



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE  
ET POPULAIRE MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID –TLEMCCEN



# MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN PHYSIQUE

Spécialité : Physique Médical

Par :

**Ammouche Amina**

Sur le thème

---

**L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS CHEZ LE PERSONNEL  
SOIGNANT DU BLOC OPERATOIRE DU CHU TLEMCCEN ET  
RADIOPROTECTION ANNEE 2024-2025**

---

Soutenu publiquement le 30 juin 2025 à Tlemcen devant le jury composé de :

Mme Bouchaour Mama	MCA	Faculté des Sciences de Tlemcen	Présidente
Mme Meziane Zakia	Professeure	Faculté de Médecine de Tlemcen, CHU Tlemcen	Encadrante
Mr Si Mohammed Abderrahmane	Professeur	Faculté de Médecine de Tlemcen, CHU Tlemcen	Examinateur
Mme Brikci Nigassa Nawel	MCA	Faculté de Médecine de Tlemcen, CHU Tlemcen	Examinatrice

*Année Universitaire : 2024 ~ 2025*

# Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier **ALLAH**, le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui m'a accordé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail de fin d'études.

Je souhaite exprimer ma **profonde gratitude à Madame le Professeur MEZIANE Zakia**, mon encadrante, pour son accompagnement rigoureux, ses conseils précieux et sa disponibilité tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Son exigence scientifique et sa bienveillance ont été d'un grand soutien dans la réalisation de ce travail. Je remercie également **Madame le Docteur BOUCHAOUR Mama, Madame le Docteur BRIKCI NIGASSA Nawel, Madame le Professeur MEZIANE Zakia et Monsieur le Professeur SI MOHAMMED**, membres du jury, pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'évaluer ce travail. Leur expertise et leur regard critique ont grandement enrichi cette expérience académique.

Mes remerciements les plus sincères vont aussi à **Madame le Professeur BALI Radia**, cheffe du service de cardiologie interventionnelle, **Monsieur le Professeur KORTI**, chef du service de traumatologie, ainsi qu'à **Monsieur le Professeur SI MOHAMMED**, chef du service de neurochirurgie, pour m'avoir accueillie dans leurs services avec générosité et confiance.

Je n'oublie pas l'ensemble du personnel médical et paramédical des trois services, dont l'accueil chaleureux, la collaboration active et l'engagement professionnel ont grandement facilité mon intégration et enrichi mes connaissances, tant sur le plan théorique que pratique.

Je tiens également à remercier toute **l'équipe pédagogique** de mon établissement pour la qualité de l'enseignement dispensé durant mon cursus, qui a constitué une base solide pour la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je souhaite exprimer ma **reconnaissance infinie à mes parents**, pour leur amour inconditionnel, leurs encouragements constants et leurs sacrifices silencieux. Merci également **à mon frère et à mes sœurs** pour leur soutien moral indéfectible tout au long de cette aventure.

## Dédicace

**Louange à Dieu Tout-Puissant**, qui m'a donné la force, la santé et la patience pour mener à bien ce travail et voir se réaliser ce jour tant espéré.

À **mes parents bien-aimés, Abdelfetah et Nawel**, pour leur amour inconditionnel, leur patience, leurs sacrifices inestimables et leur soutien indéfectible. Vous êtes la source de ma force et les architectes silencieux de chaque réussite. Aucune parole ne pourra jamais rendre justice à tout ce que je vous dois... Que cette modeste œuvre vous rende hommage du plus profond de mon cœur.

À **mes chers frères et sœurs**

**Dr. Meriem**, ton parcours m'inspire **Asma**, ta discrétion est un refuge et ton soutien, un repère **Mohammed**, ta sérénité est une force et **ma petite Imane**, ton innocence et ta lumière illuminent mes jours. Je vous aime profondément. Que ce travail vous soit dédié avec tendresse et fierté.

À **ma famille élargie**, oncles, tantes, cousins et cousines, qui, par un mot, un geste ou une présence, ont contribué à m'encourager dans ce parcours.

À **mes amies précieuses, mes sœurs de cœur Sabrina**, ma compagne de parcours et d'épreuves **Soumia**, fidèle camarade de nos jours d'université merci pour votre présence rassurante, vos mots et tout ce que nous avons partagé ensemble.

À **tous ceux qui, de près ou de loin**, ont semé une parole de soutien, un regard d'encouragement ou un souffle d'espoir dans mon cheminement. Que ce travail soit le témoignage de ma reconnaissance.

## Table des matières

<b>Remerciements .....</b>	<b>I</b>
<b>Dédicace .....</b>	<b>II</b>
<b>Table des matières .....</b>	<b>III</b>
<b>Liste d’Abréviations.....</b>	<b>VII</b>
<b>Liste des Figures.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Liste des Tableaux .....</b>	<b>X</b>
<b>Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impacts sur la santé .....</b>	<b>4</b>
<b>Section 1 : Les rayonnements ionisants en milieu médical .....</b>	<b>5</b>
1. Rayonnements non ionisants :.....	5
1.1. Définition :.....	5
1.2. Classification :.....	5
2. Rayonnements ionisants :.....	6
2.1. Définition :.....	6
2.2. Classification :.....	6
2.2.1. Rayonnements électromagnétiques :.....	8
2.2.2. Rayons X :.....	8
2.2.3. Rayons gamma ( $\gamma$ ) :.....	9
2.2.4. Rayonnements particuliers : .....	10
2.2.4.1. Particules alpha ( $\alpha$ ) :.....	10
2.2.4.2. Particules bêta ( $\beta$ ) :.....	11
2.2.5. Neutrons :.....	11
2.3. Classification des sources de rayonnements ionisants : .....	11
2.3.1. Rayonnements naturels : .....	12
2.3.2. Les rayonnements artificiels :.....	13
3. Sources d’exposition dans le domaine médical : .....	13
3.1. Imagerie médicale :.....	13
3.1.1. Radiologie conventionnelle :.....	13
3.1.2. Tomodensitométrie (Scanner) :.....	14
3.1.3. Amplificateur de brillance : .....	15
3.1.4. La fluoroscopie : .....	17
3.2. Radiothérapie : .....	17
3.2.1. La radiothérapie interne : .....	17
3.2.1.1. La curiethérapie :.....	17
3.2.1.2. La radiothérapie métabolique :.....	18

