuel à l'arc électrique avec électrode enrobée**

- **Principe**

Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobées permet d'assembler ou de recharger des éléments ou des pièces métalliques au moyen de cordons de soudure. Il s'agit du type de soudage le plus répandu.

L'énergie nécessaire à la fusion du métal est fournie par un arc électrique jaillissant entre les pièces à souder et une électrode fusible fournissant le métal d'apport.

La soudure à l'arc électrique est une soudure de type autogène, pour l'assemblage de pièces en acier. Les assemblages ainsi obtenus sont très résistants puisque l'acier est mis en fusion et les deux éléments soudés ne forment plus qu'une seule masse en acier après soudage.

Les applications de ce procédé sont particulièrement nombreuses. La mobilité des appareils et la grande diversité des types d'électrodes permettent d'effectuer des travaux sur un certain nombre de métaux et de leurs alliages comme les aciers non alliés ou faiblement alliés, les aciers inoxydables, les fontes et dans certaines conditions, l'aluminium, le cuivre et le nickel. Tous les types d'assemblage (bord à bord, d'angle...) et toutes les positions de soudage (à plat, en corniche...) sont possibles.

Il y a mise en fusion des pièces à souder et du métal d'apport.

Pour obtenir cette fusion il faut une température très élevée supérieure à 3000°C. Celle-ci est obtenue par court-circuit entre deux électrodes (la pièce à souder et l'électrode constituée de métal d'apport) en créant un «arc électrique» qui est une sorte d'étincelle continue de très forte puissance qui dégage à la fois de la lumière et une chaleur intenses.

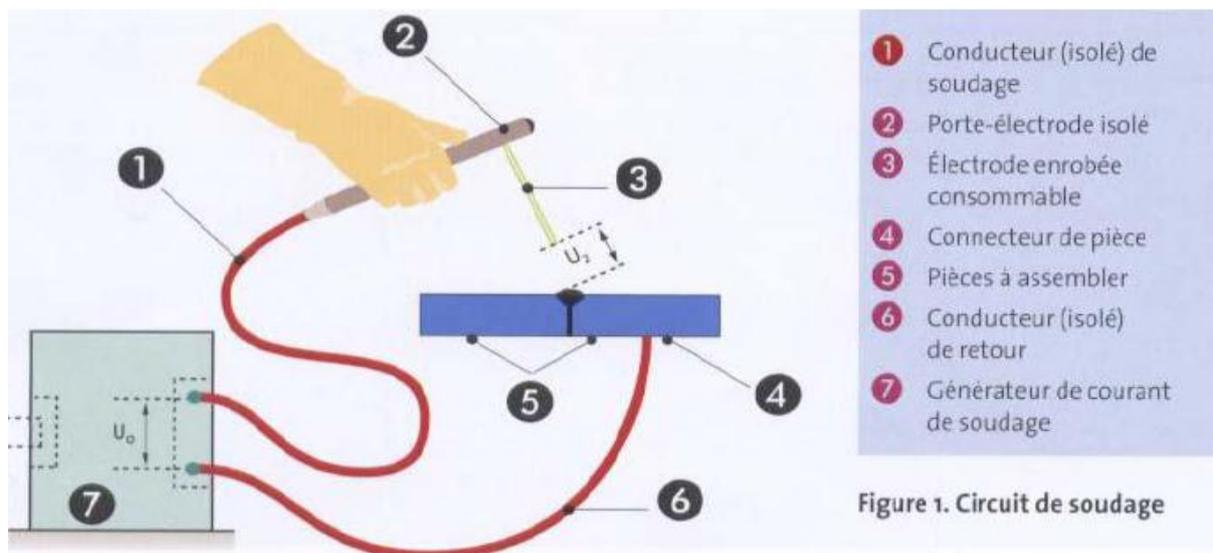


Fig 2.3 : Le soudage manuel à l'arc avec électrodes enrobée

- **Le poste à souder**

L'arc électrique permet d'amorcer le soudage en apportant la chaleur nécessaire à la fusion du métal d'apport, mais il ne fait pas le soudage.

Il est produit à l'aide d'une génératrice de haute fréquence qui a pour fonction de :

- Faire fondre l'électrode : Le poste à souder transforme le courant d'alimentation du secteur, afin de fournir à la sortie du poste, des intensités suffisamment élevées pour permettre la fusion de l'électrode de soudage.
- Stabiliser l'arc électrique. La continuité de l'arc électrique permet une soudure régulière. L'onduleur qui remplace les anciens transformateurs et redresseurs, corrige les variations du courant électrique et apporte une puissance et une tension électrique constante.

Une intensité élevée permet le soudage de pièces épaisses, si l'intensité est trop faible, la fusion du métal d'apport n'est pas bonne et la soudure sera moins résistante. En fondant, l'enrobage de l'électrode remplit différents rôles :

- **Rôle électrique** : l'enrobage permet une bonne circulation du courant électrique, il favorise l'amorçage et la stabilisation de l'arc par ionisation de l'air.
- **Rôle physique** : l'électrode est de même nature que le métal de base, la soudure est autogène. L'enrobage confère une protection vis à vis de l'air ambiant, permettant le soudage et l'unification de l'arc électrique.

Il concentre l'arc par la formation d'un cratère à son extrémité, il permet le soudage dans différentes positions et influence la forme et l'aspect du cordon, l'enlèvement des dépôts de laitier.

- **Rôle mécanique** : l'apport de matière confère une solidité à l'assemblage
- **Rôle métallurgique** : il protège le bain de fusion de l'action de l'air par formation d'une pellicule de laitier liquide et d'une veine gazeuse.
- Il ralentit le refroidissement et ajoute, dans certains cas, des éléments nécessaires à l'obtention des caractéristiques mécaniques du joint de soudure.
- Par ailleurs, l'adhérence du laitier solidifié au cordon de soudure dépend essentiellement du type d'enrobage de l'électrode (acide, basique, cellulosique ou rutile : oxyde de titane Ti O<sub>2</sub>)

Mais la combustion du métal d'enrobage va être responsable de la projection de scories et de la formation du laitier. Ainsi que de la formation de beaucoup de fumées.

### • Composition de l'électrode

- La soudure est de type autogène, le métal d'apport, constitué par l'âme métallique de l'électrode peut être en fonction du métal à souder, de l'acier, du cuivre, de l'inox...

- L'enrobage de l'électrode est variable, différents composants dont le fer, qui est un adjuvant pour le soudage, du cuivre, du manganèse, du silicium, du nickel, du molybdène, de l'acier...et toujours de la poudre de fer.

Le choix du type d'électrode et d'enrobage se fera en fonction de l'application : type d'assemblage (angle, à plat, sur tube..), de l'épaisseur à souder, des qualités requises : dureté, ductilité..., du type d'acier.

On choisira aussi le diamètre de l'électrode en fonction de l'épaisseur du métal à souder.

- **Application**

- Le soudage manuel à l'arc électrique et électrode enrobée concerne surtout les postes de tuyauteurs pour des tubulures de diamètre et d'épaisseur importante. Conférant une bonne résistance mécanique aux soudures.
- Il convient aux aciers doux (enrobage de l'électrode type O), aux aciers faiblement alliés, aux aciers inoxydables et réfractaires, à la fonte grise, aux métaux non ferreux : nickel (après décapage à l'acide et neutralisation), cuivre et cuproaluminium.
- Il est préféré au procédé TIG pour les soudures sur tuyauterie transportant du gaz, car il supprime le risque gaz lié à la présence du gaz protecteur.
- La rapidité de sa mise en œuvre est aussi appréciable ; sous arc électrique la température idéale de soudage qui est atteinte rapidement reste stable tout au long du soudage.
- Sur le plan financier son intérêt réside aussi dans le coût minime et la simplicité du matériel mis en œuvre : onduleur, porte électrode, électrode, meuleuse, brosse...
- Néanmoins la technique de l'arc électrique n'est pas facile, elle nécessite une bonne maîtrise. Avec un appui constant de l'électrode enrobée. Ceci en maintenant une distance constante de 2mm avec la zone de fusion. Le métal d'apport est alternativement poussé puis tiré au niveau de la zone de soudure.
- Ce type de procédé de soudage se pratique en général à l'extérieur, en effet il rend possible le soudage quelques soient les conditions météo, de température, de vent....C'est le procédé de soudage idéal par tous temps.
- Par contre, son utilisation en atelier ou en lieu clos nécessite une aspiration directe indispensable ainsi que le port d'EPI adaptées Car la production de fumées est importante, de même que la projection de particules métalliques. Ces fumées sont issues de la mise en fusion des différents métaux, base à souder, âme et enrobage de l'électrode.

- L'exposition aux risques des fumées de soudage (fièvre des métaux, irritation ORL avec enrrouement dès la première journée) projections de particules métalliques, UV et coup d'arc est important dans ce type de procédé de soudage.

### **II.1.3.2.2.Soudage à l'arc électrique type TIG (Tungsten Inert Gas)**

Le procédé TIG permet de souder la plupart des métaux et des alliages commerciaux, en particulier l'acier inoxydable et l'aluminium. Ce procédé est également utilisé lorsque les soudures sont soumises à des contrôles de qualité stricts. Par exemple, on utilisera le TIG pour la première passe de soudure des tuyauteries haute pression et. Le TIG est un procédé lent, bien adapté pour des tôles de moins d'un quart de pouce d'épaisseur.

#### **● Principe**

Dans le soudage à l'arc en atmosphère inerte avec électrode de tungstène TIG, le soudeur utilise une torche munie d'une électrode réfractaire non fusible en tungstène. L'ionisation du gaz de protection qui devient conducteur se réalise lorsqu'on court-circuit l'électrode et la pièce à souder ou encore lorsqu'on utilise la méthode de haute fréquence. Le gaz ainsi ionisé, nommé plasma, permet le passage de l'arc électrique jusqu'à la pièce à souder. Des gaz inertes comme l'hélium, l'argon ou un mélange des deux sont souvent utilisés pour protéger le bain de fusion. Pour ajouter le métal d'apport, le soudeur tient d'une main la baguette de métal d'apport et de l'autre la torche. L'électrode de tungstène sert à orienter le courant électrique. Toutefois, à force de toucher le métal de base pour amorcer l'arc électrique, la pointe de l'électrode s'arrondit et le soudeur doit l'aiguiser; c'est pourquoi certains soudeurs optent pour une amorce par haute fréquence de façon à réduire la fréquence de l'aiguisage. La pointe des électrodes est généralement aiguisée à l'aide d'une meule d'établi ou, dans certains cas, par aiguisage chimique. Une pointe d'électrode bien aiguisée permet une plus grande précision et une soudure de meilleure qualité.

L'ampérage du circuit secondaire varie de 1 à 500 ampères en courant direct et de 5 à 500 ampères en courant alternatif tandis que le voltage s'ajuste automatiquement au poste de soudage. Dans cette technique l'arc électrique et la soudure sont protégés par le gaz. Ce qui permet de se passer de l'enrobage de la baguette. Ceci amène une diminution substantielle des émissions de fumées.

Une électrode en tungstène réfractaire, non fusible (c'est à dire qui ne fond pas) permet le passage de l'arc électrique (le tungstène est très bon conducteur)

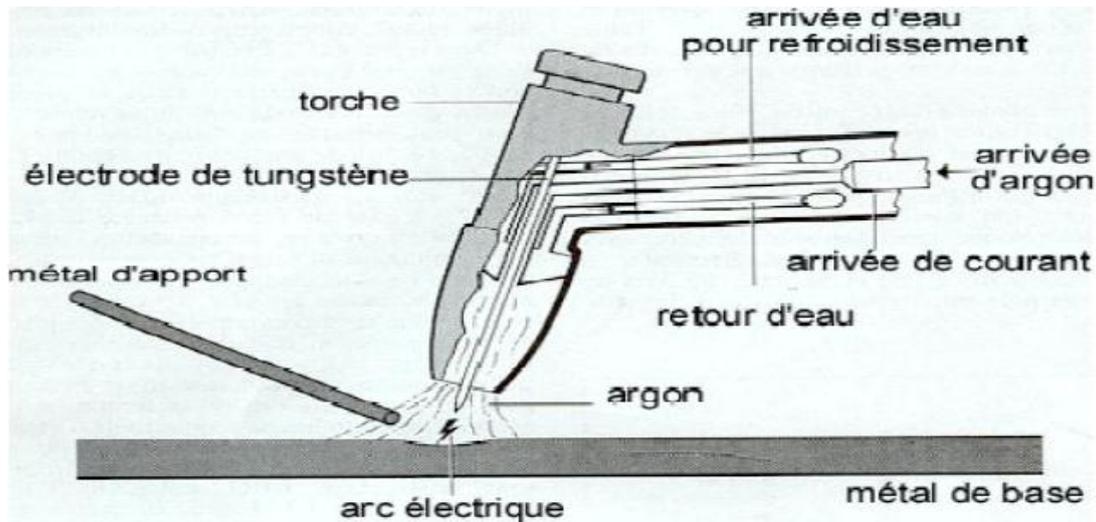


Fig 2.4 : procédé de soudage TIG sous protection d'argon

### • Application

- Ce procédé de soudage apporte une grande qualité de régularité au cordon de soudure.
- Il est aussi apprécié pour la rapidité de sa mise en œuvre, en effet la température de fusion au niveau de la zone à souder est obtenue immédiatement, de plus elle reste bien localisée, ne s'étendant que sur une zone de quelques millimètres.
- Le métal de base devient aussi métal d'apport. Du fait d'une bonne pénétration du métal d'apport et d'une continuité en profondeur dans la matière, la quantité de métal d'apport nécessaire est plus faible qu'avec le procédé au chalumeau. Les joints ainsi obtenus sont de grande qualité.
- Il n'y a pas les défauts d'inclusion du « laitier » comme avec l'électrode enrobée.
- Les défauts observés peuvent être des excès de soufflure par manque de gaz, ou un aspect vermiculaire (bulles de gaz) par excès de gaz.
- Ce procédé de soudage est appliqué pour les soudures de tôlerie fine, de tubes par les tuyauteurs.
- Il convient à la plupart des métaux, aciers divers, aluminium, manganèse cuivre, nickel, métaux et alliages réfractaires ainsi qu'aux métaux précieux ou délicats (titane-tantale ou zirconium)
- En raison du poids et de l'encombrement des installations nécessaires il est appliqué en atelier
- La mise en œuvre en endroits clos est possible car il n'y a pratiquement pas d'émission de fumées ni de particules métalliques. Sauf dans le cas de traitement de surface au

niveau des métaux à souder. (attention aux charpentes métalliques pré peintes avant soudage)

- Par contre sur chantier extérieur, il n'est pas toujours privilégié, car la protection gazeuse est sensible au vent, au taux d'humidité. Et en cas de perte de protection il y aura oxydation de la soudure.

### II.1.3.2.3.Soudage semi-automatique (MIG, MAG)

Il s'agit d'un procédé de production en grande quantité. Dans les ateliers, la métallerie. Il est rapide, nécessitant moins de formation pour la mise en œuvre que le procédé TIG. Sans production de laitier comme dans le soudage à l'arc avec électrode enrobée.

#### • Principe

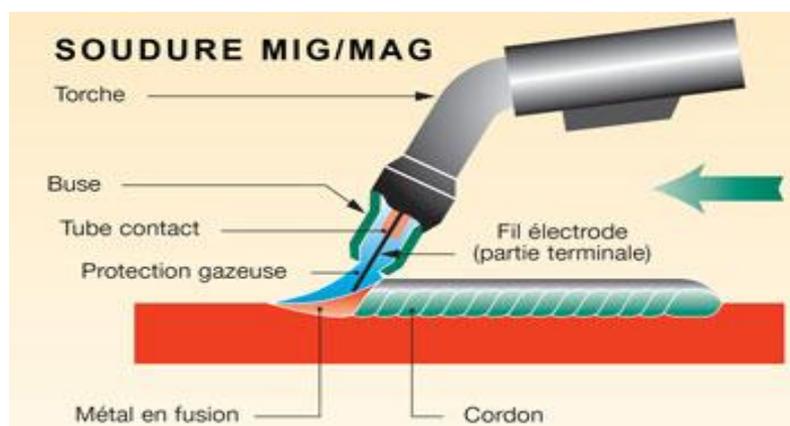
L'arc électrique est véhiculé par un fil électrode fusible (à la fois métal d'apport et électrode), ceci jusqu'à l'extrémité de la torche de soudage, qui est munie d'une gâchette.

Le fil est disposé sur le dévidoir d'une bobine. Ce dévidoir tourne pour faire avancer le fil à l'aide d'un moteur de 24 Volt. La vitesse du fil en m/min est réglée à l'aide d'un potentiomètre.