## Table des matières

3.2.2. La radiothérapie externe : .....	18
4. Mécanismes d'interaction avec la matière vivante : .....	18
4.1. Ionisation et excitation des molécules biologiques : .....	18
4.2. Formation de radicaux libres et dommages à l'ADN : .....	20
<b>Section 2 : Effets biologiques et sanitaires des rayonnements ionisants.....</b>	<b>21</b>
1. Effets déterministes (effets à seuil de dose): (d'après Cordoliani, 2002) .....	21
1.1. Syndrome d'irradiation aiguë : .....	22
1.1.1. Effets cliniques selon la dose reçue : .....	22
1.1.2. Effets sur la peau : .....	23
1.1.3. Effets sur les gonades : .....	23
1.1.4. Effets stochastiques : .....	23
1.1.5. Données épidémiologiques et exemples concrets : .....	24
1.1.6. Effets sur l'embryon et le fœtus : .....	25
1.2. Facteurs influençant la radiosensibilité : .....	25
1.2.1. Type de tissus exposés : .....	25
1.2.2. Dose absorbée et durée d'exposition : .....	26
1.2.2.1. Dose absorbée : .....	26
1.2.2.2. Durée d'exposition : .....	28
<b>Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant .....</b>	<b>30</b>
<b>Section 3 : Principes fondamentaux de la radioprotection .....</b>	<b>31</b>
1. Réglementation et normes internationales : .....	31
1.1. Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR): .....	31
1.2. Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) : .....	32
1.3. Directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) : .....	32
2. Réglementation nationale et recommandations : .....	33
2.1. Limites de doses annuelles pour les travailleurs exposés : .....	33
2.2. Rôle de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) : .....	34
3. Principe fondamental de radioprotection : .....	35
3.1. Principe de Justification : .....	35
3.2. Principe d'Optimisation : .....	35
3.3. Principe de Limitation des Doses : .....	36
<b>Section 4 : Analyse de l'exposition des travailleurs en milieu hospitalier .....</b>	<b>36</b>
4. Professions à risque : .....	36
4.1. Radiologues et manipulateurs radio : .....	36
4.2. Chirurgiens et anesthésistes en radiologie interventionnelle : .....	37
4.2.1. Coopération dans un environnement exposant : .....	37
4.2.2. Exposition prolongée et limites de protection : .....	37
4.2.3. Caractéristiques techniques contraignantes : .....	38
4.2.4. Partage des responsabilités et exigences de sécurité : .....	38
4.2.5. Nécessité d'une coordination rigoureuse : .....	38
4.3. Techniciens en radiothérapie : .....	39
5. Évaluation de l'exposition : .....	40

## Table des matières

5.1.	Dosimétrie passive :.....	40
5.2.	Dosimétrie active (opérationnelle) :.....	41
5.3.	Analyse des résultats dosimétriques dans les blocs opératoires :.....	42
6.	Situations à risque élevé au bloc opératoire :.....	42
6.1.	Bloc opératoire avec fluoroscopie : .....	42
6.2.	Gestion des incidents et des accidents : .....	43
<b>Section 5 : Moyens de protection et bonnes pratiques .....</b>		<b>44</b>
7.	Moyens techniques de protection : .....	44
7.1.	Blindages en plomb et vitres de protection : .....	44
7.2.	Optimisation des paramètres d'imagerie médicale :.....	44
7.3.	Innovations en équipements de radioprotection : .....	45
8.	Moyens organisationnels : .....	45
8.1.	Organisation du travail et rotation du personnel : .....	45
8.2.	Aménagement des espaces de travail pour limiter l'exposition :.....	46
9.	Moyens individuels : .....	47
9.1.	Port de dosimètres personnels : .....	47
9.1.1.	Dosimétrie passive (à lecture différée) : .....	47
9.1.2.	Dosimétrie active (temps réel) : .....	47
9.1.3.	Cas particuliers de surveillance : .....	48
9.1.4.	Répartition des dosimètres selon les catégories professionnelles :.....	48
9.2.	Utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) : .....	48
9.3.	Formation et sensibilisation du personnel : .....	49
10.	Le rôle de la physicienne médicale: .....	50
10.1.	La surveillance de l'exposition aux rayonnements : .....	50
10.2.	La sensibilisation et la formation du personnel :.....	50
10.3.	Le suivi dosimétrique des travailleurs exposés :.....	51
<b>Chapitre 3 : Partie Pratique .....</b>		<b>53</b>
1.	Cadre et Méthodologie de l'Étude : .....	54
1.1.	Problématique : .....	54
2.	Objectifs de l'Étude : .....	56
2.1.	Objectif principal :.....	56
2.2.	Objectifs secondaires :.....	56
3.	Type d'Étude : .....	57
4.	Population Étudiée : .....	57
5.	Outils de Collecte : Le Questionnaire Standardisé .....	58
6.	Méthodes d'analyse des données :.....	59
6.1.	Exploitation des observations sur le terrain :.....	59
7.	Facteurs d'inclusion :.....	59
8.	Facteurs d'exclusion : .....	60
9.	Analyse des données par le logiciel :.....	60
<b>Résultat d'Etude.....</b>		<b>61</b>
10.	Analyse descriptive de la population :.....	62
10.1.	Répartition selon le sexe : .....	62

## Table des matières

---

10.1.1.	Service de cardiologie interventionnelle : .....	62
10.1.2.	Service de traumatologie : .....	63
10.2.	Répartition selon la catégorie professionnelle : .....	64
10.3.	Répartition selon l'ancienneté dans le domaine médical : .....	64
10.4.	Temps moyen d'exposition aux rayonnements par jour : .....	65
11.	Connaissances en radioprotection : .....	66
11.1.	Formation spécifique reçue : .....	66
11.2.	Connaissance des règles de radioprotection : .....	67
11.3.	Compréhension du fonctionnement de l'amplificateur : .....	68
11.4.	Connaissance des risques liés à l'exposition : .....	69
12.	Pratiques et mesures de protection : .....	70
12.1.	Utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) : .....	70
12.2.	Connaissance des protections collectives : .....	71
12.3.	Port du dosimètre : .....	72
12.4.	Avis sur la suffisance des mesures en place : .....	73
13.	Réglementation et classification : .....	74
13.1.	Connaissance du zonage : .....	74
13.2.	Compréhension de la différence entre les deux catégories : .....	74
14.	Formation continue et suggestions d'amélioration : .....	76
14.1.	Participation à une formation continue : .....	76
14.2.	Demande de formation complémentaire : .....	77
15.	Implication du radiophysicien médical dans les blocs opératoires : .....	78
<b>Discussion.....</b>		<b>79</b>
<b>Conclusion .....</b>		<b>84</b>
<b>Recommandations et perspectives d'amélioration .....</b>		<b>86</b>
1.	Généraliser la formation en radioprotection : .....	87
2.	Renforcer l'utilisation et la disponibilité des équipements de protection individuelle : .....	87
3.	Optimiser le suivi dosimétrique : .....	88
4.	Impliquer activement le radiophysicien médical .....	88
5.	Instaurer une culture de sécurité radiologique institutionnelle .....	88
6.	Conclusion des recommandations : .....	89
<b>Références Bibliographiques .....</b>		<b>90</b>
<b>Annexes .....</b>		<b>96</b>

# Liste d'Abréviations

**ADN** : Acide Désoxyribonucléique

**AIEA** : Agence Internationale de l'Énergie Atomique

**ASN** : Autorité de Sûreté Nucléaire

**C-arm** : Arceau en C (système utilisé pour la fluoroscopie)

**CHU** : Centre Hospitalo-Universitaire

**CIPR / ICRP** : Commission Internationale de Protection Radiologique / International Commission on Radiological Protection

**CT-scan** : Computed Tomography Scan (Tomodensitométrie)

**EPI** : Équipement de Protection Individuelle

**Gy** : Gray (unité de dose absorbée)

**IRSN** : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire

**MERM** : Manipulateur en Électroradiologie Médicale

**mSv** : Millisievert (unité de dose équivalente)

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**PCR** : Personne Compétente en Radioprotection

**RCMI / IMRT** : Radiothérapie conformationnelle avec modulation d'intensité

**RT** : Radiothérapie

**TDM** : Tomodensitométrie (scanner)

**UNSCEAR**: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation

# Liste des Figures

Figure 1 : Phénomène d'ionisation.....	19
Figure 2 : Phénomène d'excitation.....	19
Figure 3 : Les Moyens de Protection Individuelle .....	49
Figure 4 : Répartition de la population selon le sexe dans le service de cardiologie interventionnelle.....	62
Figure 5 : Répartition de la population selon le sexe dans le service de traumatologie .....	63
Figure 6 : Répartition de la population selon le sexe dans le service de neurochirurgie .....	63
Figure 7 : Répartition des professionnels de santé par fonction et par service.....	64
Figure 8 : Répartition des professionnels selon l'ancienneté dans le domaine médical .....	64
Figure 9 : Répartition du personnel selon le temps moyen d'exposition quotidien aux rayonnements ionisants.....	65
Figure 10 : Répartition des répondants selon la réception d'une formation en radioprotection – Service de cardiologie interventionnelle .....	66
Figure 11 : Connaissance des règles de radioprotection parmi les professionnels de santé (n = 32).....	67
Figure 12 : Connaissance du fonctionnement de l'amplificateur de brillance parmi les professionnels interrogés. ....	68
Figure 13 : Connaissance des risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants par les professionnels interrogés. ....	69
Figure 14 : Répartition des réponses concernant l'utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) par service .....	70
Figure 15 : Répartition du personnel selon la connaissance des protections collectives mises en place au bloc opératoire .....	71
Figure 16 : Répartition du port régulier du dosimètre parmi l'ensemble du personnel interrogé. ....	72
Figure 17 : Répartition des avis du personnel sur la suffisance des mesures de radioprotection selon les services. ....	73
Figure 18 : Répartition des réponses concernant la connaissance des règles de zonage en radioprotection selon les services.....	74
Figure 19 : Répartition des réponses concernant la classification en catégorie A ou B en radioprotection. ....	75

## Liste des Figures

---

Figure 20 : Répartition des professionnels ayant participé à une formation continue en radioprotection selon les services interrogés. ....	76
Figure 21 : Avis des professionnels sur l'utilité d'une formation complémentaire en radioprotection et sur l'utilisation de l'amplificateur de brillance.....	77
Figure 22 : Répartition des réponses concernant la présence du radiophysicien médical dans les services étudiés.....	78

## **Liste des Tableaux**

Tableau 1 : Caractéristiques des Principales Radiations.....7

# **Introduction**

## Introduction

---

L'utilisation des rayonnements ionisants constitue une avancée majeure dans le domaine de la médecine moderne, tant pour le diagnostic que pour les actes thérapeutiques. Leur contribution dans des spécialités telles que la cardiologie interventionnelle, la traumatologie ou la neurochirurgie est indiscutable, notamment grâce à l'imagerie en temps réel qu'ils permettent, offrant précision et efficacité dans la prise en charge des patients. Toutefois, cette technologie n'est pas sans risque, en particulier pour les professionnels de santé exposés quotidiennement dans les blocs opératoires à ces rayonnements.

L'exposition chronique, souvent invisible mais bien réelle, peut entraîner à long terme des effets biologiques délétères, notamment des lésions tissulaires, des cataractes radio-induites, voire des cancers. Selon la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR), il est essentiel d'appliquer rigoureusement les trois grands principes de radioprotection : la justification des pratiques, l'optimisation des doses reçues (principe ALARA : As Low As Reasonably Achievable) et la limitation des expositions professionnelles (ICRP, 2007). Ces principes visent à réduire au strict minimum l'impact sanitaire des rayonnements, tout en maintenant la qualité des soins.

Dans les services à forte technicité et à forte exposition, comme les blocs opératoires de cardiologie interventionnelle, de traumatologie orthopédique et de neurochirurgie, la question de la radioprotection du personnel prend une dimension critique. Bien que des équipements de protection soient disponibles (tabliers plombés, colliers thyroïdiens, lunettes plombées), leur usage reste hétérogène selon les services et souvent insuffisant. De plus, la sensibilisation aux risques et la formation spécifique en radioprotection ne sont pas systématiquement assurées dans tous les établissements de santé, créant des écarts de pratiques préoccupants (UNSCEAR, 2020).

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent travail. Il vise à évaluer les connaissances, les attitudes et les pratiques du personnel soignant en matière de radioprotection dans trois services hospitaliers exposés : la cardiologie interventionnelle, la traumatologie et la neurochirurgie. À travers une enquête transversale menée via un questionnaire structuré, nous avons cherché à mesurer le niveau de sensibilisation, l'application des mesures de protection individuelle, le port du dosimètre, ainsi que la perception des risques liés aux rayonnements ionisants.

## **Introduction**

---

L'étude repose sur une approche comparative, afin de mettre en évidence les similitudes et les disparités entre services. Les résultats obtenus montrent que si certains personnels, notamment en cardiologie interventionnelle, bénéficient d'un encadrement plus strict et d'un meilleur accès à la formation, d'autres, comme en neurochirurgie ou en traumatologie, demeurent moins encadrés et moins sensibilisés, malgré une exposition significative.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier présente les notions fondamentales relatives aux rayonnements ionisants, leurs effets biologiques ainsi que les bases théoriques de la radioprotection. Le second est consacré à la présentation des services étudiés et à la méthodologie de l'enquête, en détaillant les outils utilisés et la population ciblée. Enfin, le troisième chapitre expose et analyse les résultats du questionnaire, avant de proposer, dans la discussion, des recommandations concrètes pour renforcer la culture de radioprotection en milieu hospitalier.

À travers ce travail, notre objectif est de contribuer à une meilleure compréhension des enjeux de radioprotection dans les blocs opératoires, et de promouvoir une culture de sécurité durable au service du personnel soignant.

**Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et  
leurs impacts sur la santé**

### Section 1 : Les rayonnements Ionisants en milieu médical

#### 1. Rayonnements non ionisants :

##### 1.1. Définition :

Les rayonnements non ionisants correspondent à des formes d'énergie électromagnétique dont le niveau énergétique est insuffisant pour arracher un électron d'un atome ou d'une molécule, et donc pour provoquer une ionisation. Contrairement aux rayonnements ionisants, ils ne créent pas d'ions dans la matière, mais peuvent entraîner des effets biologiques par excitation moléculaire, élévation thermique des tissus ou réactions photobiologiques, en fonction de leur fréquence.