Le soudeur appuie sur la gâchette pour débiter le gaz protecteur, alimenter l'arc électrique et dévider le fil électrode.

- **Protection gazeuse inerte (MIG : Métal Inert Gas)** le gaz s'écoule de façon continue et protège le métal en fusion contre l'oxygène et l'azote de l'air. En général de l'Argon ou du mélange Argon-Hélium.
- **Protection gazeuse active (MAG : Metal Active Gas)** le plus souvent par CO<sub>2</sub> ou mélange Argon-CO<sub>2</sub> ou Argon-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>. Le gaz protecteur participe activement au processus en réagissant, dans l'arc, avec les métaux d'apport et de base.

**Caractéristiques du fil d'apport :** fils pleins ou fils nus.



**Fig 2.5 : Procédé de soudage MIG/MAG**

- **Application**

- Protection gazeuse inerte (MIG : Metal Inert Gas) :

Ce procédé autogène (assemblage de pièces de métal de même nature) convient aux aciers alliés, inoxydables, à la fonte, à l'aluminium et aux alliages légers, au cuivre et aux cuproalliages, au manganèse, au nickel et aux métaux et aciers réfractaires.

- Protection gazeuse active (MAG : Metal Active Gas) :

Ce procédé s'adapte aux aciers doux non alliés, galvanisés ou zingués et aux métaux ferreux.

On peut décrire 3 modes de fusion, ceci quelque soit la puissance, la nature ou l'origine de l'appareil à souder.

- **Court-circuit**

- Vitesse et intensité faible, 1 et 2/6.
- Appliqué pour le soudage de tôles fines, les positions délicates, les soudures au plafond...
- Lorsque le fil touche le métal de base il y a court-circuit, l'extrémité du fil sous forme d'une boule, se trouve collée sur le métal de base. Il y a alors brisure du fil suivi de sa rétraction.
- La circulation du courant et l'avancée du fil reprennent et le même processus peut recommencer à côté.
- Le cordon de soudure est donc formé par la mise bout à bout de ces «boules».

- **Globulaire ou grosse goutte**

- Vitesse et intensité moyenne 3 et 4/6.
- Application pour le soudage en angle, à plat ou en position montante. La zone d'impact est plus grande, ainsi que la pénétration dans la matière.
- La «goutte» sera plus grosse et c'est pourquoi elle se détache spontanément avant que le fil de soudure ne touche le métal de base ; donc avant le court-circuit.
- Ce procédé de soudage offre une meilleure résistance mécanique à la soudure.

- **PA ou pulvérisation axiale**

- Vitesse et intensité élevée, 5 et 6/6.
- Le fil ne touche pas le métal de base. Quand il arrive à proximité il y a pulvérisation dans l'espace du métal du fil de soudure.
- La pénétration du métal d'apport est importante et le cordon de soudure a une forte épaisseur.
- Ce procédé est appliqué en production de masse, pour les soudures en angle et à plat.

### II.1.3.3 Soudage par résistance [2]

On trouve généralement deux types de procédés de soudage par résistance : le soudage par point (RSW) et le soudage par molettes (RSEW).

- **Principe**

Le procédé de soudage par résistance consiste à faire passer un courant électrique entre deux électrodes sans produire d'arc électrique. Les électrodes, placées de chaque côté des deux pièces minces à fusionner, laissent passer le courant, ce qui a pour effet d'élever la température et d'amorcer la fusion du métal. Le soudage se produit sous l'effet de la chaleur, du temps et de la pression exercée par les électrodes. Le poste de soudage par résistance est un transformateur électrique qui fonctionne sur le courant alternatif (CA); il produit un courant de forte intensité de plusieurs milliers d'ampères à une faible tension d'environ 10 volts.

- **Application**

Le soudage par point est de loin le plus répandu des deux procédés. On le retrouve dans l'assemblage de tôles minces pour la fabrication de meubles en métal, de boîtiers métalliques, de casiers, d'étagères ainsi que pour l'assemblage de treillis à partir de tiges métalliques (paniers d'épicerie, grilles, présentoirs, etc.). L'industrie de l'automobile fait souvent appel à des robots pour le soudage par résistance par point.

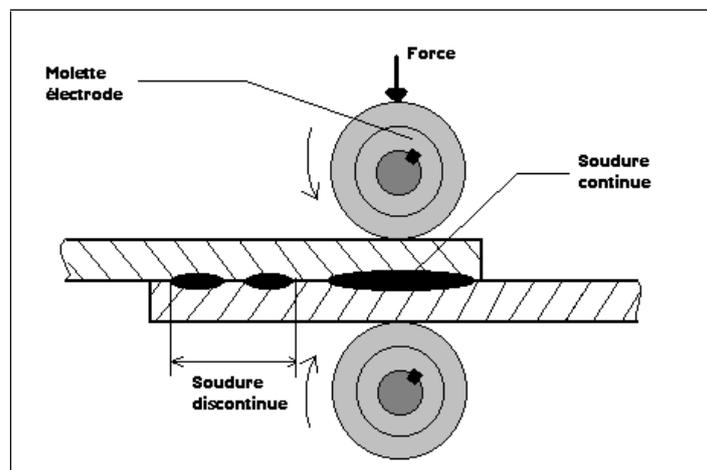


Fig 2.6 : Procédé de soudage par molettes

## II.2 Contrôle Non Destructif

Le Contrôle Non Destructif (C.N.D.) est un ensemble de méthodes qui permettent de caractériser l'état d'intégrité de structures ou de matériaux, sans les dégrader, soit au cours de la production, soit en cours d'utilisation, soit dans le cadre de maintenances.

### II.2.1. Le contrôle radiographique [9]

La radiographie est une méthode de contrôle non destructif qui consiste à obtenir une image de la densité de matière d'un objet traversé par un rayonnement électromagnétique X ou gamma. L'image est obtenue grâce à un détecteur qui est soit :

- un film argentique,
- un écran photo-stimulable à mémoire réutilisable,
- un ensemble de détecteurs numériques.

#### Principe

Le contrôle radiographique par rayonnement ionisants (X ou  $\gamma$ ) permet de détecter les défauts internes de compacité souvent très fins (fissures, soufflures, inclusions, manque de liaison, manque de fusion) dans les parois des matériaux métalliques. Ce contrôle est réalisé à l'aide d'un tube générateur a rayons X ou d'une source radioactive qui émette des rayonnements ionisant, de film radiographique ou d'une caméra pour l'acquisition numérique de l'image transmise placés sur la face inverse au rayonnement. Les rayons électromagnétiques de faible longueur d'onde sont partiellement absorbés par les hétérogénéités du milieu en traversant la paroi du matériau irradié. Le faisceau impressionne le film radiosensible en fonction des rayonnements transmis à travers la pièce contrôlée pour donner naissance a l'image radiographique. La présence d'un défaut se traduit par une variation de l'absorption du rayonnement émis et donc à une variation de la densité optique du film au droit de l'image du défaut.

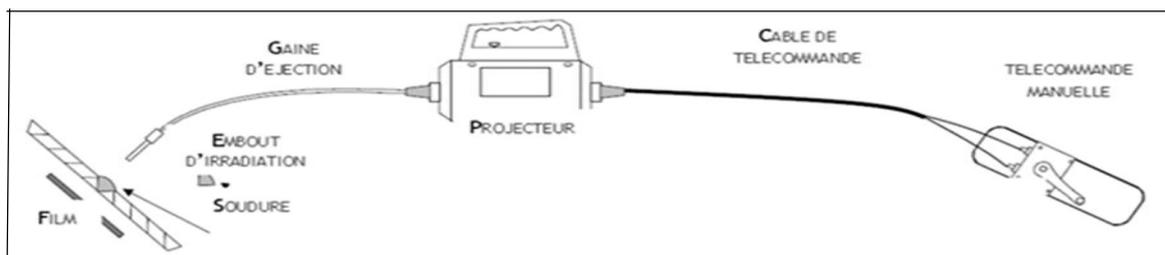


Fig 2.7 : Schéma simplifié d'une gammagraphie à éjection manuelle.

## II.2.2. Les sources de rayonnements ionisants

Les rayons gamma sont émis lors de la désintégration spontanée d'une particule qui compose le noyau atomique du radioélément (radioactivité).

- La qualité des rayonnements est déterminée par la nature du noyau.
- La quantité des rayonnements est définie par l'activité du radioélément.

L'activité d'un radioélément décroît dans le temps. Chaque radioélément a sa période de décroissance ou demi-vie. A chaque période de décroissance, l'activité de la source est divisée de moitié

Le radio élément est placé dans une capsule scellée placée sur une porte source et dans un conteneur appelé projecteur de gammagraphie ou gammagraphie. L'utilisation de ce type de matériel est très réglementée, exige des compétences en radioprotection très élevées.

Radioélément	Symbole	Période	Constante spécifique du radioélément	
			mrem/h par Ci	$\mu$ sv/h par GBq
Iridium 192	Ir <sup>192</sup>	74 jours	500	135
Cobalt 60	Co <sup>60</sup>	5,27ans	1350	365
Césium 137	Cs <sup>137</sup>	30 ans	350	95

**Tableau2.1 : Radioélément les plus utilisés en contrôle non destructif**

### ▪ Rayons X

Les rayons X en contrôle non destructif sont principalement utilisés pour réaliser des radiographies X. L'avantage de cette technique est de fournir des informations directement exploitables sur l'intérieur des objets ou des matériaux. L'étape d'inversion peut être assez réduite et la résolution spatiale suffisamment bonne. Toutefois, l'interprétation des images demande un fort niveau d'expertise de la part de l'opérateur et demande des conditions de sécurité pour l'opérateur et l'environnement. Dans l'industrie lourde, le contrôle à l'aide des rayons X est utilisé notamment pour les soudures dans les centrales nucléaires et les chantiers navals et pétroliers, la corrosion des tuyaux, la structure des matériaux composites ou les fissures dans les pièces mécaniques complexes.

Les différents types de rayonnements ionisants et leurs caractéristiques				
Type de rayonnement	Exemples d'émetteurs *	Nature	Spécificité	Pouvoir pénétrant
<b>Alpha <math>\alpha</math></b>	Americium 241 Plomb 210 Radon 222 Thorium 232 Uranium 235 Uranium 238	Particules constituées de 2 protons et 2 neutrons (charge électrique positive)	Directement ionisant	Faible pénétration - parcourt quelques centimètres dans l'air - arrêté par la couche cornée de la peau ou une feuille de papier
<b>Beta <math>\beta</math></b>	Césium 137 Iridium 192 Phosphore 32 Soufre 35 Tritium (ou Hydrogène 3)	d'une charge électrique positive (positons $\beta^+$ ) ou négative ( $\beta^-$ )	Directement ionisant	Pénétration limitée - parcourt quelques mètres dans l'air - arrêté par une feuille d'aluminium ou par des matériaux de faible poids atomique (plexiglas, etc.) - ne pénètre pas en profondeur dans l'organisme (pour une source située dans son environnement extérieur)
<b>Gamma <math>\gamma</math></b>	Césium 137 Iridium 192 Or 198 Technétium 99	Photons énergétiques	Indirectement ionisant	Pénétration importante - parcourt quelques centaines de mètres dans l'air - traverse les vêtements et le corps - arrêté ou atténué par des écrans protecteurs (épaisseurs de béton, d'acier ou de plomb)
<b>X</b>	Générateur électrique de rayons X	Photons énergétiques	Indirectement ionisant	Pénétration importante - parcourt quelques centaines de mètres dans l'air - traverse les vêtements et le corps - arrêté ou atténué par des écrans protecteurs (épaisseurs de béton)
<b>neutronique</b>	Couple Américium-Béryllium Lors de la fission de l'Uranium 235 Accélérateurs de particules	Neutrons	Indirectement ionisant	Pénétration importante - parcourt quelques centaines de mètres dans l'air - traverse les vêtements et le corps - arrêté par des écrans de paraffine (matériaux riches en hydrogène)

Tableau 2.2 : les différents types de rayonnements ionisants

### II.2.3. Composition de l'appareil de gammagraphie [9]

Un appareil de gammagraphie se compose principalement :

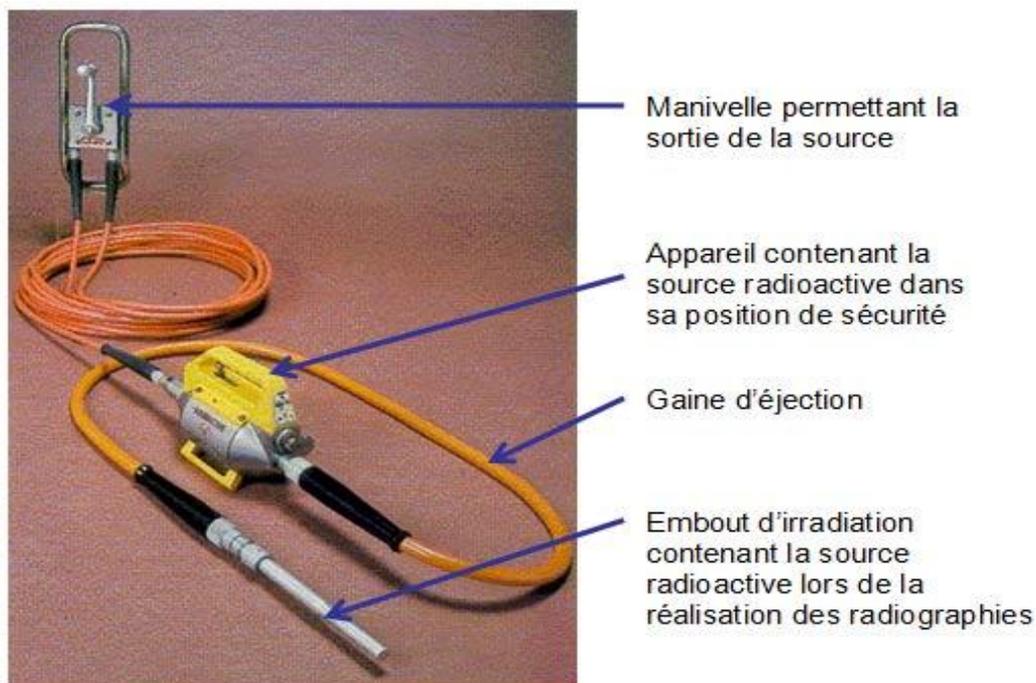
- Un projecteur de source, servant de container de stockage quand la source n'est pas utilisée et permettant son transport ;
- Une gaine d'éjection et d'une télécommande manuelle ou électrique destinées à déplacer la source entre le projecteur et l'objet à radiographier, tout en assurant la protection de l'opérateur qui se tient à distance de la source ;
- Une source radioactive insérée dans un porte-source.

Un gammagraphe peut être employé :

- soit sur chantier,
- soit dans une enceinte dédiée (bunker).

La source radioactive scellée est placée dans un porte-source stocké au cœur du projecteur. La sortie du porte-source dans la gaine d'éjection, jusqu'au dispositif d'irradiation (embout ou collimateur), est réalisée par l'opérateur via une télécommande (manuelle ou électrique).

L'exposition de l'ensemble « pièce contrôlée-film » est réalisée dans une configuration prédéfinie en fonction de la technique choisie, dépendante de la géométrie de la pièce.



**Fig 2.8 : Composition d'un appareil de gammagraphie**

### II.2.4. Film radiographique

De par son principe, le contrôle radiographique revient à présenter une image mettant en évidence la présence éventuelle de défauts. Parmi les récepteurs existant, le film argentique est le plus utilisé.

Les films radiographiques sont constitués de deux couches d'émulsion sensible à base de microcristaux d'halogénure d'argent déposées de part et d'autre d'un support de nitrate ou d'acétate de cellulose. Cette couche est plus épaisse que pour les films photographiques classiques.

Comme en photographie, il y a antagonisme entre rapidité du film et définition de l'image, car l'obtention d'une plus forte sensibilité exige l'utilisation de plus gros cristaux d'halogénure d'argent, induisant ainsi une moins bonne définition.

### II.2.5. Manifestation de la radioactivité [2]

Les éléments radioactifs, d'origine naturelle ou artificielle, sont caractérisés par l'instabilité de leur noyau. Elle se manifeste par l'émission de particules ( $\alpha$ ,  $\beta$ , neutrons) ou de photons ( $X$ ,  $\gamma$ ) qui constituent les radiations ionisantes, détectables uniquement par des appareils appropriés. Ces radiations ont la propriété d'ioniser la matière, contrairement aux autres rayonnements tels que la lumière visible, les rayons infrarouges ou les ultrasons.

#### II.2.5.1. Grandeurs et unités

- **Activité**

L'activité  $A$  d'une source radioactive est liée au nombre de noyaux susceptibles de se transformer. Elle est définie par la relation :  $A = \lambda N$

Où :

$N$  : **représente** le nombre de noyaux

$\lambda$  : la constante de radioactivité donné par la formule :  $\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$

L'unité est le becquerel (Bq) : 1 Bq = 1 désintégration par seconde.

L'ancienne unité de radioactivité, le Curie (Ci), tel que :

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

- **Période radioactive**

La période radioactive ou temps de demi-vie  $T_{1/2}$  est le temps au bout duquel l'activité de la source a diminué de moitié. Elle est liée à la constante radioactive  $\lambda$  par la formule :

$$\text{Temps de demi-vie : } T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

- **Energie**

Elle s'exprime en électronvolts (eV) ou ses multiples (keV, MeV, ou GeV)

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule}$$

Les énergies émises par des radionucléides sont très variées, allant de quelques keV à plusieurs MeV.

- **Dose absorbée**

La pénétration des radiations ionisantes dans la matière se traduit par une cession d'énergie.

La dose absorbée D est le rapport de :

$$\frac{\text{Energie absorbée par la matière (Joule)}}{\text{Masse de matière irradiée (kg)}}$$

L'unité de dose absorbée est le Gray (Gy) 1 Gy = 1 J.kg<sup>-1</sup>.

- **Débit de dose absorbée (D°)**

C'est la dose absorbée D par unité de temps s'exprime en Gy.h<sup>-1</sup>. Il est défini par la formule suivante :

$$D^\circ = D \times t$$

### II.2.5.2. Interaction avec la matière

Les radionucléides utilisés couramment émettent des rayonnements dont l'énergie se situe généralement dans l'intervalle 10 keV et 10 MeV.

**On distingue :**

- Les particules chargées légères (e<sup>+</sup>, e<sup>-</sup> et spectre d'électrons du rayonnement  $\gamma$ )  
ou lourdes (protons,  $\alpha$ , ions accélérés).

- Les rayonnements électromagnétiques X et  $\gamma$ , constitués de photons issus du cortège électronique pour les X, et du noyau de l'atome pour les  $\gamma$ .
- Les neutrons, particules lourdes non chargées pouvant donner lieu à des activations de la matière stable.

### **II.2.6. Utilisation et entretien de l'équipement de gammagraphie**

L'utilisation et l'entretien des appareils d'exposition sont effectués conformément aux instructions fournies par le fabricant, au programme de radioprotection du titulaire de permis et aux exigences réglementaires.

- L'entretien régulier et courant des appareils d'exposition permet d'assurer leur utilisation sécuritaire, y compris le retour de la source en position blindée et le fonctionnement des systèmes de verrouillage. Cette activité doit être effectuée par un personnel formé et qualifié.

L'entretien doit être limité au mode d'utilisation normal selon le manuel d'utilisation fourni par le fabricant pour l'appareil en question.

- Les appareils d'exposition doivent faire l'objet d'une épreuve d'étanchéité tous les 12 mois, c'est-à-dire tant la source scellée que le blindage, conformément aux exigences réglementaires. Les épreuves d'étanchéité réalisées doivent permettre de détecter une fuite de 200 Bq ou moins.
- Tout appareil d'exposition qui échoue à l'épreuve d'étanchéité (au niveau de la source ou du blindage) doit être retiré du service et la doit en être immédiatement avisée.
- L'utilisation et l'entretien des appareils d'exposition sont effectués conformément aux instructions fournies par le fabricant, au programme de radioprotection du titulaire de permis et aux exigences réglementaires.
- L'équipement ne peut être modifié, utilisé de manière abusive ou servir à des fins autres que celles pour lesquelles il a été destiné ou conçu.
- Tout appareil d'exposition ayant fait l'objet d'une modification ou de l'utilisation d'accessoires ou de pièces de rechange non autorisés n'est pas conforme au modèle homologué. Il s'agit là de situations interdites qui ont pour effet d'invalider l'homologation. De tels changements peuvent compromettre le fonctionnement sécuritaire de l'appareil et entraîner un

incident ou accident grave.

- Les opérateurs d'appareil d'exposition devraient cerner tout problème présenté par l'équipement de gammagraphie et retirer du service les éléments en question.

### **II.2.7. Les avantages et les inconvénients du contrôle radiographiques**

#### **Les avantages**

- la facilité de détection des défauts internes des pièces.
- La rapidité relative d'obtention des résultats.
- La bonne sensibilité de détection des défauts.
- La traçabilité et archivage des résultats.

#### **Les inconvénients**

- Elle réduit considérablement la possibilité de détecter certains types de défauts, comme par exemple les fissures se présentant perpendiculairement à la direction du faisceau,
- Faible productivité, et donc au coût, lorsqu'il faut faire de multiples examens avec films argentiques.
- Les opérateurs doivent être très expérimentés.
- Les règles de sécurité sont rigoureuses et contraignantes et dangereux pour la santé.
- Limitation du contrôle par les épaisseurs et par le matériel utilisé.

### III.1. Principaux risques liés aux opérations de soudage [5]

Les risques pour la santé et la sécurité du travail sont présents dans un grand nombre de tâches reliées au soudage pouvant entrainer des effets nocifs à court terme ou à long terme sur la santé du travailleur, un inconfort, voir même la mort.

#### III.1.1. Risques d'intoxication liés aux fumées

Du fait des hautes températures atteintes au point de fusion, les différents procédés de soudage sont susceptibles d'émettre des fumées que l'opérateur et les personnes présentes dans l'environnement de travail peuvent inhaler.

Ces fumées, mélangées à l'air chaud, sont formées, en proportions variables suivant le procédé, de gaz et de poussières qui sont susceptibles, compte tenu de leurs dimensions, d'atteindre la région alvéolaire de l'appareil respiratoire.

Poussières à base de, ou d'oxydes de				Gaz			
Aluminium	Aluminium	Cobalt	Thorium	Chrome (VI)	Aldéhyde	Cyanure	Aldéhyde
Antimoine	Etain		(lors de	Beryllium	formique*	d'hydrogène*	formique
Baryum	Silice		l'affûtage	Cadmium	Dioxyde	Monoxyde de	
Chrome	Amorphe		des	Cobalt	d'azote	carbone	
Cuivre	Titane		électrodes)	Nickel	Ozone	Monoxyde	
Fluorures	Fer				Phosgène	d'azote	
Magnésium							
Manganèse							
Molybdène							
Nickel							
Plomb							
Titane							
Vanadium							
Zinc							
Zirconium							
Irritantes	Surcharge pulmonaire	Fibrose pulmonaire	Radioactif	Potentialité	Irritants	Toxiques	Potentialité
Toxiques	Atteintes broncho-pulmonaires			cancérogène		Anoxie	cancérogène
Allergisantes							

Tableau 3.1 : Les principaux constituants des fumées de soudage

### III.1.2. Risques d'anoxie liés aux gaz de protection

Dans les procédés de soudage sous protection gazeuse, le gaz amené par la torche et celui éventuellement apporté en complément peuvent, dans certains cas, altérer la qualité de l'air par appauvrissement en oxygène de l'atmosphère environnant. L'air respirable contient 21 % d'oxygène. En deçà d'approximativement 17 %, l'air devient plus difficilement respirable et en deçà de 13 %, des risques majeurs sans signe précurseur apparaissent (perte de connaissance brutale).

Ce risque est accru lorsque les travaux sont effectués dans un espace confiné.

Effets des fumées et des gaz sur la santé		
Catégories de contaminants	Description des effets	Exemples d'agresseurs
<b>Asphyxiants</b>	Asphyxiants simples : se substituent à l'oxygène de l'air et nuisent à la respiration. Asphyxiants chimiques : par une réaction chimique, réduisent la capacité de l'organisme à utiliser l'oxygène qui est disponible.	Acétylène, argon, ... Monoxyde de carbone (CO)
<b>Allergisants</b>	Déclenchent des réactions de type allergique au contact des parois des bronches et des bronchioles (par exemple, le rétrécissement des bronchioles dans le cas de l'asthme).	Chrome et zinc
<b>Fibrosants</b>	Se rendent jusqu'aux alvéoles et provoquent une réaction de défense qui produira un épaississement de la paroi et une réduction des échanges gazeux.	Amiante, béryllium, fer et silice
<b>Cancérogènes</b>	Sont susceptibles de causer des cancers.	Chrome, cadmium et nickel
<b>Toxiques</b>	Utilisent le poumon comme porte d'entrée dans l'organisme, Plomb et manganèse passent dans le sang et nuisent au fonctionnement d'autres organes.	Plomb et manganèse

**Tableau 3.2 : Effets des fumées et des gaz sur la santé**

### **III.1.3. Risques liés aux projections et aux pièces chaudes**

Les projections de gouttelettes métalliques et de laitier peuvent provoquer des brûlures cutanées et des lésions oculaires. Pendant le refroidissement de la soudure, les silicates formés par le bain de fusion peuvent également être projetés. De même, l'arc électrique ainsi que les pièces portées à température élevée peuvent induire par contact des brûlures cutanées.

### **III.1.4. Risques liés aux bruits**

Le bruit engendré par certains procédés de soudage peut dépasser le seuil de nocivité de 80 dB et provoquer des sifflements, des bourdonnements, une baisse de l'acuité auditive voire à long terme une surdité professionnelle.

Les tâches annexes au soudage (burinage, martelage, meulage, grenailage...) sont souvent également très bruyantes.

Le bruit est assez facile à détecter, mais les effets peuvent s'accumuler à long terme et le danger causé par le bruit peut, étonnamment, être négligé.

### **III.1.5. Risques liés aux rayonnements optiques**

Les rayonnements émis sont fonction de l'intensité du courant de soudage et du métal soudé qui les réfléchit plus ou moins. A intensité égale de courant de soudage, ces rayonnements sont plus importants dans le cas de soudage sous protection gazeuse que dans le cas de soudage avec électrodes enrobées.

- Les rayonnements ultraviolets peuvent provoquer des coups d'arc (Kératoconjunctivites) et des érythèmes. Ils sont également susceptibles d'induire des brûlures cutanées et un cancer de la peau.
- Les rayonnements visibles (lumière bleue) peuvent engendrer de l'éblouissement, de la fatigue visuelle et des lésions rétinienne.
- les rayonnements infrarouges peuvent engendrer des brûlures de la cornée et provoquer par effet cumulatif une opacité du cristallin et le rende progressivement plus opaque (cataractes)

Rayonnements	Provenance et caractéristiques	Effets sur la peau	Effets sur les yeux
<b>Rayons ultraviolets</b>	Proviennent de l'arc électrique de soudage. Augmentation fortement avec l'intensité du courant. Les rayons subdivisent en UVA (315-400 nm), UVB (280-315 nm) et UVC (100- 280 nm). Extrêmement intenses dans les procédés au plasma et au laser. Le verre filtre en grande partie les UVB mais très peu les UVA.	Augmentation de la pigmentation de la peau (bronzage); Rougeur (coup de soleil) ; Vieillessement accéléré et cancer (à long terme).	Causes le coup d'arc ; Cataracte (effets cumulatifs).
<b>Rayons visibles</b>	Proviennent de l'arc électrique de soudage. Longueur d'ondes de 400 à 700 nm.		Eblouissement, fatigue visuelle et maux de tête.
<b>Rayons infrarouges</b>	Proviennent surtout du métal en tension en raison de dégagement de chaleur. Longueur d'ondes de 770 à 1 000 nm. Les infrarouges traversent le verre.	Affectent la peau et provoquent des brûlures	Larmoiements, maux de tête ; brûlures de rétine et de la cornée ; cataracte (effets cumulatifs)

**Tableau 3.3 : Types de rayonnements et principaux effets associés**

### III.1.6. Risques liés à l'électricité

Il y a électrisation quand il y a passage de courant dans une partie du corps. On peut classer les contacts avec un conducteur ou une pièce sous tension en deux catégories :

- **Le contact direct**

Une partie du corps entre en contact avec une pièce sous tension, par exemple l'électrode ou un porte-électrode mal isolé. Dans le soudage à l'arc, on trouve au bout de l'électrode la tension à vide du générateur. Si, par surcroît, une partie du corps offre un passage au courant (pieds dans l'eau, contact avec une pièce mise à la terre, etc.), il y a risque d'électrisation. Le travailleur est ainsi exposé à la tension secondaire du poste de soudage.

### ▪ Le contact indirect

Le corps entre en contact avec une pièce métallique qui est anormalement mise sous tension. Il arrive que certaines composantes métalliques du poste de soudage telles que le boîtier, le capot ou le volant de manœuvre soient accidentellement mises sous tension par suite d'un défaut dans l'isolation des pièces sous tension. Le défaut d'isolation peut provenir d'un court-circuit ou du relâchement d'un connecteur. Le travailleur risque alors d'être exposé à la tension primaire, qui est beaucoup plus élevée que la tension secondaire.

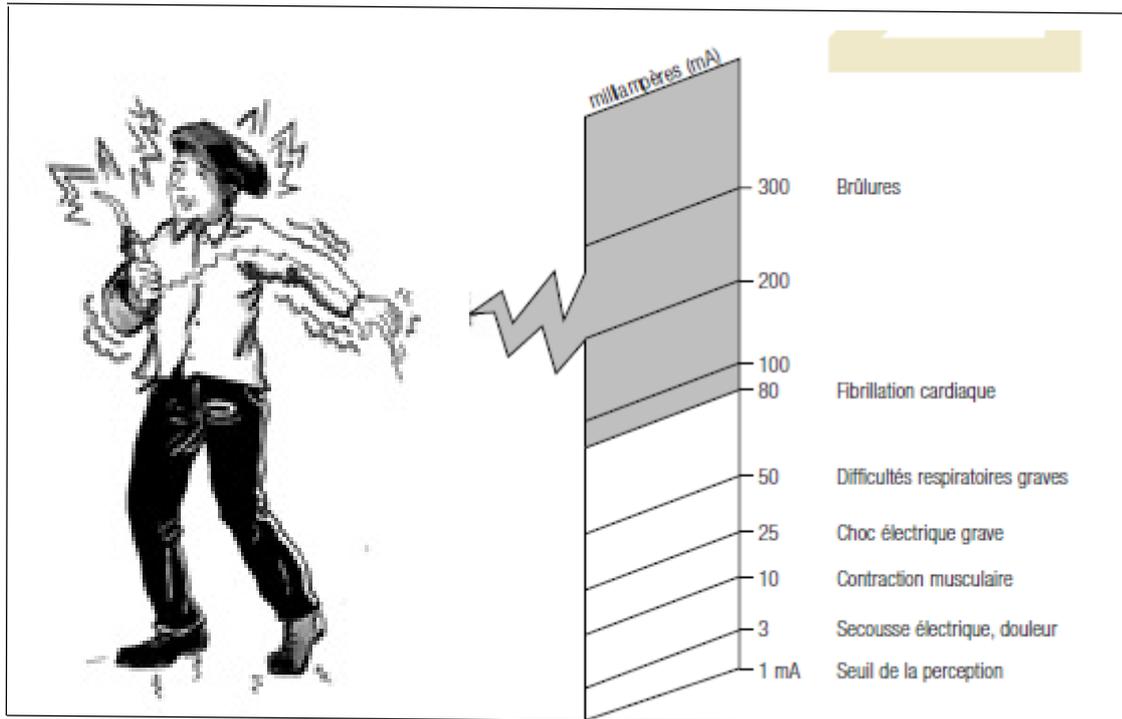


Fig 3.1 : Échelle présentant les conséquences du passage du courant dans le corps

### III.1.7. Risques liés aux champs électromagnétiques

Les courants mis en œuvre par les procédés de soudage à l'arc sont à l'origine de champs électriques et magnétiques. Outre la prise en compte des consignes d'installation et d'utilisation du matériel, transmises par le fournisseur, il convient de porter une attention particulière aux salariés porteurs d'implants actifs (pompe à insuline, pacemaker...) et d'implants passifs constitués de matériaux métalliques (prothèses diverses). Un avis médical est nécessaire pour les porteurs d'implants actifs.

### **III.1.8. Risques d'incendie et d'explosion**

Les risques d'incendie et d'explosion proviennent essentiellement des projections de métal incandescent, de l'échauffement dû au soudage, de la présence de substances combustibles, inflammables ou explosives sur les pièces à souder ou à proximité du poste de travail ou d'une mauvaise réalisation des circuits électriques.

Des moyens de lutte contre les incendies, adaptés aux risques, doivent donc être disposés à proximité des emplacements de soudage.