Ces rayonnements englobent une vaste portion du spectre électromagnétique, s'étendant des champs magnétiques statiques aux ultraviolets de faible énergie (UV-A et UV-B), en passant par les ondes radio, les micro-ondes, les infrarouges ainsi que la lumière visible.<sup>1</sup> [1]

##### 1.2. Classification :

Les rayonnements non ionisants couvrent une large portion du spectre électromagnétique, classée en fonction de la fréquence et de la longueur d'onde. Ils comprennent plusieurs types de rayonnements utilisés dans la vie quotidienne et dans le domaine médical, chacun ayant des caractéristiques et des applications spécifiques.

- Les **champs statiques (0 Hz)** sont employés notamment dans l'IRM.
- Les **champs de très basse fréquence (1–300 Hz)** proviennent des réseaux électriques.
- Les **ondes radio (3 kHz–300 MHz)** sont utilisées pour la radio, la TV et les télécommunications.
- Les **micro-ondes (300 MHz–300 GHz)** servent au Wi-Fi, aux fours à micro-ondes et à certaines applications médicales.
- Les **infrarouges (300 GHz–400 THz)** produisent de la chaleur et sont présents dans les télécommandes ou les systèmes de chauffage.

---

<sup>1</sup> **Organisation mondiale de la santé (OMS)**, *Electromagnetic Fields and Public Health*, Fiche d'information n° 304. Genève : OMS ; 2005.

Disponible sur : <https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index1.html>

# Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé

---

- La **lumière visible (400–790 THz)** est perçue par l'œil humain et utilisée dans les dispositifs médicaux comme les lasers.
- Les **ultraviolets (au-delà de 790 THz)**, notamment UV-A et UV-B, sont impliqués dans le bronzage, mais peuvent aussi provoquer des effets nocifs sur la peau et les yeux.<sup>2</sup> [2] [3]

## 2. Rayonnements ionisants :

### 2.1. Définition :

Les radiations sont le résultat d'une libération d'énergie qui peut se présenter sous la forme d'ondes électromagnétiques ou de particules. On quantifie cette énergie en joules (J) ou électron-volts (eV).

En médecine, les rayonnements sont générés soit par le freinage d'électrons accélérés. C'est ce qui se passe dans les tubes à rayons X ou les accélérateurs, soit par des sources radioactives naturelles ou créées, connues sous le nom de radioéléments (Arnaud, 2001).

### 2.2. Classification :

On distingue plusieurs catégories de radiations, soit en fonction de leur nature électromagnétique ou corpusculaire, soit par leur capacité à ioniser les molécules d'air ou soit à leur nature électrique, chargée ou pas, soit à leur capacité de créer des ionisations dans les matières en mobilisant leur propre énergie (radiations directement ionisantes) ou grâce à des particules chargées déplacées dans le milieu exposé (radiations indirectement ionisantes) (Nias, 1998 ; Benson, 1991). (Voir Tableau 1).

---

<sup>2</sup> **International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP).** *Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)*. Health Physics. 2020 ;118(5):483-524.  
PDF disponible sur : <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgdl2020.pdf>

**Organisation mondiale de la santé (OMS).** *Champs électromagnétiques et santé publique – exposition aux champs RF* (Fiche d'information n° 226). Genève : OMS ; 2014.  
Disponible sur : <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/non-ionizing/emf>

## Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé

Tableau 1 : Caractéristiques des Principales Radiations

Type de radiation	Origine	Nature	Charge	Mode d'ionisation	Pouvoir de pénétration
<b>Électron</b> ( $e^-$ )	Accélérateur ou source radioactive	Particule	Oui	Directe	Faible à modérée selon l'énergie
<b>Particule <math>\alpha</math></b>	Émission radioactive	Particule	Oui	Directe	Faible pénétration Parcourt quelques centimètres dans l'aire Arrêté par la couche cornée de la peau ou une feuille de papier
<b>Particule <math>\beta</math></b> ( $\beta^+ / \beta^-$ )	Émission radioactive	Particule	Oui	Directe	Pénétration limitée Parcourt quelques mètres dans l'aire Arrêté par une feuille d'Aluminium et ne pénètre pas dans l'organisme
<b>Proton</b>	Accélérateur de particules	Particule	Oui	Directe	Moyenne à élevée – utilisée en protonthérapie
<b>Neutron</b> ( $n^0$ )	Source radioactive	Particule	Non (neutre)	Indirecte	Pénétration importante Parcourt quelques centaines de mètres dans l'aire Traverse les vêtements et le corps Arrêté par des écrans de paraffine
<b>Rayons X</b>	Tube à rayons X / accélérateur	Onde électromagnétique	Non	Indirecte	Pénétration importante Parcourt quelques centaines de mètres dans l'aire Traverse les

## Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé

					vêtements et corps Arrêté par des écrans protecteurs
<b>Rayons <math>\gamma</math> (gamma)</b>	Émission radioactive	Onde électromagnétique	Non	Indirecte	Pénétration importante Parcourt quelques centaines de mètres dans l'aire Traverse le corps et vêtements Arrêté ou atténué par des écrans protecteurs de béton, d'acier ou de plomb

### 2.2.1. Rayonnements électromagnétiques :

Les rayonnements électromagnétiques proviennent systématiquement de la matière, que ce soit par les électrons ou les noyaux atomiques. Ils assurent le transfert d'énergie à travers l'espace. Ce type de rayonnement correspond à une oscillation des champs électrique et magnétique. Il se manifeste sous forme d'un flux de photons, des particules sans masse, couplé à une onde, formant ce qu'on appelle une onde électromagnétique.

Une autre manière de le définir consiste à le décrire comme la propagation simultanée, en ligne droite, d'un champ magnétique ( $B^{\rightarrow}$ ) et d'un champ électrique ( $E^{\rightarrow}$ ), perpendiculaires l'un à l'autre, émis par une ou plusieurs charges en mouvement alternatif (Daubie, 2016).<sup>3</sup> [4]

### 2.2.2. Rayons X :

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques invisibles, situées entre les ultraviolets et les rayons gamma dans le spectre électromagnétique. Ils se caractérisent par une très faible longueur d'onde, généralement comprise entre 0,01 et 10 nanomètres, ce qui leur confère une énergie élevée, allant d'environ 100 électronvolts (eV) à plusieurs centaines de kiloelectronvolts (keV).

<sup>3</sup>Meziane .Z, Benrezkallah, C., & Bentahar, D. (2021). *Les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants chez les personnels soignants du CHU Tlemcen (Unité de Radiothérapie du CLCC) et la radioprotection* [Mémoire de fin d'études, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, Faculté de Médecine].

## Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé

---

Ils sont générés de deux façons principales : soit lorsqu'un électron rapide est soudainement ralenti en percutant une cible métallique, un phénomène connu sous le nom de bremsstrahlung (rayonnement de freinage), soit lors de la réorganisation des électrons dans un atome, lorsque l'un d'eux est expulsé d'une couche interne et remplacé par un électron d'une couche supérieure, produisant ainsi une émission caractéristique.

➤ **Principales applications :**

- **En médecine** : utilisés pour l'imagerie médicale (radiographies, scanners) et pour les traitements par radiothérapie.
- **Dans l'industrie** : servent à inspecter les matériaux sans les endommager (contrôle non destructif).
- **En sécurité** : permettent de scanner les bagages dans les aéroports ou autres lieux sensibles.
- **En recherche scientifique** : utiles en cristallographie, physique nucléaire et astrophysique.<sup>4</sup> [5]

### 2.2.3. Rayons gamma ( $\gamma$ ) :

Il est évident que certains noyaux instables et radioactifs émettent des rayons gamma, lors d'un phénomène connu sous le nom de désintégration radioactive. À la différence des rayons X, ces derniers ne sont pas produits par les interactions électroniques, mais plutôt par une réorganisation interne du noyau. Ces dernières possèdent des longueurs d'onde encore plus réduites (inférieures à 0,01 nanomètres) et délivrent une énergie supérieure.

La capacité de pénétration est particulièrement significative en raison de sa faculté à traverser plusieurs centimètres de plomb ou de béton. Ainsi, ils sont déployés dans des régions exigeantes :

- Dans le domaine de la médecine, pour le traitement du cancer par cobalthérapie ou pour la scintigraphie, qui est une méthode d'imagerie fonctionnelle.
- Dans le domaine industriel, pour la stérilisation d'équipements médicaux ou l'inspection de structures métalliques (gammagraphie).

---

<sup>4</sup> Wikipédia. (n.d.). *Rayon X*. Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon\\_X](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_X)

# **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

Dans le domaine de la recherche scientifique, en particulier pour le suivi isotopique. (Wikipédia, 2024).<sup>5</sup> [6]

## **2.2.4. Rayonnements particuliers :**

Les rayonnements particules font partie des rayonnements ionisants. À la différence des rayonnements électromagnétiques comme les rayons X ou gamma qui n'ont pas de charge électrique, les particules de ces autres rayonnements ont de la charge ou de la masse. Ces particules donnent de l'énergie à la matière, ce qui entraîne des ionisations ou des excitations à l'échelle atomique ou moléculaire. Leur énergie totale peut être exprimée selon la célèbre relation d'Einstein :

$$E = mc^2$$

Où :

- $m$  représente la masse de la particule,
- $c$  est la vitesse de la lumière dans le vide ( $c=3\times 10^8$  m/s)

Cette énergie totale peut être décomposée en deux composantes :

$$E = mc^2 = T + m_0c^2$$

Où  $T$  représente l'énergie cinétique de la particule, et  $m_0c^2$  correspond à l'énergie équivalente à sa masse au repos.

Ces rayonnements peuvent provenir de sources naturelles (émis par des matériaux radioactifs dans la croûte terrestre) ou artificielles (d'une centrale nucléaire ou d'un accélérateur de particules).<sup>6</sup> [7]

### **2.2.4.1. Particules alpha ( $\alpha$ ) :**

Les particules alphas, c'est de l'hélium avec deux protons et deux neutrons. Ces particules sont créées quand des éléments lourds comme l'uranium-238, le thorium-232 ou le radium-226

---

<sup>5</sup>Wikipédia. (2024). *Rayonnement ionisant*. Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement\\_ionisant](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_ionisant)

<sup>6</sup> Aissani, M., & Yahouni, I. (2011). *Dosimétrie des photons de haute énergie* (Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie). Consulté à l'adresse file:///C:/Users/hp/Downloads/Dosimetrie-des-photons-de-haute-energie.pdf

## **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

se désintègrent. On retrouve ces émetteurs alpha en très petites quantités dans des dispositifs comme les détecteurs de fumée. En raison de leur faible pouvoir de pénétration, les particules alpha ne traversent pas facilement les matériaux : une simple feuille de papier, la peau humaine ou quelques centimètres d'air suffisent à les arrêter. Toutefois, elles peuvent devenir dangereuses si les substances qui les émettent sont inhalées ou ingérées. En revanche, une exposition externe à ce type de rayonnement est généralement sans risque. (US NRC, 2020).

### **2.2.4.2. Particules bêta ( $\beta$ ) :**

Les particules bêta peuvent être des électrons ( $\beta^-$ ) ou des positrons ( $\beta^+$ ), qui sont libérés lors de la décomposition radioactive de certains noyaux instables. En raison de leur masse inférieure à celle des particules alpha, elles possèdent une capacité de pénétration plus élevée, ce qui leur permet de parcourir plusieurs mètres dans l'air et traverser les couches superficielles de la peau. Toutefois, elles restent relativement faciles à bloquer grâce à des matériaux comme une fine plaque de métal, du plastique ou même du bois. Cependant, leur capacité à ioniser est moins importante que celle des particules alpha (US NRC, 2020).

### **2.2.5. Neutrons :**

Les neutrons sont des particules nucléaires rapides, remarquables par leur grande capacité de pénétration à travers divers matériaux. Parmi les cinq formes de rayonnements ionisants, ils sont les seuls capables de rendre d'autres objets radioactifs, un phénomène connu sous le nom d'activation neutronique. Ce processus permet de générer de nombreuses sources radioactives utilisées dans les domaines médical, universitaire et industriel, notamment dans l'exploration pétrolière.

En raison de leur pouvoir de pénétration élevé, les neutrons peuvent parcourir de longues distances dans l'air. Leur arrêt nécessite des matériaux épais riches en hydrogène, comme l'eau ou le béton. Heureusement, ce type de rayonnement se manifeste surtout à l'intérieur des réacteurs nucléaires, où une épaisse couche d'eau assure une protection efficace.<sup>7</sup>(US NRC, 2020) [8]

## **2.3. Classification des sources de rayonnements ionisants :**

---

<sup>7</sup> • US Nuclear Regulatory Commission. (2020). *Radiation Basics*. NRC. <https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/radiation-basics.html>

### **2.3.1. Rayonnements naturels :**

Selon Giancoli (2004), environ 58 % de la dose totale de rayonnement reçue par un individu provient de sources naturelles. Ces dernières se répartissent en plusieurs composantes :

- **Rayonnement cosmique (7 %) :**

Ce rayonnement provient de l'espace (soleil et rayons galactiques) et voit son intensité croître avec l'altitude, car la densité de l'atmosphère protectrice diminue. Ainsi, une personne vivant en montagne à 1000 mètres reçoit une dose supérieure d'environ 20 % à celle d'un individu résidant au niveau de la mer. À l'altitude de croisière des avions de ligne, l'intensité de ce rayonnement peut être jusqu'à 150 fois plus élevée.