### **III.1.9. Risques ergonomiques**

Bon nombre des blessures des soudeurs résultent de foulures, d'entorses et de troubles musculo-squelettiques (TMS). Souvent, les soudeurs doivent :

- soulever ou déplacer des objets lourds,
- travailler dans des postures contraignantes pendant de longues périodes,
- manipuler et tenir de lourds pistolets de soudage,
- effectuer des mouvements répétitifs.
- De plus, un temps de récupération insuffisant augmente significativement l'effet des facteurs biomécaniques.

### **III.1.10. Risques organisationnels**

- Travail posté.
- Déplacements pour les soudeurs très spécialisés, notamment les soudeurs au chalumeau.
- Températures élevées : Le stress thermique et le rayonnement infrarouge qui peuvent survenir doivent être pris en compte en tant que contrainte physiologique significative.
- Vibrations : Outils pneumatiques à main pouvant être utilisé lors des activités de préparation au soudage.
- Charge mentale : Travail de précision, travail sous contrainte de temps.

### I.1.11. Risques pour l'environnement

- Pollution chimique par les métaux des eaux et du sol
- Pollution atmosphérique par les vapeurs et les poussières métalliques
- Accidents, incendie, explosion : Inflammation de gaz, de poussières ou de solides au contact de points chauds.

## III.2. Risques spécifiques au soudage au chalumeau

### a. Risques chimiques

#### ▪ Les risques dus aux fumées, intoxication/irritation

L'action de la flamme sur les pièces à souder, provoque des fumées incommodantes, insalubres, irritantes ou toxiques. Ces fumées, gaz et poussières, proviennent à la fois de métal de base, du métal d'apport, des traitements de surface des pièces (dégraissant, peintures, enduits...), des gaz utilisés.

L'inhalation répétée de ces fumées peut se traduire par des troubles plus ou moins graves :

- Irritation de la peau et des yeux (émission de dérivés halogènes chlorés ou fluorés) de gravité variable : de type aigu
- Atteinte de la fonction respiratoire : de type aigu par inhalation de dérivés irritants (solvants chlorés, cadmium) de type chronique (bronchite chronique, sidérose) et fièvre des soudeurs (ou fièvre des métaux qui est bénigne)
- Autres manifestations organiques : atteintes neurologiques, hépatiques et rénales, liées aux expositions de poussières de métaux
- Une augmentation du risque de cancer pulmonaire en rapport avec l'inhalation de substances cancérogènes (comme l'oxyde de cadmium).

#### ▪ Les risques dus aux gaz

On utilise principalement une flamme d'hydrogène et d'oxygène ou de l'oxyacétylène. :

- **Oxygène** : un % d'O<sub>2</sub> dans l'air ambiant supérieur à 25% augmente les risques d'incendie.
- **Acétylène** : présente des risques d'explosion même sans apport d'air ou d'oxygène. C'est un gaz très inflammable et instable sous pression. Comprimé il peut se décomposer (explosion) sous le seul effet de la pression, d'un choc, d'une élévation de

température ou au contact de certains alliages. Son stockage et sa distribution sont, pour cette raison soumis à des précautions et à une réglementation particulières. (Pression maximale d'utilisation à 1,5 bar, pour l'acétylène en phase gazeuse)

- L'acétylène peut être contaminé par de l'hydrogène phosphoré, gaz incolore plus lourd que l'air et très toxique.
- Exposition aiguë : atteinte système nerveux et respiratoire.
- Exposition subaiguë : lésions hépatiques, rénales, myocardiques, ainsi que des voies respiratoires et du système nerveux central.
- Les risques dus à la combustion des gaz.
- Production de monoxyde de carbone
- Décomposition de l'air sous l'effet de la chaleur, avec production d'oxydes d'azote (irritant oculaire et respiratoire avec risque de manifestations de type œdème pulmonaire ou emphysème).

### **b. Risques physiques**

- Les projections de métal incandescent à l'origine de graves lésions oculaires et des brûlures : si l'on surchauffe le bain de fusion ou si la buse entre en contact avec le métal en fusion, d'où le port de vêtements en coton ignifugé, couvrants.
- Les risques dus à la flamme et aux rayonnements, UV, IR :
  - La flamme peut causer des brûlures cutanées, allant de l'érythème jusqu'à des brûlures au 3<sup>ème</sup> degré.
  - Le rayonnement UV est peu important, des lunettes avec protection 4 à 7 suffisent.
- Néanmoins ils peuvent provoquer une lésion de la cornée ou de la conjonctive de l'œil qui se manifeste par une sensibilité des yeux à la lumière et une sensation de paupières en « papier de verre »
- Par contre les rayonnements IR et la chaleur peuvent provoquer des conjonctivites et des lésions oculaires chroniques :
- **Risque électrique** : lié à l'utilisation de fer à souder électrique défectueux ou le brasage de pièces sous tension.
- Blessures dues à la manutention : essentiellement des coupures
- **Incendie** : risque amplifié en présence de matériaux ou de substances inflammables ou explosives.

### III.3. Risques spécifiques du soudage à l'arc électrique

#### a. Risques chimiques

- **Fumées de soudage**

Fumées de soudage : du fait des hautes températures atteintes au point de fusion, les différents procédés de soudage à l'arc ont en commun l'inconvénient d'émettre des fumées. (Leur importance et leur composition dépendent, notamment, des conditions de travail)

C'est sans conteste le soudage à l'arc électrique et électrode enrobée ou soudage à l'arc manuel, qui dégage le plus de fumées. Avec les électrodes enrobées acides, alcalines ou contenant du rutile. 30-90% de la fumée totale sont constitués de chrome hexavalent. Des fluorures sont présents avec des enrobages alcalins. Et le nickel en forte proportion avec des enrobages riches en métal.

Les éléments principaux trouvés dans les fumées : fer, cuivre, silicium, chrome, manganèse, fluor, potassium et calcium.

Les électrodes utilisées peuvent ne pas être consommées au cours de l'opération (électrode en graphite ou en tungstène) mais le plus souvent elles fournissent le métal principal de jonction des deux pièces métalliques et contiennent, en plus de l'acier, différentes substances (manganèse, fer, titane, asbeste, mica, talc, alumine, silice...)

Ces substances se trouvent habituellement dans le flux ou dans l'enrobage recouvrant l'électrode.

Selon le métal de base on peut trouver du titane, du zinc ou de l'étain.

Le dioxyde de silicium ( $\text{SiO}_2$ ) se trouve dans la fumée sous forme amorphe, non cristalline et ne revêt donc pas le caractère toxique du quartz.

L'utilisation d'électrodes thorium-tungstène dans des espaces confinés, non ou mal ventilés, peut donner lieu à des expositions à des fumées radioactives.

Les électrodes en tungstène thorié sont utilisées dans le procédé de soudage TIG présente un risque potentiel de contamination externe et interne ; métal faiblement radioactif émetteur des rayonnements alpha et gamma.

- **Gaz**

Gaz produits au cours du soudage à l'arc : le  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  et  $\text{O}_3$

- $\text{NO}_2$  et  $\text{O}_3$  résultent de l'action des rayons UV sur l' $\text{O}_2$  et le  $\text{N}_2$  atmosphériques.

- A l'exception du NO<sub>2</sub>, la concentration de ces gaz n'est généralement pas suffisante pour entraîner des manifestations toxiques chez les sujets sans antécédents pulmonaires (asthmatiques).
- Anoxie, asphyxie : par appauvrissement en oxygène de l'air dans le local.
- **Poussières**
  - Production de fumées métalliques, à l'identique du procédé à l'arc électrique
  - L'utilisation d'électrodes thorium-tungstène dans des espaces confinés, non ou mal ventilés, peut donner lieu à des expositions à des fumées radioactives.

<b>Poussière des métaux</b>	<b>Effet</b>
<b>Aluminium</b>	emphysème, fibrose pulmonaire
<b>Cobalt,Zinc, Béryllium</b>	fibrose pulmonaire
<b>Chrome</b>	ulcération de la cloison nasale ; pigeonneaux des doigts ; dermite de contact -asthme ; BPCO - emphysème; néoplasme bronches et fosses nasales ; sidérose.
<b>Nickel</b>	fièvre des fondeurs, pneumopathie, dermite eczématiforme
<b>Cuivre, Zinc</b>	fièvre des fondeurs
<b>Cadmium</b>	fièvre des fondeurs, asthme, atteinte rénale, troubles gastro intestinaux. Néoplasme bronches et fosses nasales
<b>Nitrites</b>	sidérose, néoplasme des bronches et fosses nasales
<b>Béryllium</b>	Conjonctivites, dermates, pneumopathie, fibrose pulmonaire
<b>Fer</b>	Sidérose
<b>Silice</b>	Silicose
<b>Métaux durs</b>	broncho-pneumopathie, asthme
<b>Plomb</b>	saturnisme, encéphalopathie, lésions rénales.
<b>Sulfure d'hydrogène</b>	Kératoconjunctivites, bronchite

**Tableau 3.4 : Risques liés à l'exposition aux fumées de soudage en fonction des poussières de métaux**

**b. Risques physiques**

- Le risque de « coup d'arc », lié à l'intensité du rayonnement (visible, UV et IR) produit par l'arc électrique :
  - kératoconjunctivites, érythèmes : UV
  - Lésions rétinienne : effets photochimiques de la lumière bleue
  - Brûlures du visage, de l'œil et de la rétine : rayonnement visible et IR
- Electrification, électrocution : par contact direct ou indirect (le risque est faible sauf en cas de travail en environnement humide).
- Brûlures
- Incendie, explosion
- Interférences radioélectriques  
Perturbations dues aux appareils de soudage sur des implants actifs et des commandes de machines et appareils de levage voisins
- Les projections de laitier lors du soudage ou du piquage
- Le bruit est généralement faible, sauf pour les procédés semi automatiques et le soudage sur aluminium.
- Le risque de production de phosgène en présence de solvants chlorés est plus important dans le soudage de l'aluminium. En raison de l'intensité du rayonnement UV.

**III.4. Pathologies professionnelles liées au soudage [2]****• La fièvre du fondeur**

Les particules étrangères pénètrent les alvéoles et y exercent des actions inflammatoires (il ne s'agit pas d'une allergie).

Après une irritation de la gorge au travail, le travailleur ressent les symptômes d'une grippe dans la soirée. Il souffrira surtout de fièvre, de frissons, de maux de tête et de malaises diffus (mal aux muscles et aux os) accompagnés d'une toux légère. Les symptômes disparaissent au bout de 24 à 48 heures et ne laissent aucune séquelle. Une certaine tolérance peut être développée, mais certains pourront avoir par une nouvelle crise après une absence plus ou moins longue du travail;

**• La pneumonite chimique et l'œdème pulmonaire**

Ce sont des phénomènes irritatifs qui surviennent peu de temps après l'exposition et diffèrent par l'étendue de l'atteinte pulmonaire. Après une forte exposition, le travailleur contractera

dans les 4 à 6 heures une fièvre accompagnée de toux qui peut évoluer vers une douleur thoracique et une difficulté à respirer (œdème pulmonaire). Le travailleur récupère habituellement complètement avec un traitement adéquat. Des pneumonites chimiques répétées peuvent occasionner une fibrose pulmonaire (pneumoconiose). La pneumonite d'hypersensibilité Il s'agit d'un phénomène allergique présentant les mêmes symptômes que la pneumonite chimique. Le travailleur touché connaît des épisodes répétitifs de fièvre accompagnée de toux, qui débute quelques heures après l'exposition et qui évolue en empirant vers une grande difficulté respiratoire. Plutôt rare chez les soudeurs, ce problème est le plus souvent lié à l'exposition aux isocyanates libérés lors d'un travail sur des métaux peints avec des peintures à base de résine.

- **L'asthme**

L'asthme est caractérisé par des attaques aiguës de contraction des bronchioles, entrecoupées par des périodes où l'individu est plus ou moins libre de tout symptôme. L'individu est sensibilisé ou allergique au produit qui cause son asthme et de très petites quantités de substances sont par la suite suffisantes pour déclencher une crise.

- **La bronchite chronique**

La bronchite chronique se définit par la présence d'une toux accompagnée de crachats et de sécrétions dans la gorge pendant trois mois de l'année au cours de deux années consécutives. Chez les soudeurs, des symptômes de difficulté respiratoire sont souvent présents et certains travailleurs vont même faire de l'emphysème. Le tabac est l'agresseur qui causera le plus souvent ce problème, mais on démontre une prévalence des symptômes de bronchite chronique plus élevée chez les soudeurs que dans la population en général.

- **Les pneumoconioses**

Dans les pneumoconioses, on regroupe un ensemble de problèmes pulmonaires ayant en commun l'épaississement des parois pulmonaires, phénomène connu sous le nom de fibrose. Ce phénomène de fibrose a pour conséquence de diminuer la capacité du poumon à apporter au sang l'oxygène nécessaire. Parmi les pneumoconioses spécifiques que pourrait contracter le soudeur, il y a la sidérose (exposition aux oxydes de fer), la stannose (exposition à l'étain), l'aluminose (exposition à l'oxyde d'aluminium), la silicose (exposition à la silice), l'amiantose (exposition à l'amiante) et la pneumoconiose au titane. Les pneumoconioses non spécifiques sont celles dues au phénomène de fibrose qui accompagne l'addition des cicatrices subies lors de pneumonites répétées.

- **Les cancers**

L'Agence internationale de recherche sur le cancer (IARC) considère les fumées de soudure comme potentiellement carcinogènes chez l'humain (elles pourraient causer le cancer).

De plus, l'Institut international de soudage (IIS) conclut que les soudeurs sont exposés à un risque plus élevé de cancer du poumon que le reste de la population. Certaines études épidémiologiques réalisées chez les soudeurs ont démontré un risque d'environ 30 % plus élevé pour le cancer du poumon. On pourrait expliquer ce risque plus élevé, d'une part par une exposition à des carcinogènes non liés spécifiquement aux procédés de soudage (amiante et contaminants à la surface de pièces à souder), d'autre part par une exposition au chrome hexavalent (chrome VI), au cadmium et au nickel dans certains procédés spécifiques (acier inoxydable).

Le manganisme et le saturnisme

Le travail effectué sur de longues périodes sur des aciers formés d'alliages de manganèse peut donner lieu à une atteinte du système nerveux central appelée manganisme.

L'accumulation de plomb chez un travailleur pourrait donner lieu à un ensemble de symptômes appelé saturnisme.

### **III.5. Risques liés aux opérations du contrôle [3]**

Le risque radiologique concerne l'ensemble des risques liés aux rayonnements ionisants. Les radiations ionisantes émises par les produits radioactifs sont particulièrement dangereuses : elles ionisent la matière, c'est à dire qu'elles arrachent, en passant dans la matière, en particulier vivante, des électrons aux atomes.

L'exposition aux radiations conduit au risque de d'irradiation et de contamination :

- **L'irradiation** est l'exposition directe de l'organisme à des rayonnements ionisants.
- **La contamination** est la présence significative de substances radioactives dans le corps.

L'emploi des radionucléides peut provoquer une exposition externe, une contamination externe ou une contamination interne.

- **L'exposition externe** : Elle est provoquée par une source radioactive située à distance de l'individu. Cette source peut émettre des rayonnements qui interagissent avec le corps humain en créant des ionisations. L'exposition peut être globale ou partielle.

- **Une contamination externe** : Elle est provoquée par un produit radioactif qui s'est déposé sur la peau, les vêtements ou les plans de travail. Elle peut conduire à l'incorporation des produits radioactifs dans l'organisme.
- **Une contamination interne** : Elle se produit lorsque les produits radioactifs ont pénétré dans l'organisme par inhalation, ingestion ou par voie cutanée (plaie par exemple). Ce phénomène d'incorporation conduit à l'exposition interne.

### III.5.1. Effets des rayonnements ionisants sur l'homme

#### Dose absorbée équivalente (E)

Pour quantifier les effets des rayonnements ionisants dans les tissus vivants, il faut déterminer une grandeur qui tienne compte de la qualité du rayonnement : c'est la dose équivalente, anciennement appelée équivalent de dose. Elle est exprimée en sievert (Sv) et est reliée à la dose absorbée par la relation :

**Dose équivalente = Dose absorbée . WR**

Où :

**WR** : le facteur de pondération radiologique que la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) a défini pour chaque type de particule ou de rayonnement. De plus, la CIPR a défini, pour les principaux tissus de l'organisme,

**WT** : un facteur de pondération tissulaire, qui introduit la notion de dose efficace comme étant le produit de la dose équivalente, corrigée par le facteur de pondération tissulaire.

**Dose efficace = Dose équivalente. WT.**

La connaissance de la dose absorbée par un tissu biologique ainsi que des valeurs de WR et WT permet, à partir de l'irradiation partielle d'un tissu, de calculer la dose équivalente reçue par tout l'organisme. La connaissance de la dose absorbée par un tissu biologique ainsi que des valeurs de WR et WT permet, à partir de l'irradiation partielle d'un tissu, de calculer la dose équivalente reçue par tout l'organisme.

### III.5.2. Effets biologiques d'une exposition [4]

Le transfert d'énergie des rayonnements ionisants à la matière vivante est responsable des effets biologiques de ces rayonnements.

Cette ionisation affecte les cellules des tissus ou des organes exposés, de sorte que les processus biologiques des cellules sont perturbés. Cela peut conduire à :

- l'ionisation des molécules (radiolyse), modifiant leurs propriétés chimiques. Les constituants chimiques de la cellule vivante ne peuvent plus alors jouer leur rôle.
- l'altération de l'ADN, qui a un rôle de « chef d'orchestre » dans la vie cellulaire.

Ces lésions de l'ADN sont de plusieurs types, essentiellement des ruptures simples brin et double brins.

Un système de réparation enzymatique dans la cellule permet de réparer rapidement les lésions de premier type (ruptures simples brins). Dans les autres cas, la réparation peut être incomplète. Ces lésions d'ADN, mal réparées, peuvent, dans certains cas, empêcher la reproduction cellulaire ou entraîner la mort de la cellule. Cette mortalité cellulaire est liée à l'importance de l'irradiation : le nombre de cellules tuées est directement proportionnel à la dose reçue par la matière vivante.

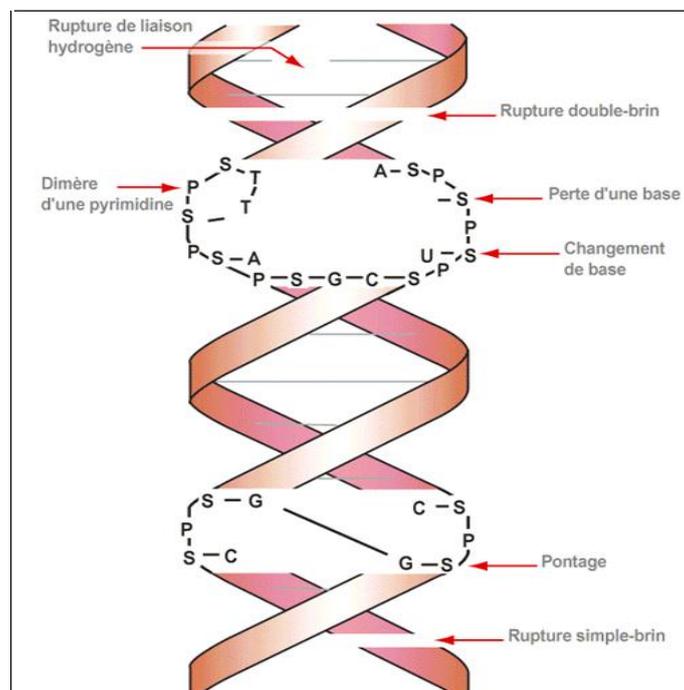


Fig 3.2 : Altérations possibles de l'ADN suite à une exposition à des rayonnements ionisants

L'importance et la nature des lésions cellulaires, pour une même dose d'exposition, dépend des facteurs suivants :

- mode d'exposition (externe ou interne) ;
- nature des rayonnements ;
- débit de la dose reçue (une même dose reçue en peu de temps est bien plus nocive que si elle est étalée dans le temps) ;
- certains facteurs chimiques ou physiques influant sur la sensibilité cellulaire (température, présence de certaines substances chimiques tels l'oxygène) ;
- type des cellules exposées : les cellules qui ont un potentiel de multiplication important (dites « indifférenciées », telles les cellules de la moelle osseuse) sont d'autant plus « radiosensibles ».

### **III.5.3. Conséquences d'une exposition sur la santé**

Les effets sur l'organisme des rayonnements sont de deux types :

- les effets à court terme, dits déterministes, liés directement aux lésions cellulaires et pour lesquels un seuil d'apparition a été défini ;
- les effets à long terme et aléatoires (ou stochastiques) : cancers et anomalies génétiques.

Ils se manifestent de quelques heures à plusieurs mois / années après l'irradiation.

Les effets déterministes, pour une exposition à des rayonnements gamma ou X, apparaissent à partir d'une dose d'irradiation de 0,15 Grays (Gy). En revanche, il n'a pas été possible de mettre en évidence l'existence d'un seuil pour les effets aléatoires. Ces derniers sont donc considérés comme sans seuil.

#### **a. Effets déterministes**

A partir d'un certain seuil d'irradiation, apparaissent des effets pathologiques directement liés aux lésions cellulaires. On distingue les effets liés à une irradiation partielle ou globale.

Les tissus les plus sensibles en cas d'irradiation sont les tissus reproducteurs, les tissus impliqués dans la formation des cellules sanguines (rate, moelle osseuse...), le cristallin de l'œil, la peau. Une irradiation locale cutanée peut entraîner par exemple, selon les doses, un érythème, une ulcération ou une nécrose.

Organe concerné	Seuil pour les effets déterministes (Gray)	Effet commençant à être observé au-dessus du seuil
Corps entier	0.5	Vomissements
Thyroïde	5	Hypothyroïdie
Poumons	5	Mort
Moelle osseuse	1.5	Mort
Cristallin	5	Cataracte
Peau	3	Érythème
Testicules	0.15	Stérilité transitoire
Testicules	3.5	Stérilité définitive

**Tableau 3.5 : Seuil pour les effets déterministes**

En cas d'irradiation globale du corps humain, le pronostic vital est lié à l'importance de l'atteinte des tissus les plus radiosensibles (moelle osseuse, tube digestif). Pour des rayonnements gamma ou X, à partir de 4,5 Grays (Gy), la moitié des accidents par irradiation, en l'absence de traitement, sont mortels.

Doses reçues en une seule fois exprimées en rem	Effets sur l'organisme
De 30 à 100 rem	Modification formule sanguine ; lymphocytes sanguins diminuent, ces cellules sont très radiosensibles
De 100 à 250 rem	Troubles digestifs légers, épilations partielles, fatigabilité persistante, rougeurs de la peau
De 250 à 400 rem	Nausées, vertiges, diminution de résistance aux infections par atteinte du système de défense immunitaire
De 600 à 800 rem	Troubles sanguins et digestifs s'aggravent et dans les quinze jours qui suivent l'irradiation, le risque mortel est important
Au-delà de 800 rem	La mort est certaine
Inférieure à 25 rem	Aucun effet immédiat sur l'organisme mais des effets à long terme peuvent se produire

**Tableau 3.6 : Effets des rayonnements ionisants en fonction de la dose reçue**

**b. Effets aléatoires (ou stochastiques)**

Ces effets peuvent survenir de façon aléatoire au sein d'une population ayant subi une exposition identique et sans qu'un seuil n'ait pu être vraiment défini. Ce sont les cancers et les anomalies génétiques (mutations).

Les causes de variation de la mortalité spontanée par cancer ne sont pas toujours faciles à mettre en évidence.

Les études épidémiologiques portant sur des enfants traités par radiothérapie ont mis en évidence une augmentation de risque de cancer thyroïdien à partir d'une dose équivalente de 100 milliSieverts (mSv) (la thyroïde de l'enfant est très radiosensible). Après l'accident de Tchernobyl en 1984, la surveillance de la population des territoires les plus contaminés a mis en évidence une augmentation importante des cancers thyroïdiens chez les personnes qui avaient moins de 18 ans lors de l'accident.

La surveillance des populations d'Hiroshima confirme une augmentation de risques de cancer à partir d'une dose d'exposition estimée à 200 mSv.

**▪ Effets somatiques**

Si les lésions subsistent dans une cellule somatique, celle-ci peut devenir cancérogène ou fonctionner au ralenti. On parle d'effet somatique. Pour des doses supérieures à 1 Gray, il y a un risque d'augmentation de l'incidence de certains cancers en particulier leucémie et cancers de la thyroïde. Le problème demeure pour des doses faibles, inférieures à 0,2 Gray. Pour les cancers aucun symptôme n'est détectable entre le moment de l'irradiation et l'apparition clinique ultérieure du cancer radio induit ce qui traduit des longs temps de latence :

- de 2 à 5 ans pour les leucémies
- supérieurs à 10 ans pour la plupart des tumeurs solides

Le principal risque lié à la radioactivité est l'incorporation par l'organisme de poussières radioactives, par exemple l'iode radioactive se fixe sur les cellules de la thyroïde à la place de l'iode stable ce qui même à faible dose entraîne un risque d'avoir un cancer de la thyroïde.

**▪ Effets génétiques**

Si les lésions touchent une cellule de la reproduction (gamète) des anomalies congénitales et des maladies génétiques. Les effets génétiques sont difficiles à mettre en évidence car l'incidence naturelle des anomalies génétiques est importante. Les anomalies génétiques peuvent concerner soit les chromosomes soit un ou plusieurs gènes.

## *CHAPITRE IV*

*Prévention des risques  
liés aux opérations de  
soudage et contrôle*

## IV.1. Prévention des risques liés aux opérations de soudage [5]

### - Principes de prévention

Lors d'opérations de soudage, il convient de s'appuyer sur les principes généraux de prévention définis à l'article L. 4121-2 du code du travail qui consistent notamment à :

- Eviter les risques, si possible en les supprimant,
- Evaluer les risques,
- Combattre le risque à la source,
- Remplacer ce qui est dangereux par ce qui ne l'est pas ou qui l'est moins (principe de substitution),
- Privilégier les mesures de protection collectives sur les mesures de protection individuelle,
- Assurer la formation et l'information des travailleurs.
- Le choix des mesures de protection doit se baser sur une évaluation des risques pertinente et la plus exhaustive possible à chaque poste de travail.

### I.1.1. Prévention d'ordre technique collective

#### 1. Prévention contre le risque lié aux fumées et aux gaz

- Diminution du taux de production de fumées et de contaminants :
  - Enlever la peinture, l'huile ou tout autre recouvrement de surface
  - Eviter d'utiliser des solvants chlorés
  - Assurer un temps de séchage suffisant des solvants
- Modification du procédé afin de diminuer les fumées :
  - Diminution possible de l'intensité du courant
  - Diminution possible de la longueur de l'arc
  - Diminution possible du diamètre des électrodes et/ou modification de l'enrobage de l'électrode
  - Préférer le soudage sur courant continu négatif ou courant alternatif
  - Parmi les procédés de soudage sous gaz protecteur, préférer le TIG au MIG et le MIG au MAG
  - Dans le cadre du TIG, privilégier les baguettes de tungstène cérié ou les baguettes dopées au lanthane aux baguettes de tungstène thorié. A défaut privilégier les embouts contenant le moins de thorium (diminution du risque radioactif)

- L'addition de zinc dans le fil d'apport (MIG) élimine quasiment la présence de chrome hexavalent dans les fumées émises.

- **Captation à la source des fumées et des contaminants (Aspiration locale) [10]**

La ventilation par aspiration locale ou à la source consiste à capter les fumées et les gaz avant qu'ils n'atteignent la zone respiratoire du travailleur.

Elle consiste à capter les produits dégagés au plus près possible de leur source d'émission, avant qu'ils ne pénètrent dans la zone des voies respiratoires des travailleurs ou ne soient dispersés dans toute l'atmosphère du local de travail. Les aspirations localisées maintiennent les polluants dans une fraction de volume aussi faible que possible et les évacuent plutôt que de les diluer. Ces systèmes demandent des débits d'air beaucoup plus faibles que les installations de ventilation par dilution et donc des coûts de fonctionnement et de chauffage moins élevés.

**Composantes d'un système de captation :**

- Le capteur : dispositif permettant de capter l'air contaminé.
- Les conduits d'évacuation : tuyauterie permettant d'acheminer l'air contaminé à l'extérieur du lieu de travail.
- L'unité de filtration : dispositif permettant de filtrer l'air avant de le rejeter et de le refaire circuler.
- L'unité d'aspiration : évacuateur permettant l'aspiration de l'air contaminé à travers le réseau de tuyauterie.

- **Dilution des contaminants :**

Un système de ventilation générale sert à remplacer l'air vicié ou contaminé par de l'air frais provenant de l'extérieur. On peut également refaire circuler une partie de cet air vicié dans certaines conditions.

Il existe deux types de ventilation générale :

- **Ventilation naturelle**

La ventilation naturelle permet une circulation de l'air par l'entremise de fenêtres ouvertes ou de toute autre ouverture conçue à cet effet. Dans les établissements industriels et commerciaux, la surface des ouvertures doit être au moins égale à 2 % de la surface du plancher. Toutefois, cette technique ne permet pas de ventiler adéquatement les bâtiments en hiver; c'est pourquoi on doit la plupart du temps se tourner vers la ventilation mécanique.

- **Ventilation mécanique**

La ventilation mécanique implique l'utilisation de ventilateurs fixés aux murs ou au toit afin d'évacuer l'air vicié. On installe les ventilateurs d'extraction dans la zone la plus contaminée. L'entrée d'air devrait être localisée dans la zone la moins contaminée de façon à permettre un écoulement d'air de la section la plus saine vers la section la plus contaminée.

**Remarque :**

- De par son principe même, la ventilation générale seule n'est pas satisfaisante comme moyen de prévention, et ce pour plusieurs raisons.
- Elle induit une dispersion du polluant dans tout l'atelier avec un risque d'accumulation dans certaines zones mal ventilées.
- Elle nécessite la mise en œuvre de débits importants.
- Elle ne protège pas immédiatement l'opérateur.
- La ventilation générale n'est pas une façon de capter les contaminants. En principe, elle ne devrait servir qu'à diluer le faible pourcentage de contaminants qui n'a pas été aspiré par le système de captation à la source et à renouveler l'oxygène.
- Dans les situations où la captation à la source n'est pas possible, on doit utiliser la ventilation générale pour diluer le plus possible les contaminants. Dans ces cas, il faut avoir recours à la protection respiratoire individuelle.

## **2. Mesures de prévention contre les rayonnements [5]**

- Porter un masque (ou lunette pour l'oxygaz) équipé d'un filtre adéquat
- Porter des vêtements manches longues
- Eviter les vêtements synthétiques car ils peuvent laisser passer le rayonnement UV
- Protéger les travailleurs avoisinants à l'aide d'écrans de protection ou rideaux (hauteur > 2m, bord inférieur à 50 cm du sol)

### **3. Mesures de prévention contre les brûlures et les projections**

- Porter des gants en cuir ou en fibre de verre (avec manchon pour protéger les avants bras)
- Porter des chemises à manches longues
- Porter des chaussures de sécurité en cuir montantes à semelles isolantes
- Eviter tous vêtements synthétiques (collent à la peau sous l'effet d'une étincelle ou de gouttelettes de métal en fusion)
- Utiliser des écrans pour confiner la projection d'étincelles

### **4. Mesures de prévention contre le risque d'incendie – explosion**

- Eloigner les matériaux combustibles des postes de soudage
- Protection adaptée avec procédure du "Permis de feu"
- Disposer à proximité de moyens d'alarme et de lutte contre le feu. Extincteurs en nombre suffisant, correctement placés, signalés et contrôlés annuellement
- Stocker les bouteilles de gaz à l'ombre et à une température inférieure à 50 °C
- Stocker les bouteilles d'oxygène à l'écart des bouteilles combustible (minimum 6 m)

### **5. Mesures de prévention contre le risque d'électrification**

- Éviter tout contact avec des bobines de fil sous tension
- Retirer les électrodes lorsque l'équipement n'est pas sous tension
- Ne jamais enrrouler un câble de soudage autour du corps
- Mettre l'équipement hors tension si l'équipement n'est pas utilisé
- Porter des gants de cuir et un tablier de soudure permet de réduire le risque de décharge électrique
- Porter des vêtements secs
- Utiliser un support isolant pour déposer le porte électrode
- Laver régulièrement les vêtements de travail afin d'éviter l'accumulation d'huile ou de graisse
- Mise à la terre de la pièce à souder

### **6. Mesure de prévention contre les risques liés au bruit [4]**

- Choisir des procédés et des électrodes qui produisent moins de scories
- Recouvrir les murs et les plafonds d'un matériau absorbant

- Augmenter l'épaisseur de la table de travail ce qui réduit les vibrations et atténue la transmission de bruits d'impact
- Augmenter la distance entre la source de bruit et les travailleurs
- Installer des écrans insonorisant faits d'un matériau barrière (acier, contreplaqué, etc.) et d'un matériau absorbant (laine de fibre de verre, etc.)