- **Rayonnement tellurique (11 %) :**

Issu des éléments radioactifs présents naturellement dans la croûte terrestre — principalement l'uranium, le thorium et le potassium — ce rayonnement est d'origine géologique. Il est émis par le sol mais aussi par certains matériaux de construction dérivés de roches naturelles. Sa présence est particulièrement marquée dans les zones granitiques. En moyenne, la dose efficace individuelle associée à ce rayonnement est estimée à 0,45 mSv par an.

- **Radon (34 %) :**

Ce gaz radioactif naturel, produit par la désintégration de l'uranium dans les roches, constitue la première source d'exposition naturelle. Le radon et ses produits de filiation sont inhalés, ce qui expose directement les tissus sensibles des voies respiratoires aux rayonnements alpha, peu pénétrants mais biologiquement actifs. Des études ont révélé une incidence accrue de cancers pulmonaires chez les mineurs exposés. Le radon tend à s'accumuler dans les environnements clos comme les habitations, d'où l'importance de ventiler les espaces intérieurs et d'améliorer l'étanchéité des structures pour limiter sa concentration. La dose moyenne annuelle due au radon est d'environ 1,2 mSv.

- **Eaux minérales et alimentation (6 % de l'exposition naturelle) :**

Les radionucléides naturellement présents dans la croûte terrestre, tels que le potassium-40, ainsi que ceux générés par l'interaction des rayonnements cosmiques, comme le carbone-14, se retrouvent de façon naturelle dans les plantes, les animaux et l'eau. De ce fait, notre alimentation et les boissons que nous consommons contiennent de faibles niveaux de radioactivité.

## **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

Une fois ingérés, ces radionucléides peuvent se fixer dans différents tissus du corps humain, provoquant ainsi une exposition interne naturelle. Cette contribution représente en moyenne une dose efficace individuelle annuelle d'environ 0,24 mSv.

### **2.3.2. Les rayonnements artificiels :**

L'exposition artificielle aux rayonnements ionisants représente environ 42 % de la dose totale reçue par la population. La principale source de cette exposition est d'origine médicale, représentant 41 % de la dose totale, avec une prédominance marquée du radiodiagnostic.

En effet, les applications médicales des rayonnements constituent à elles seules près de 98 % de l'exposition artificielle, toutes sources confondues, et contribuent à environ 20 % de l'exposition globale de la population.

À l'échelle mondiale, l'usage médical des rayonnements est massif :

- Plus de 3,6 milliards d'exams de radiologie diagnostique sont réalisés chaque année,
- Environ 37 millions d'actes de médecine nucléaire sont pratiqués,
- Et près de 7,5 millions de traitements par radiothérapie sont administrés.

Ces chiffres illustrent l'importance croissante des rayonnements d'origine artificielle dans le domaine médical, faisant de ce secteur le principal contributeur à l'exposition artificielle de la population.<sup>8</sup> [9]

## **3. Sources d'exposition dans le domaine médical :**

### **3.1. Imagerie médicale :**

#### **3.1.1. Radiologie conventionnelle :**

La radiologie conventionnelle repose sur l'utilisation des rayons X pour produire des images médicales. Le terme de « radiographie standard » est souvent utilisé pour désigner les examens qui ne font appel qu'aux rayons X, par opposition à d'autres techniques combinées comme la tomodensitométrie (TDM). Le principe de la radiographie conventionnelle consiste à générer un faisceau de rayons X qui traverse le corps du patient. Ce faisceau est ensuite capté par un film radiographique ou un détecteur numérique, qui enregistre l'intensité des

---

<sup>8</sup> Meziane, Z., Benrezkallah, C., & Bentahar, D. (2021). *Les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants chez les personnels soignants du CHU Tlemcen (Unité de Radiothérapie du CLCC) et la radioprotection* [Mémoire de fin d'études, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, Faculté de Médecine].

## **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

rayonnements ayant traversé les tissus. L'image obtenue reflète les différences d'absorption selon la densité des structures traversées : plus un tissu est dense, plus il atténue les rayons X et plus il apparaît clair sur l'image (radiopaque). À titre d'exemple, le métal apparaît en blanc éclatant, l'os compact en blanc plus atténué, les muscles et les liquides en gris, la graisse en gris foncé, et les gaz ou l'air en noir (radiotransparent). Grâce à sa simplicité, sa rapidité et sa disponibilité, la radiographie constitue souvent le premier recours en imagerie médicale, notamment pour l'étude des extrémités, du thorax, de la colonne vertébrale et de l'abdomen. Elle permet ainsi de détecter des anomalies telles que les fractures, bien visibles par le contraste entre l'os blanc et les tissus mous gris, les pneumonies, révélées par des opacités anormales dans les poumons normalement aérés, ou encore les occlusions intestinales, visibles par la dilatation anormale des anses intestinales remplies d'air.<sup>9</sup> [10]

### **3.1.2. Tomodensitométrie (Scanner) :**

La tomodensitométrie, aussi connue sous le nom de scannerX ou CT-scan (*Computed Tomography* en anglais), est une technique d'imagerie médicale fondée sur l'utilisation des rayons X pour obtenir des images en coupes transversales d'une zone spécifique du corps. Contrairement à la radiographie classique, qui ne fournit qu'une représentation en deux dimensions, la tomodensitométrie permet une visualisation volumique des structures internes, grâce à un traitement informatique des données acquises autour du patient.

Son principe repose sur la rotation continue d'un tube à rayons X autour du corps, associée à un ensemble de détecteurs placés en anneau. Ce système mesure l'atténuation des rayons X lorsqu'ils traversent les tissus à partir de multiples angles. Les données recueillies sont ensuite traitées par un ordinateur pour reconstituer des images détaillées, couche par couche, de la région explorée. Ces images peuvent être reconstruites dans différents plans (axial, coronal, sagittal), voire en trois dimensions, permettant une interprétation anatomique précise.

La tomodensitométrie est particulièrement indiquée pour le diagnostic de nombreuses pathologies touchant le thorax, l'abdomen, le cerveau, les os ou les vaisseaux sanguins. Elle est également très utilisée dans les contextes d'urgence médicale (traumatismes, accidents

---

<sup>9</sup> MSD Manuals. (n.d.). *Radiographie conventionnelle – Principes d'imagerie radiologique*. MSD Manual, version professionnelle. <https://www.msdmanuals.com/fr/professional/sujets-sp%C3%A9ciaux/principes-d-imagerie-radiologique/radiographie-conventionnelle>

## **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

vasculaires cérébraux) ainsi que pour le suivi oncologique, notamment dans la recherche de métastases ou l'évaluation de tumeurs.

Néanmoins, cette technique expose les patients à des doses de rayonnements ionisants nettement supérieures à celles des radiographies standards. À titre d'exemple, un scanner abdominal peut délivrer entre 5 et 20 millisieverts (mSv), contre environ 0,1 mSv pour une simple radiographie pulmonaire. Cette différence justifie une évaluation rigoureuse de la nécessité de chaque examen et impose l'application stricte des principes d'optimisation des paramètres d'acquisition, afin de minimiser l'exposition tout en garantissant une qualité d'image diagnostique suffisante.

La tomodensitométrie est donc un outil de diagnostic à fort potentiel, mais dont l'utilisation doit s'inscrire dans une approche de radioprotection stricte, en accord avec les recommandations des instances internationales telles que la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR), l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) et les autorités sanitaires nationales.<sup>10</sup> [11]

### **3.1.3. Amplificateur de brillance :**

L'amplificateur de brillance constitue un composant fondamental de l'imagerie médicale radioscopique, permettant une visualisation en temps réel des structures internes du corps humain. Il a pour fonction principale d'améliorer la luminosité et la qualité des images, même lorsque les rayons X utilisés sont de faible intensité. Cela permet ainsi de réduire la dose de rayonnement administrée au patient par rapport à une radioscopie directe classique.

Sur le plan technique, ce dispositif est composé d'un tube électronique comprenant plusieurs éléments clés : un écran d'entrée luminescent (souvent au césium), un tube amplificateur soumis à une haute tension, et un écran de sortie. Lorsque les rayons X traversent le corps du patient, ils atteignent l'écran d'entrée qui émet une faible lumière. Cette lumière est ensuite transformée en électrons, lesquels sont accélérés par un champ électrique à l'intérieur du tube. En frappant l'écran de sortie, ces électrons génèrent une lumière amplifiée, produisant une image nettement plus lumineuse et facilement exploitable pour le diagnostic.

---

<sup>10</sup> Wikipédia. (2024, avril 30). *Tomodensitométrie*. Wikipédia.  
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Tomodensitom%C3%A9trie>

## **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

L'ensemble est généralement intégré dans un arceau en forme de C (ou C-arm), qui porte à une extrémité le tube émetteur de rayons X, et à l'autre, le système de détection (écran luminescent + amplificateur). Ce dispositif est couplé à un système de visualisation vidéo permettant de projeter l'image obtenue sur un ou plusieurs moniteurs, avec des fonctions de mémorisation ou d'enregistrement.

Introduit dans les années 1950, l'amplificateur de brillance a révolutionné la radioscopie médicale. Grâce aux progrès technologiques réalisés depuis les années 2000, les modèles récents, désormais numériques, sont associés à des caméras haute résolution, produisant des images de meilleure qualité, plus nettes et plus précises.

Outre son intérêt diagnostique, ce dispositif joue également un rôle important en matière de radioprotection, en permettant d'optimiser les doses utilisées et de limiter l'exposition du patient comme du personnel médical aux rayonnements ionisants.<sup>11</sup> [12]

---

<sup>11</sup> Wikipédia. (2024, avril 30). *Tomodensitométrie*. Wikipédia.  
<https://fr.wikipedia.org/wiki/Tomodensitom%C3%A9trie>

### **3.1.4. La fluoroscopie :**

La fluoroscopie est une méthode d'imagerie en temps réel reposant sur l'utilisation continue des rayons X. Elle permet d'observer des processus physiologiques en direct, comme la digestion ou la déglutition, ce qui la distingue des autres techniques produisant des images fixes. Malgré la concurrence de modalités modernes comme le scanner ou l'IRM, elle reste précieuse pour son efficacité, sa faible dose d'irradiation potentielle, et son utilité dans des contextes cliniques variés, notamment chez l'enfant ou en postopératoire (Shalom et al., 2020).<sup>12</sup> [13]

### **3.2. Radiothérapie :**

La radiothérapie constitue l'un des trois piliers du traitement du cancer, aux côtés de la chirurgie et de la chimiothérapie. Cette modalité thérapeutique repose sur l'utilisation contrôlée de rayonnements ionisants afin d'endommager l'ADN des cellules cancéreuses, entraînant leur destruction. Cette technique, apparue dès 1896, repose sur l'administration de doses précises de rayonnement, mesurées en gray (Gy).

Elle peut être indiquée selon trois objectifs thérapeutiques : curatif, dans le but d'éliminer la tumeur ; palliatif, pour soulager les symptômes lorsque la guérison n'est plus envisageable ; ou symptomatique, pour traiter une manifestation gênante du cancer. En ce sens, la radiothérapie occupe une place centrale dans la prise en charge multidisciplinaire des patients atteints de cancer. Deux grandes catégories de radiothérapie se distinguent : interne et externe.

#### **3.2.1. La radiothérapie interne :**

##### **3.2.1.1. La curiethérapie :**

La curiethérapie consiste à introduire directement des sources radioactives à proximité ou à l'intérieur même de la zone tumorale. Ces sources diffusent localement des rayonnements qui ciblent de manière précise les cellules cancéreuses, tout en épargnant les tissus sains environnants.

---

<sup>12</sup> Shalom, N. E., Gong, G. X., & Auster, M. (2020). *Fluoroscopy: An essential diagnostic modality in the era of high-resolution cross-sectional imaging*. *World Journal of Radiology*, 12(10), 191–205.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7653184/>

### **3.2.1.2. La radiothérapie métabolique :**

Ce type de traitement repose sur l'administration systémique d'une substance radioactive (par voie orale ou intraveineuse). Cette substance se fixe sélectivement sur les cellules tumorales pour exercer son effet destructeur. Elle est notamment utilisée dans le traitement de certains cancers de la thyroïde, de la maladie de Vaquez, ou encore de métastases osseuses.

### **3.2.2. La radiothérapie externe :**

Dans la radiothérapie externe, les faisceaux de rayonnement sont émis à partir d'un dispositif situé à l'extérieur du corps. Ces rayonnements, principalement des photons de haute énergie (de plusieurs mégavolts), sont générés par des accélérateurs linéaires de particules. Le traitement vise spécifiquement le volume cible tumoral (VC) tout en limitant l'irradiation des tissus sains avoisinants.

L'accélérateur peut effectuer une rotation à 360° autour du patient, installé sur une table motorisée, afin de diriger le faisceau selon les angles les plus appropriés.

Il existe plusieurs techniques de radiothérapie externe, adaptées selon les besoins cliniques :

- La radiothérapie conventionnelle.
- La radiothérapie conformationnelle tridimensionnelle (3D-CRT).
- La radiothérapie conformationnelle avec modulation d'intensité (RCMI ou IMRT).
- La tomothérapie.
- Le CyberKnife, entre autres.<sup>13</sup> [14]

## **4. Mécanismes d'interaction avec la matière vivante :**

### **4.1. Ionisation et excitation des molécules biologiques :**

Lorsqu'un rayonnement ionisant traverse un tissu biologique, il interagit avec les atomes ou molécules qu'il rencontre, en leur transférant de l'énergie. Cette interaction se traduit principalement par deux phénomènes physiques fondamentaux : l'ionisation et l'excitation.