### **7. Mesure de prévention contre le risque ergonomique**

- Fournir des moyens de manutention mécaniques adaptés au poids et la forme des pièces
- Fournir des appareils qui facilitent le positionnement des pièces, tels que des chevalets, une table élévatrice, une table tournante, un aiment sur un bras à rotule, etc.
- Fournir une nacelle ou une plate-forme élévatrice pour le travail en hauteur.
- Utiliser des genouillères et des et des protège-coudes
- Installer un éclairage d'appoint pour bien éclairer les zones d'assemblage afin d'éviter de fléchir le cou et le dos.
- Fournir un siège adapté si le travail le permet.
- Installer un tapis anti fatigue résistant aux étincelles et à la chaleur.

### **8. Hygiène au poste de travail [8]**

Afin d'éviter toute intoxication par les voies cutanées et digestives, une bonne hygiène corporelle est indispensable :

- Le lavage des mains et du visage s'impose avant les repas et une douche, après le travail, est conseillée.
- Ne pas manger, boire, fumer, mâcher des gommes sur les lieux de travail pour éviter, dans certaines situations, une intoxication éventuelle (exemple : lors de la manipulation avec une baguette contenant du plomb).
- Les vêtements de travail doivent être changés et régulièrement nettoyés en fonction du degré de salissure, en particulier en cas d'imprégnation de graisse, de solvants ou de peintures.
- Aucun objet inflammable ou combustible, tel que briquet, ne doit être porté à proximité de sources d'étincelles et de projection de métal incandescent.
- Identifier les pièces soudées ou les mettre hors d'atteinte, pour protéger le personnel des brûlures.

## 9. Mesures organisationnelles de prévention

- Isoler autant que possible les opérations de soudure du reste de l'aire de travail.
- Regroupement des postes de soudage dans un secteur donné où la ventilation générale est adéquate
- Soudage dans un secteur donné où la ventilation est adéquate

## 10. Formation et information des salariés

Organisation avec le médecin du travail et renouvelée périodiquement

- A la réglementation A la technique : nécessité d'un certificat ou d'un agrément de soudage précisant le procédé utilisé, les métaux, les positions de soudage, les types d'assemblages ainsi que les types de pièces
- A l'utilisation des équipements de protection collective et individuelle mis à leur disposition, ainsi qu'aux mesures de prévention à appliquer

Aux risques liés :

- à l'utilisation du courant électrique
- aux poussières et aux gaz
- à l'émission de rayonnements
- à la présence de matières inflammables ou explosives
- aux projections
- à la manutention et à la manipulation des pièces
- aux mesures d'hygiène et de sécurité

### I.1.2. Protection individuelle [8]

#### 1. La protection des mains du soudeur

La protection des mains contre l'action coupante des tôles, contre la chaleur et la conduction électrique est indispensable. Les mains du soudeur sont sans doute la partie du corps exposée peut-être la moins bien protégée faute d'équipements adaptés ou par négligence. Les gants de soudage doivent combiner une performance de la protection des mains du soudeur et le confort optimal en fonction de l'application. En cuir avec intérieur doublé, molleton anti-chaleur et une manchette pour protéger le poignet et l'avant-bras, ils doivent assurer à la fois une isolation thermique et une résistance mécanique.

Les gants de soudeur répondent ainsi à des critères particuliers en termes de forme (longueur de manchette) et de performances. Ils doivent résister au métal en fusion et à la flamme, à la

chaleur convective et de contact mais aussi à l'abrasion, à la coupure par tranchage, à la déchirure et à la perforation.

## **2. La protection des pieds du soudeur**

Les chaussures de sécurité à tige haute (recouvertes par le pantalon) ou mieux les bottes doivent comporter une semelle isolante et un embout protecteur contre les chutes de pièces métalliques. Pour réduire les risques d'introduction de métal en fusion à l'intérieur de la chaussure, éviter les lacets. Des élastiques permettent d'enlever rapidement la botte en cas de danger. Le pantalon doit se porter sur la botte ou la bottine. Des couvre-chaussures, des jambières ou des guêtres résistant au feu, fixé par des courroies autour des jambes et sur les chaussures pour empêcher toute pénétration d'étincelles peuvent être nécessaires pour protéger la partie avant des jambes, du genou à l'avant du pied.

## **3. La protection du corps du soudeur**

Les vêtements du soudeur doivent être résistants à la chaleur, aux flammes et aux étincelles. C'est pourquoi, il ne faut pas porter des vêtements en tissu synthétique ou à composante synthétique. Les tissus synthétiques peuvent s'enflammer très rapidement, fondre et causer de graves brûlures cutanées.

Les vêtements de travail (ensemble pantalon, veste) doivent être en coton ignifugé ou textiles techniques ininflammables, bien ajustés, dépourvus de plis, revers ou poches non dotées de rabats ; un tablier de cuir et une bavette pour cacher le cou constituent un équipement de protection complémentaire contre les projections et les rayonnements ultraviolets et infrarouges.

## **4. Les protecteurs individuels contre le bruit (PICB)**

Lorsque tous les moyens de protection collective contre le bruit ont été envisagés et qu'ils n'ont pu être mis en œuvre soit pour des raisons techniques, soit pour des raisons financières, on peut recourir à des protecteurs individuels. Ils sont peu coûteux, mais pas toujours bien acceptés du fait de leur inconfort.

Ils reposent tous sur le même principe : former un obstacle à l'accès des ondes sonores dans l'appareil auditif. Dans la pratique, on distingue deux catégories de matériels :

- les protecteurs munis de "coquilles" (casques, serre-tête, serre-nuque) qui constituent un obstacle au niveau du pavillon de l'oreille et qui englobent ce dernier ;
- les bouchons d'oreilles qui obstruent le conduit auditif.

## 5. protection respiratoire

Lorsque la quantité de fumées et de gaz de soudage dépasse la moitié de la norme d'exposition admissible, il est généralement recommandé de mettre en place des moyens pour réduire ces émanations à la source. Parfois la situation exige une protection respiratoire, car aucune solution de captation à la source ne peut être utilisée. La réglementation admet cette possibilité dans le cas où la technologie existante ne permet pas à l'employeur de respecter les normes d'exposition permises et dans le cas des travaux d'entretien ou de réparation hors atelier ou encore, en attendant de mettre en œuvre les mesures requises pour respecter ces normes.

### ▪ Masques filtrants

L'étanchéité des masques filtrants doit être vérifiée avant leur utilisation. Lorsqu'une personne porte un masque bien ajusté, au moment d'inhaler, l'air inspiré traverse le filtre et le matériel

filtrant retient le contaminant. S'il y a des infiltrations par les côtés, le dessus ou le dessous du masque, à travers une valve brisée ou des fissures, l'utilisateur respirera de l'air contaminé. Le respirateur doit donc être en bon état et former un lien étanche avec le visage pour s'assurer que l'air respiré passe par le filtre. Le port de la barbe réduit ainsi nettement l'efficacité du masque.

### ▪ Masques jetables

Les masques jetables peuvent convenir pour les fumées de soudage, les particules et les poussières de meulage, mais ils n'offrent généralement pas de protection contre les gaz. Certains offrent une protection contre l'ozone à l'aide d'une mince couche de charbon activé; la concentration en ozone doit cependant être sous la norme. Le masque jetable se porte facilement sous un masque de soudeur et certains modèles sont munis d'une soupape d'expiration qui facilite la respiration et améliore le confort.

**- Masques à cartouches**

Ces masques sont munis d'un préfiltre, qui protège contre les fumées et les poussières, et d'un filtre pour certains gaz. L'utilisation de ce type de masque est à proscrire lorsque le seuil olfactif est supérieur à la norme d'exposition. Certains modèles surbaissés facilitent le port de lunettes de sécurité.

**- Masques à ventilation assistée**

Ce masque motorisé est constitué d'un casque ou d'une cagoule où est acheminée une pression positive d'air. L'air est soutiré dans l'environnement du travailleur et transite d'abord par un bloc aspirant. Ces masques filtrent gaz et fumées selon le préfiltre choisi. Certains modèles de casques et de cagoules peuvent être munis d'une lentille photosensible au lieu d'un écran de protection ordinaire pour soudeur.

**- Restrictions**

Certaines restrictions s'appliquent cependant : il ne faut pas utiliser les masques filtrants dans un environnement pauvre en oxygène (moins de 19,5 % d'oxygène), lorsque les concentrations ou la toxicité présentent un danger immédiat pour la vie ou bien lorsque les concentrations de fumées ou de gaz dépassent 10 fois la norme d'exposition permise.

**- Masques à adduction d'air**

Ces masques diffèrent principalement des précédents du fait qu'ils sont directement alimentés en air respirable. L'air arrive au masque par l'entremise d'un tuyau. L'air provient habituellement d'un compresseur ou de réservoirs (appareils autonomes). Les masques à adduction d'air sont utilisés lorsqu'il y a manque d'oxygène, lorsque la toxicité du produit est élevée ou encore lorsque la concentration de contaminants excède 10 fois la norme. Il faut s'assurer que le compresseur utilisé possède différents stades de filtration afin d'assurer une qualité d'air adéquate. Selon la réglementation, il faut faire analyser l'air respirable deux fois par année.

## IV.2. Prévention des risques liés au contrôle radioactif

### IV.2.1. Base de la radioprotection [3]

L'objectif de la radioprotection est double :

- prévenir tout effet pathologique non aléatoire des rayonnements ionisants,
- limiter à un niveau considéré comme acceptable tant pour chaque individu que pour la société le détriment éventuel que pourrait occasionner l'existence d'effets aléatoires à faible dose. Pour atteindre cet objectif, la CIPR (Commission internationale de protection radiologique) a recommandé un programme de limitation des doses basé sur trois principes : justification, optimisation et limitation.

1. **La justification** de l'activité entraîne l'exposition. Il faut, pour être acceptable, que toute exposition d'un ou plusieurs individus produise un bénéfice net positif soit pour cet ou ces individus (cas de l'exposition médicale), soit pour la société (utilité du processus mis en œuvre). La justification permet donc, dans le cas du contrôle non destructif par radiations ionisantes, de tolérer, hors blockhaus, la radiologie X ou gamma à l'aide d'appareils portatifs.
2. **L'optimisation** conduit à l'élaboration avant tout tir radiographique d'un plan d'intervention. Ce dernier a pour but, lorsque l'activité qui entraîne une exposition des opérateurs est justifiée, de maintenir cette exposition à un niveau aussi bas qu'il est raisonnablement possible de l'obtenir. Ce plan de tir procure certains avantages pour la société prestataire de service qui procède aux examens radiographiques :
  - Maintien des connaissances en radioprotection de ses opérateurs,
  - Connaissance exacte du problème avant intervention,-choix optimum de la source de radiations ionisantes

### 3. La limitation des expositions individuelles

Il faut également réduire les expositions individuelles aux limites pour lesquelles le risque est jugé acceptable. Ces limites sont telles qu'elles permettent :

- D'éviter tout effet pathologique, en se situant bien au-dessous des seuils des effets déterministes,
- De maintenir le détriment éventuel provoqué par les effets aléatoires à un niveau jugé acceptable pour l'individu et la société.

### IV.2.2. Protection contre l'exposition externe

La protection contre l'exposition externe comprend le temps, la distance et les écrans de protection.

#### ▪ Le temps

La dose absorbée est proportionnelle au temps. Il suffit donc de limiter au maximum la durée de l'exposition (utilisation de films plus sensibles par exemple). Le temps est une notion très importante dans le cas d'une exposition exceptionnelle concertée (récupération d'une source radioactive) ou d'une exposition d'urgence (réduction de la zone contrôlée après incident ou accident).

#### ▪ La distance

Le débit de dose est fonction de l'inverse du carré de la distance. En pratique, la protection par la distance se traduit par :

- l'éloignement du travailleur de la source de rayonnement ou vice et versa (utilisation de gaines de télécommande et d'éjection de grande longueur),
- Utilisation de pinces de manipulation assez longues (2 mètres par exemple),
- Télémanipulateurs, robots, etc...L'exemple ci-après montre l'influence de la distance (utilisation d'une pince de manipulation) et du temps : "Sur un chantier isolé, lors de la rentrée de la source radioactive de cobalt 60 d'activité 159,1 GBq, un incident, suivi d'une fausse manœuvre laisse le porte-source sur le terrain. L'opérateur dispose du matériel suivant :

- Un détecteur de rayonnements ionisants,
- Une pince de manipulation de 2 mètres,
- Un conteneur de stockage en plomb.

Il a été démontré que la dose reçue par une source ponctuelle de rayonnement est inversement

Proportionnelle au carré de la distance :  $\frac{D_1}{D_2} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2$

Ou :

**D<sub>1</sub>** : débit de dose a une distance (d<sub>1</sub>) de la source.

**D<sub>2</sub>** : débit de dose a une distance (d<sub>2</sub>) de la source.

### ▪ Les écrans

L'interposition d'écran entre la source et le personnel permet également une limitation des doses reçues. En fonction des différents types de rayonnements et de leur énergie, il conviendra d'adapter le blindage (écran) mis en place.

Les rayonnements  $\gamma$  et X sont généralement très pénétrants ; ils nécessitent donc des épaisseurs d'écran plus élevées. Leurs énergies étant très variables (de quelques keV à plusieurs MeV), il est impossible d'établir une règle générale du type « autant de cm de plomb suffisent ». Il faudra étudier le blindage de ces sources aux cas par cas.

La formule de protection par écran :  $D_x = D_{ch} \times \text{Exp}(-\mu x)$

Ou :

$D_{ch}$  : débit de dose sur le chantier avant l'écran

$D_x$  : débit de dose sur le chantier après l'écran

$X$  : l'épaisseur d'écran : mm

$\mu$  : coefficient d'atténuation linéaire de l'écran utilisé

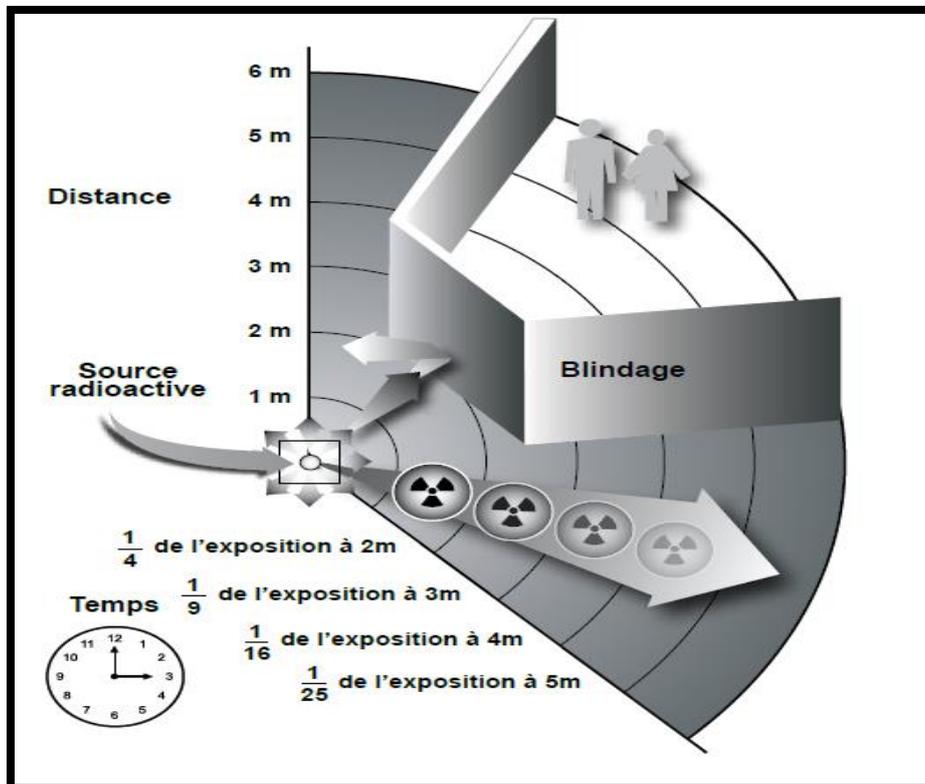


Fig 4.1 : les principes de radioprotection temps, distance et écran

### IV.2.3. Normalisation des radiations ionisantes [7]

La normalisation des rayonnements des ionisants prévoit trois catégories du personnel exposés aux rayonnements.

- **Catégorie A** : correspondent aux travailleurs directement affectés aux travaux sous rayonnement ionisants DATR. Les surveillances médicales et dosimétriques sont obligatoires.
- **Catégorie B** : correspondent aux travailleurs directement non affectés aux travaux sous rayonnement ionisants NDATR mais pour des raisons de travail et de vie peut être exposés aux rayonnements. La surveillance dosimétrique est obligatoire s'ils opèrent en zone contrôlée.
- **Catégorie C** : public (le reste de la population ne peut en aucun cas présenter en zone de contrôle.

Le paramètre normalisé d'irradiation c'est la dose maximale admissible DMA exprimé en rem ou en sievert en fonction de temps d'exposition et la catégorie des personnels exposés aux rayonnements.

- **Les limites annuelle d'exposition selon l'EURATOM du décret 20 octobre 1986 sont :**
  - **Catégorie A** : 5 rem /an
  - **Catégorie B** : 1,5 rem/an
  - **Catégorie C** : 0,5 rem/an
- **Les limites annuelles d'exposition selon l'EURATOM du décret du 05 décembre 2013 sont :** (ce sont les normes appliqués au niveau de l'ENGTP actuellement) [11]
  - **Catégorie A** : 2 rem /an
  - **Catégorie B** : 0,06 rem/an
  - **Catégorie C** : 0,02 rem/an

Il a été admet de prendre 2000h pour la durée annuelle d'exposition donc :

- **Catégorie A** : 1 mrem /h
- **Catégorie B** : 0,03 mrem/h
- **Catégorie C** : 0,01 mrem/h

#### IV.2.4. Délimitation des zones et signalisation

Le danger radioactif est lié à la présence d'une source radioactive. Le risque rayonnement étant invisible et impalpable, le repérage rigoureux des zones à risque d'exposition et des sources revêt une importance particulière.

- **Zone interdite** : espèce où existe une source de radiation ionisante dont l'EDMA (l'équivalent de dose maximum admissible) de la catégorie A est susceptible d'être dépassé.

Et signalé par des panneaux de signalisation réglementaire.

Le personnel DATR responsable de la délimitation de la zone contrôlée.

Pendant toute la durée d'exposition, il existe une surveillance qui introduit le franchissement des limites de la zone.

- **Zone contrôlée** : espèce où il existe un risque permanent de dépasser l'ADTR du personnel de catégorie B. Cette espèce représente des limites de l'entreprise ou du chantier.

A l'intérieur des zones surveillées comme la zone contrôlée, les sources utilisées doivent être signalées. L'affichage doit être remis à jour périodiquement : il rappelle notamment les risques d'exposition externe, et éventuellement interne, les consignes de travail adaptées à la nature de l'exposition et aux opérations envisagées.

- **Zone surveillée** : pour le reste de la population.

#### V.1.2.5. Responsables de la radioprotection [6]

Les responsables de la radioprotection sont désignés par les titulaires de permis; ils doivent être bien informés au sujet des principes, des méthodes et des pratiques de radioprotection liés aux activités autorisées. Ils sont chargés de réaliser les tâches suivantes :

- veiller à l'application stricte de la réglementation en vigueur relative à la manipulation, au transport et au stockage des sources radioactives.
- Gère les sources radioactives matérielles de radioprotection.
- Veille au bon fonctionnement des appareils et de leurs accessoires.
- Gère la dosimétrie et le suivi de tout le personnel DATR.
- Prend les premières mesures d'urgence en cas d'accident.
- Veille au bon état de marche et de propreté des véhicules de TRSA (Transport Sources Radioactives).

- Prépare les documents nécessaires lors de l'expédition des containers pour un éventuel rechargement de la source radioactive.
- Tenir à jour.

### ▪ Responsables des travaux sous rayonnements

Ils sont chargés de La manipulation des sources radioactives :

- Elle se fait exclusivement par le personnel DATR (Directement Affecté aux Travaux de Rayonnements).
- Il est habilité à pénétrer dans les zones contrôlées.
- Il délimite la zone contrôlée par des panneaux de signalisation conforme à la réglementation.
- Il assure l'entretien périodique de son appareil et de son accessoire avec l'assistance de l'inspecteur de radioprotection.
- Il décharge chaque jour son stylo dosimétrique.
- Il contrôle et notifie les doses reçues.

Les règles fondamentales à respecter :

- Se tenir à distance réglementaire de l'appareil
- Choisir le temps d'exposition le plus court possible
- Utilisation des collimateurs
- situer les places de signalisation
- Vérification du système de verrouillage du porte isotope
- Contrôler chaque jour avec la jauge, la queue de la source et l'embout de câble de télécommande.

## IV.2.6. Consignes de sécurité contre les risques de radiologie industrielle [6]

### ▪ Transport de la source sur chantier

Le véhicule destiné au transport journalier des appareils sur l'étendue du chantier doit présenter les aménagements suivants :

- Un véhicule carrossé avec porte fermant à clé.
- La caisse métallique contenant le projecteur est munie d'un système de fermeture, elle est solidement arrimée au plateau du véhicule.
- Le véhicule est signalé à l'extérieur sur les faces latérales et à l'arrière.

- Le matériel d'intervention à bord du véhicule est simplifié comme suit :
  - Pince de manipulation
  - Panneaux de signalisation
  - Bandes de délimitation
  - Radiamètre
- Ce véhicule est conduit sous la responsabilité d'un agent DATR.

#### ▪ **Abris de Stockage de l'appareil porte source**

Sur chantier, on a recours à une enceinte de stockage pour la durée du projet, qui est installée à l'écart des zones de travail et de la base de vie. L'enceinte doit satisfaire aux exigences suivantes :

- Bonne protection contre le vol
- Fermeture à clé
- Eclairage de nuit
- Gardiennage permanent assuré par le service de sécurité de l'entreprise.
- Signalisation réglementaire.

La clé de l'enceinte de stockage est détenue par le service sécurité (poste de garde) qui consigne sur un registre tous les renseignements nécessaires relatifs aux mouvements des appareils.

#### ▪ **Manipulations**

La manipulation des projecteurs chargés de source radioactive se fait exclusivement par un personnel qualifié (directement affecté aux travaux sous rayonnements) et conformément aux instructions du fabricant du matériel utilisé.

- **Précautions à prendre avant la manipulation :**
  - Dégager le site de travail de tout matériel ou matière encombrante.
  - Délimiter la zone contrôlée (utilisation des bandes de balisage et panneaux de signalisation).
  - Ecarter toutes personnes de la zone délimitée.
- **Précautions à prendre pendant la durée de l'exposition :**
  - l'agent DATR s'écarte le plus possible de la source, se situant du côté opposé à la gaine d'éjection.
  - La source est extraite de son projecteur uniquement pendant le temps d'exposition ; cette manœuvre se fait à distance.

- l'agent DATR s'assure que la source est bien rentrée dans le projecteur après chaque exposition. (Utilisation d'un appareil de mesure de rayonnements ionisants).

- **Manipulation sur ouvrages préfabriqués**

Le manipulateur doit agir avec la plus grande prudence. Il est conseillé dans ce cas, d'utiliser des collimateurs qui atténuent de manière non négligeable les rayons ionisants selon le cas, on choisit un collimateur qui convient pour le type de prise de cliché.

- **Transvasement**

- Le transvasement étant une opération particulière de manipulation qui consiste au transfert d'un porte-source du projecteur au container ou l'inverse.
- L'opération de transvasement est effectuée toujours dans les endroits réservés au stockage sauf en cas d'anomalie ou incident, principalement par l'inspecteur en radioprotection et le contrôleur lors des opérations d'entretien hebdomadaire des projecteurs.
- Les opérations sont réalisées en respectant les consignes de prudence édictées pour la manipulation et le mode d'emploi du fabricant pour chacun de ces containers.
- Le manipulateur qui procède au transvasement est invité à accrocher le dosifilm au poignet.

- **Anomalies et accidents possibles**

Toute anomalie ou accident même bénin peut avoir des conséquences graves. Il faut donc les traiter avec une attention toute particulière. Sur le plan sécurité, il convient de prendre toutes les mesures nécessaires pour éliminer le risque le plus rapidement possible.

Dans une enceinte, l'incident le plus probable est l'incendie. S'il s'agit d'un générateur électrique, le danger est écarté si l'alimentation est coupée.

Sur un appareil de gammagraphie (source bloquée ou laissée à l'extérieur de l'appareil) Fermer l'enceinte et interdire l'accès prévenir le responsable de radioprotection, et attendre les instructions.

Le porte-source reste dans la gaine d'éjection :

- il est coincé dans la gaine d'éjection.
- il est détaché du câble de commande.

Le système de verrouillage du projecteur est défectueux :

- la source est bloquée à l'intérieur de l'appareil ;
- la source est logée dans l'appareil non verrouillé.

- la source est à l'extérieur de l'appareil et ne peut pénétrer.
- la lamelle de sécurité est défectueuse
- la serrure ne fonctionne pas.

La porte source est détériorée :

- Allongement
- Rupture au niveau de la capsule scellée

Incendie d'une enceinte de stockage ou un véhicule dans lequel se trouvent des projecteurs ou containers chargés d'isotopes radioactifs.

### ▪ Conduite à tenir

- Déterminer le type d'accidents et apprécier le risque existant afin de ne pas s'exposer inutilement
- Transférer l'isotope dans un container
- Ne pas abandonner son poste de travail
- Vérifier et renforcer le balisage.
- Prévenir le responsable et les services de sécurité.
- Etablir un rapport écrit et informer la structure centrale
- Si le feu ravage une enceinte de stockage ou un véhicule transportant des matières radioactives, il faut savoir que les projecteurs et les containers utilisés dans l'entreprise sont conçus pour résister au feu, de même que les plaques, symboles et indications portés sur les projecteurs.
- Il convient néanmoins de contrôler régulièrement le débit d'exposition à l'aide d'un appareil de mesure, d'interdire l'approche et de signaler l'existence des matières radioactives sur les lieux au moyen de signalisation.

En cas d'intervention des autorités (gendarmerie, sûreté nationale et protection civile), il faut :

- Les informer de la présence des matières radioactives sur les lieux du sinistre.
- Informer par écrit la structure centrale, de décrire les circonstances de l'accident, les résultats de l'intervention et importance des réparations ou remplacements qui s'imposent.

### ▪ Vol ou perte

Dès que le responsable ou le manipulateur constate le vol il doit :

Avertir immédiatement le service de sécurité de l'entreprise, les autorités (la gendarmerie nationale et sûreté nationale, le centre de radioprotection et sûreté, protection civile) en fournissant les renseignements suivants :

- Forme, dimensions, couleur et photo de l'objet disparu.
- Nature de l'objet disparu (projecteur, container, porte source)
- Type et nature du radio élément.
- Activité.
- Lieu approximatif où le vol s'est produit.
- Tous renseignements de nature à informer les autorités sur le degré de danger que présente l'objet volé exemple : ne pas s'approcher ne pas toucher ne pas ouvrir.
- Tous les éléments permettant de faciliter les recherches aux autorités.
- Informer également la structure centrale et lui procurer un rapport précis sur les circonstances du vol.
- Attendre sur place les instructions

### **IV.2.7. Moyen de la radioprotection**

L'entreprise met à la disposition du personnel DATR une série de matériel de radioprotection individuelle et collective contre l'irradiation.

Il convient donc de réserver à ce matériel une place bien connue de tous ceux qui doivent s'en servir et maintenir ce matériel continuellement en parfait état.

#### **a. Matériel de protection**

- Matériel de protection individuelle
  - Film dosimètre
  - Stylo dosimètre a lecteur direct
  - Détecteur sonore
- Matériel de protection collective
  - Collimateur
  - Balise portative de signalisation (sonore et lumineuse)
  - Plaques et panneaux de signalisation
  - Bandes de délimitation

- Appareil de mesure
  - Dosimètre
- Matériels d'intervention
  - Pince de manipulation
  - Tabliers en plomb
  - Gand en plomb
  - Container de dépannage
- **Radiamètre**
  - Le radiomètre sert à mesurer le niveau de dose de rayonnement; il doit faire l'objet d'un étalonnage selon les utilisations prévues.
  - Un radiomètre étalonné est utilisé pour confirmer le positionnement adéquat des panneaux dégradés contre les rayonnements et des barrières entourant la zone des travaux de gammagraphie.
  - Le radiomètre sert à confirmer le retour de la source en position blindée dans l'appareil d'exposition, après chaque exposition.
  - Le radiamètre est utilisé pour confirmer l'intégrité du blindage de l'appareil d'exposition avant le transport ou l'utilisation de l'appareil.
  - Les radiamètres doivent être étalonnés tous les 12 mois.



**Fig 4.2 : Radiamètre**

- **Collimateurs**

Afin de réduire les limites des zones de façon appréciable, nous utilisons un collimateur. Un collimateur donne une atténuation (indiquée par le fabricant) valable uniquement pour le radioélément concerné. Le marquage doit indiquer la valeur de l'atténuation, le radioélément concerné et l'angle de collimation (60 ou 120°). Ainsi un collimateur d'atténuation 400 pour une source d'Iridium 192 et un angle de collimation de 60° doit être marqué : 192 Ir - 400 - 60°.

Son utilisation présente certains avantages :

- Limitation du niveau d'exposition au champ strictement nécessaire et par là-même réduction notable des limites de zone,
- Diminution du rayonnement diffusé, ce qui augmente la qualité de l'image obtenue sur le cliché,
- Aide éventuelle à la récupération d'une source radioactive bloquée ou décrochée dans la gaine d'éjection.

### **b. Surveillance médicale**

Le personnel exposé aux rayonnements ionisants est soumis à une surveillance médicale particulière. Elle a pour but de déceler toute contre-indication à l'affectation ou au maintien à un poste exposant aux rayonnements ionisants, et de prévenir et dépister toute affection susceptible d'être en relation avec cette exposition.

La surveillance médicale s'effectue :

- Avant l'affectation au poste de travail,
- Périodiquement : Deux fois par an pour les travailleurs de catégorie A et B,
- Occasionnellement, en cas d'exposition à des doses équivalentes supérieures aux limites d'exposition externe, interne ou associée. Ceci peut se produire lors :
  - D'exposition exceptionnelle sans autorisation spéciale : il s'agit du dépassement, en un an, du double des limites annuelles d'exposition, et au cours de la vie, du quintuple de ces limites,
  - D'exposition d'urgence : la limite supérieure d'exposition est fixée par le médecin de prévention,

La surveillance médicale consiste en :

- Un bilan de l'exposition,
- Un examen clinique orienté selon le type d'exposition :

- Exposition externe : recherche d'atteinte d'ordre hématologique ou ophtalmologique,
  - Exposition interne : recherche d'une pathologie pouvant entraîner une rétention des radionucléides ou facilement leur pénétration dans l'organisme,
- Un ou plusieurs examens complémentaires en fonction de la nature de l'exposition
- Examen hématologique : numération, formule sanguine, plaquettes,
  - Examen ophtalmologique : contrôle des cristallins,
  - Radiographie pulmonaire en cas de risque d'exposition interne,
  - Examen O.R.L en cas de risque d'exposition interne,
  - Examen dermatologique en cas de risque de contamination cutanée ou d'exposition externe,
  - Examen radio toxicologique urinaire et/ou des selles en cas d'exposition interne,
  - Anthropogammamétrie en cas d'exposition interne.

L'examen radio toxicologique urinaire permet de détecter la présence de radionucléides émetteurs dans les urines.

#### ▪ Dossier médical

Les résultats des examens cliniques et des examens complémentaires sont consignés dans un dossier médical propre à chaque agent.

Le médecin de prévention établit un dossier médical individuel pour les agents exposés.

Ce dossier doit contenir :

- Une fiche d'exposition mentionnant les dates et les résultats des contrôles des doses équivalentes,
- Les dates et les résultats du suivi dosimétrique d'exposition individuelle,
- Les dates et les résultats des examens médicaux mentionnés ci-dessus.

Les dossiers médicaux doivent être conservés pendant la durée de vie de l'agent, et, en tout cas, au moins 50 ans après la fin de la période d'exposition aux rayonnements ionisants.

*CHAPITRE V*  
*PARTIE CALCUL*

## V.1. L'activité résiduelle de la source radioactive en fonction du temps

La source radioactive des rayonnements  $\gamma$  utilisée dans le contrôle non destructif au niveau de l'ENGTP est l'iridium192

Caractéristique de la source Ir<sub>192</sub>

Forme physique : solide

Activité équivalente : 100,8 Ci

Période de demi-vie : 74 jours

- **L'activité résiduelle de la source**

L'activité résiduelle d'un élément radioactif est calculée de la manière suivante :

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

Lorsque  $t = T$  ; avec  $T$  : période de demi-vie on a :

$$A_0/2 = A_0 \cdot e^{-\lambda T}$$

$$\text{Donc : } 1/2 = e^{-\lambda T} \quad ; \quad -\ln 2 = -\lambda T$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} = 0,693/T$$

$$A_t = A_0 \cdot e^{\frac{-\ln 2}{T} \cdot t}$$

$$A_t/A_0 = e^{\frac{-\ln 2}{T} \cdot t}$$

$$\ln [A_t/A_0] = \frac{-\ln 2}{T} \cdot t = \ln 2^{-t/T}$$

$$A_t/A_0 = 2^{-t/T}$$

$$A_t = A_0/2^{t/T}$$

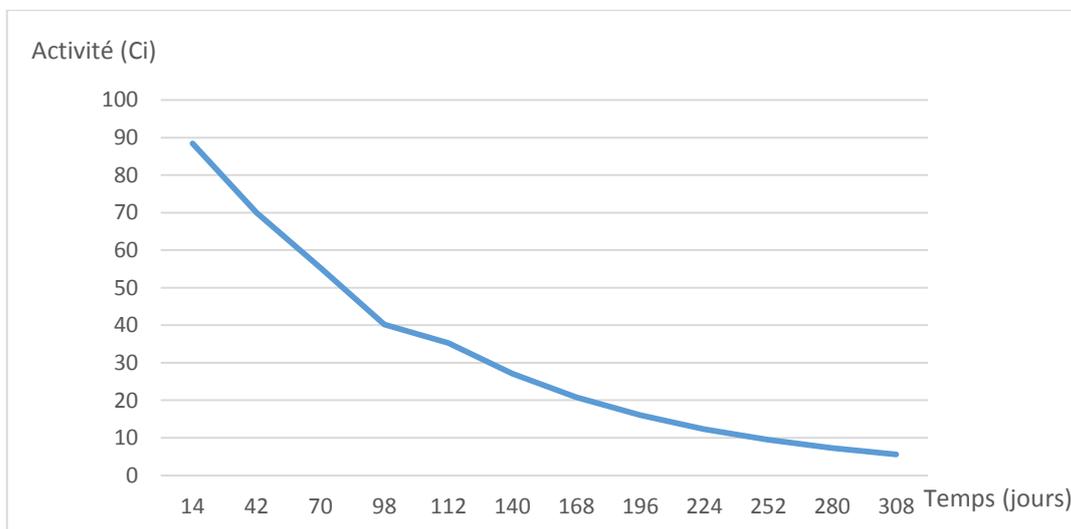
Le tableau suivant représente l'activité résiduelle de la source radioactive utilisée au niveau de l'ENGTP (Reghaia) du 27/11/2015 au 03/10/2016, j'ai calculé l'activité chaque 14 jours

Les résultats obtenus sont inscrits dans le tableau suivant :

Date	Activité(Ci)	Date	Activité(Ci)
27/11/2015	100,86	13/05/2016	20,83
11/12/2015	88,42	27/05/2016	18,25
25/12/2015	77,53	10/06/2016	16,01
08/01/2016	69,98	24/06/2016	14,04
22/01/2016	59,05	08/07/2016	12,31
05/02/2016	55,27	22/07/2016	10,8
19/02/2016	45,4	05/08/2016	9,47
04/03/2016	40,19	19/08/2016	8,3
18/03/2016	35,24	02/09/2016	7,28
01/04/2016	30,9	16/09/2016	6,38
15/04/2016	27,09	30/09/2016	5,6
29/04/2016	23,75	14/10/2016	4,91

**Tableau 5.1 : La décroissance de l'activité résiduelle en fonction du temps**

Les résultats du tableau précédant sont traduits sur le diagramme suivant :



**Fig 5.1 : Diagramme de diminution de l'activité résiduelle en fonction du temps**

## V.2. Calcul des limites de zone :

La distance (d) entre la limite de zone et la source radioactive est donnée par la formule :

$$d = \sqrt{\frac{AK}{D}}$$

**A** : La radioactivité résiduelle à la source en Ci

**K** : constante spécifique du radioélément a 01 m

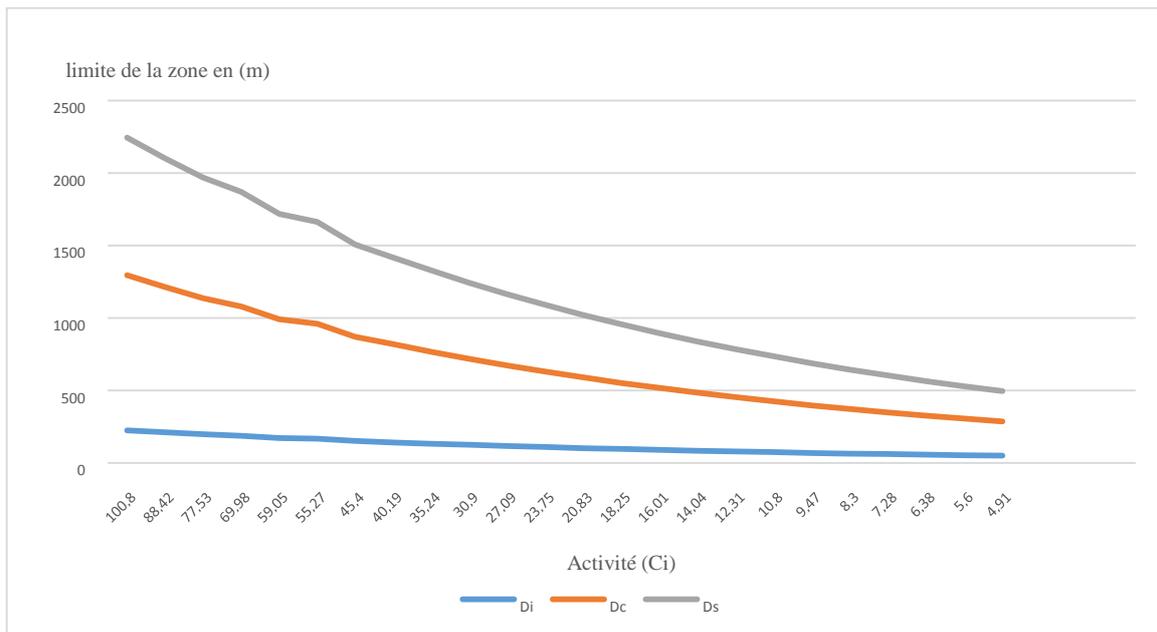
**D** : Débit de dose maximale admissible à la limite de zone,

1. Zone interdite :  $D_i = 1$  m rem/h
2. Zone contrôlée :  $D_c = 0,03$  m rem/h
3. Zone surveillée :  $D_s = 0,01$  m rem/

Débit de dose maximale admissible de la zone (m rem/h)			K (mrem/h) par Ci	A (Ci)	d <sub>i</sub> (m)	d <sub>c</sub> (m)	d <sub>s</sub> (m)
D <sub>i</sub>	D <sub>c</sub>	D <sub>s</sub>					
1	0,03	0,01	500	100,86	224,49	1296,14	2244,99
				88,42	210,26	1213,94	2102,61
				77,53	196,88	1136,73	1968,88
				69,98	187,05	1079,96	1870,56
				59,05	171,82	992,05	1718,28
				55,27	166,23	959,77	1662,37
				45,4	150,66	869,86	1506,65
				40,19	141,75	818,43	1417,56
				35,24	132,74	766,37	1327,40
				30,9	124,29	717,63	1242,98
				27,09	116,38	671,93	1163,82
				23,7	108,97	629,15	1089,72
				20,83	102,05	589,20	1020,53
				18,25	95,52	551,51	955,24
				16,01	89,47	516,55	894,70
				14,04	83,78	483,73	837,85
				12,31	78,45	452,95	784,53
				10,8	73,48	424,26	734,84
				9,47	68,81	397,28	688,11
				8,3	64,42	371,93	644,20
7,28	60,33	348,32	603,32				
6,38	56,48	326,08	564,80				
5,6	52,91	305,50	529,15				
4,91	49,54	286,06	495,47				

**Tableau 5.2 : Les limites des trois zones (interdite, contrôlée et surveillée)**

Les résultats du tableau précédant sont traduits sur le diagramme suivant :



**Fig 5.2 : Diagramme de la limite de la zone en fonction de l'activité résiduelle**

#### Remarque :

d'après le diagramme de la limite de zone en fonction de l'activité résiduelle on remarque la diminution de la limite de chaque zone en fonction de la décroissance de l'activité résiduelle de la source de plus les limites de la zone interdite est plus petites que les limites de la zone contrôlée et cette dernière est plus petites que les limites de la zone surveillée

### V.3. Calcul des limites de zone sur chantier

L'opération de contrôle au niveau de l'ENGTP est réalisée par une télécommande qui a travers laquelle le débit de dose diminue de 200 fois plus un écran en plomb d'épaisseur 6 mm pour assurer la protection des travailleurs.

### A. Calcul de débit de dose sur chantier

On a réalisé un contrôle radiographique le Mardi 16 Mars 2016 où l'activité de la source est égale à 36,24 Ci

Après l'utilisation de la télécommande le débit de dose devient :

$$D_{ch} = \frac{D_1}{200}$$

$D_{ch}$ : débit de dose sur le chantier

$D_1$ : débit de dose à une distance de 1m de la source :  $D_1 = A \cdot K$

$$D_{ch} = \frac{36,24 \times 500}{200}$$

$$D_{ch} = 90,6 \text{ m rem/h}$$

### B. Calcul de débit de dose après l'écran

On utilise la formule d'atténuation dans la matière :

$$D_x = D_{ch} \times \text{Exp}(-\mu x)$$

$D_{ch}$ : débit de dose sur le chantier avant l'écran

$D_x$ : débit de dose sur le chantier après l'écran

$x$ : l'épaisseur d'écran : 6 mm

$\mu$ : Coefficient d'atténuation linéaire pour le plomb ( $\mu = 0,173 \text{ mm}^{-1}$ )

Donc :  $D_x = 90,6 \times \text{Exp}(-6 \times 0,173)$

$$D_x = 32,08 \text{ m}$$

### C. Les limites de zones sur chantier

a. Limite de zone interdite :

$$d_i = \sqrt{\frac{D_x}{D_i}} = \sqrt{\frac{32,08}{1}}$$

$$d_i = 5,66 \text{ m}$$

**b. Limite de zone contrôlée :**

$$d_c = \sqrt{\frac{D_x}{D_c}} = \sqrt{\frac{32,02}{0,03}}$$

$$d_c = 32,67 \text{ m}$$

**c. Limite de zone surveillée :**

$$d_s = \sqrt{\frac{D_x}{D_i}} = \sqrt{\frac{32,08}{0,01}}$$

$$d_s = 56,63 \text{ m}$$

**V.5. Calcul de l'épaisseur des parois de blockhaus**

La source radioactive au niveau de l'ENGTP est stockée dans une chambre de (2m x 2m) pour déterminer l'épaisseur de ces murs on doit :

- **Calculer le débit de dose a 1m de la source  $D_1$  :**

$$D_1 = A \cdot k$$

**A** : activité de la source en (Ci)

**k** : constante spécifique de radioélément correspondant au débit de dose a 1m de la source (k=500 m rem/h par Ci)

**$D_1$**  : débit de dose a 1m de la source radioactive

$$D_1 = 100 \times 500$$

$$D_1 = 50000 \text{ m rem/h}$$

- Lors de la construction du blockhaus on a une association de plusieurs moyens de protection, on réalise à la fois une protection avec des écrans et la distance. Dans ce cas le coefficient d'atténuation total  $K_t$  devient le produit du coefficient d'atténuation du aux écrans par le coefficient d'atténuation du a la distance :

$$D_t = \frac{D_1}{K_t}$$

$D_t$  : débit d'exposition transmis en m rem/h

$D_1$  : débit d'exposition initial a 1 m

$K_t$  : coefficient de réduction total donné par la formule suivante :

$$K_t = K_e \times K_d$$

Ou :

$K_d = d^2$  ;  $d$  : la longueur du blockhaus en (m<sup>2</sup>)

$K_e$  : coefficient de réduction de l'écran donné par la formule suivante :

$$K_e = 2^n \quad \text{avec :} \quad n = \frac{x}{x_{1/2}}$$

$$\text{Donc : } K_e = 2^{\frac{x}{x_{1/2}}}$$

Ou :

$x$  : l'épaisseur totale de l'écran en (mm)

$x_{1/2}$  : l'épaisseur de la matière qui réduit le débit initial a la moitié

$$D_t = \frac{D_1}{K_e \times K_d} = \frac{D_1}{2^{\frac{x}{x_{1/2}}} \times K_d}$$

$$D_t = \frac{D_1}{2^{\frac{x}{x_{1/2}}} \times K_d}$$

$$2^{\frac{x}{x_{1/2}}} = \frac{D_1}{D_t \cdot K_d} = \frac{D_1}{D_t \cdot d^2}$$

$$\ln 2 \times \frac{x}{x_{1/2}} = \ln(D_1) - \ln(D_t) - 2 \ln d$$

$$x = \frac{x_{1/2} [\ln D_1 - \ln D_t - 2 \ln d]}{\ln 2}$$

**1. Si on utilise le plomb on a :  $x_{1/2} = 4$  mm**

$$X_{Pb} = \frac{4[\ln D1 - \ln Dt - 2 \ln d]}{\ln 2} = \frac{4[\ln (50000) - \ln(0,03) - 2 \ln 2]}{\ln 2}$$

$$x_{Pb} = 74,67 \text{ mm}$$

**2. Si on utilise le béton on a :  $x_{1/2} = 60$ mm**

$$X_{Bt} = \frac{60[\ln D1 - \ln Dt - 2 \ln d]}{\ln 2} = \frac{60[\ln (50000) - \ln(0,03) - 2 \ln 2]}{\ln 2}$$

$$x_{Bt} = 1120,11 \text{ mm}$$

**3. Si on utilise l'acier on a :  $x_{1/2} = 12$ mm**

$$X_{Ac} = \frac{12[\ln D1 - \ln Dt - 2 \ln d]}{\ln 2} = \frac{12[\ln (50000) - \ln(0,03) - 2 \ln 2]}{\ln 2}$$

$$x_{Ac} = 224 \text{ mm}$$

**Remarque :**

Au niveau de l'ENGTP les parois du blockhaus sont en béton à cause de sa disponibilité et son prix raisonnable contrairement au plomb qui coutera excessivement cher si on l'utilise.

*CONCLUSION*  
*ET*  
*RECOMMANDATIONS*

### Conclusion et recommandations

Le contrôle radiographique est utilisé pour la vérification de la qualité des cordons de soudures pour la satisfaction des exigences du client et garantir la sécurité des personnes et du bien, cependant la présence des rayonnements peut provoquer des nuisances sur la santé humaine à cause des dangers qu'ils présentent. Toute exposition à des rayonnements ionisants, aussi faible soit-elle, peut entraîner des dommages irréversibles.

Les exigences réglementaires mises en place ont précisément pour but de faire en sorte que les travaux de gammagraphie soient effectués en toute sécurité et de réduire au minimum les risques pour tous. Pour rendre le milieu de travail de la gammagraphie industrielle sûr en tout temps, il suffit de suivre les procédures de sécurité appropriées, de mettre en œuvre des principes de radioprotection efficaces et d'aider les autres à faire de même.

Durant mon à l'ENGTP j'ai constaté que l'état d'application de la radioprotection au niveau du blockhaus est très bonne ce qui confirme le professionnalisme du personnel de l'ENGTP en particulier les responsables de la radioprotection et le service hygiène et sécurité et cela à travers mon études effectuées sur :

- Le calcul des limites de zone
- Le calcul de l'épaisseur des parois du blockhaus
- La disponibilité des équipements de protection individuelle des D.A.T.R
- La surveillance et le suivie médicale des D.A.T.R

Quelques recommandations :

- Renforcer le programme de formation et de sensibilisation des travailleurs
- Améliorer les mesures de prévention d'ordre technique collective
- Renforcement du système de signalisation au niveau du blockhaus

# *Bibliographie*

***Bibliographie***

- [1] **Vertenuel, robert.** Les techniques de soudage. Bruxelles : aout 2012.
- [2] **Carolin, Godin** : Guide de prévention soudage-coupage. Québec : association paritaire la sécurité et la santé au travail
- [3] Guide de radioprotection (centre national de la recherche scientifique) septembre 2007
- [4] INRS Prévention des risques liés à l'exposition professionnelle aux rayonnements
- [5] Groupe Toxicologie d'Annecy, Santé au Travail 2009
- [6] Fiche d'évaluation des risques de l'ENGTP (REGHAIA)
- [7] **khelassi, said** cours de radioprotection 2016
- [8] **Patricia, Vega.** Ingénieure, ASFETM 30e Colloque santé-sécurité du travail 17 octobre 2014 à Saguenay
- [9] Gammagraphie industrielle et sécurité de travail. Canada : l'organisation de réglementation nucléaire, mai 2014.
- [10] Guide pratique de ventilation n° 7, INRS 2010
- [11] Directive de l'EURATOM du 05 décembre 2013