---

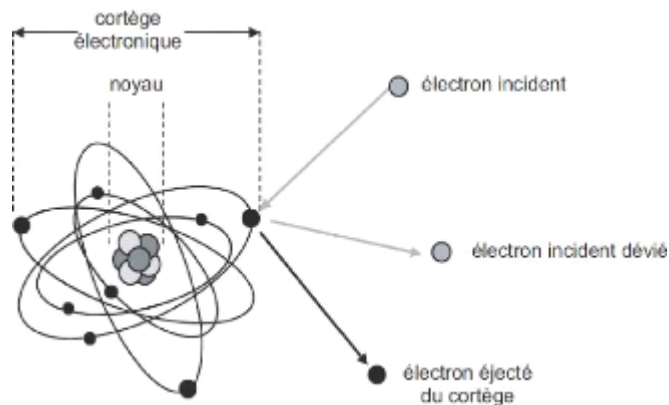
<sup>13</sup> Benseddik, M. E. A., & Oumansour, M. E. A. (2016). *Contrôle de qualité des accélérateurs linéaires et des scanner simulateur – procédure et application* (Mémoire de master, Université de Tlemcen, Algérie). Université de Tlemcen, Faculté des Sciences et Faculté de Médecine.

## Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé

Les interactions suivantes sont les plus courantes. Lorsqu'un électron incident entre en collision avec un électron d'un atome, il peut lui transmettre une partie de son énergie cinétique. En fonction de la quantité d'énergie transférée, deux types de réactions peuvent se produire

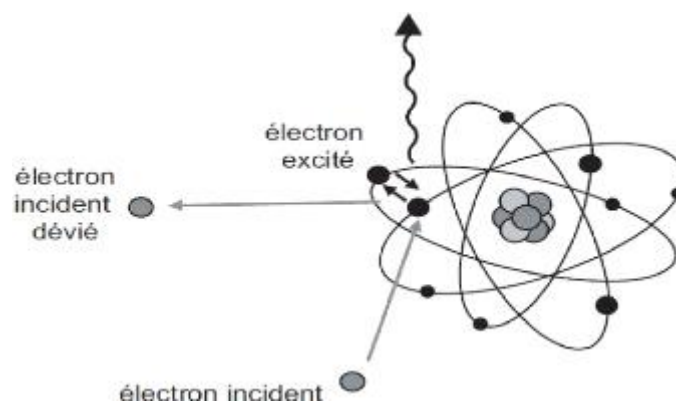
Soit  $\Delta E$  l'énergie cinétique de l'électron incident, et  $WL$  l'énergie de liaison de l'électron de l'atome cible. Selon que  $\Delta E$  est suffisante ou non pour arracher l'électron de son orbite, deux cas sont possibles :

Si  $\Delta E \geq WL$ , l'électron de l'atome cible est arraché de son orbite, emportant une énergie cinétique égale à  $(\Delta E - WL)$ . Ce processus correspond à une ionisation de l'atome cible. L'électron ainsi éjecté, appelé électronsecondaire, peut à son tour provoquer d'autres ionisations, à condition que son énergie cinétique résiduelle soit suffisante.



**Figure 1 : Phénomène d'ionisation**

Si  $\Delta E < WL$ , l'énergie transférée est insuffisante pour provoquer une ionisation. Toutefois, elle peut élever l'électron de l'atome cible à un niveau d'énergie supérieur, entraînant ainsi une excitation de l'atome.



**Figure 2 : Phénomène d'excitation**

Lorsque  $\Delta E \ll WL$ , l'excitation de l'électron ne suffit même pas à modifier durablement son état énergétique. L'énergie transférée est alors principalement convertie en chaleur, se traduisant par une augmentation de l'énergie de translation, de rotation ou de vibration des molécules de la cible.<sup>14</sup> [15]

### 4.2. Formation de radicaux libres et dommages à l'ADN :

L'exposition des tissus vivants aux rayonnements ionisants conduit à la radiolyse de l'eau, générant des espèces réactives de l'oxygène, notamment les radicaux hydroxyles ( $\cdot OH$ ), qui sont particulièrement agressifs envers les macromolécules biologiques. Ces radicaux attaquent les constituants de l'ADN, les bases azotées et le désoxyribose, entraînant divers types de dommages tels que l'oxydation de bases, la formation de liaisons croisées ou encore des ruptures de brins. Ces altérations sont à l'origine de perturbations fonctionnelles majeures dans la cellule, contribuant aux effets délétères des rayonnements (Dizdaroglu et al., 2012). Par ailleurs, les lésions induites ne sont pas toujours isolées : les radicaux libres peuvent provoquer des dommages complexes, appelés lésions groupées, qui se manifestent par plusieurs altérations proches sur un même segment d'ADN. Ce type de dommages, difficilement réparable, compromet la fidélité de la réparation cellulaire et augmente le risque de mutations irréversibles ou d'apoptose. Ces effets cumulatifs font des radicaux libres l'un des vecteurs majeurs de la radiotoxicité, comme l'a mis en évidence Ward (2000) dans ses travaux sur la complexité des altérations de l'ADN causées par les rayonnements.<sup>15</sup> [16] [17]

---

<sup>14</sup> Aissani, M., & Yahouni, I. (2011). *Dosimétrie des photons de haute énergie* (Mémoire de Master, Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen, Algérie). Consulté à l'adresse file:///C:/Users/hp/Downloads/Dosimetrie-des-photons-de-haute-energie.pdf

<sup>15</sup> Dizdaroglu, M., Jaruga, P., Birincioglu, M., & Rodriguez, H. (2012). Free radical-induced damage to DNA: Mechanisms and measurement. *Free Radical Biology and Medicine*, 45(10), 1246–1262. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22276778/>

Ward, J. F. (2000). Complexity of DNA damage: Role in biological consequences. *International Journal of Radiation Biology*, 66(5), 427–432. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12031895/>

### **Section 2 : Effets biologiques et sanitaires des rayonnements ionisants**

#### **1. Effets déterministes (effets à seuil de dose): (d'après Cordoliani, 2002)**

Les effets déterministes surviennent après une exposition à des doses élevées de rayonnements ionisants, dépassant un certain seuil d'induction. Ces effets apparaissent généralement de manière précoce, c'est-à-dire quelques jours à quelques semaines après l'irradiation. Ils sont qualifiés de « déterministes » car leur apparition est prévisible et reproductible pour une dose donnée, et leur gravité augmente avec la dose reçue.

Ils incluent :

- Des effets précoces tels que des inflammations tissulaires,
- Et des effets tardifs comme les brûlures radiologiques, la fibrose ou la nécrose des tissus irradiés.

En général, le seuil d'apparition de ces effets, exprimé en dose équivalente corps entier, est estimé à 500 mSv. Toutefois, la répartition de la dose dans l'organisme joue un rôle majeur : une dose supérieure à 5 Gy reçue sur tout le corps peut être mortelle dans 50 % des cas en l'absence de traitement. À l'inverse, en radiothérapie, des doses localisées allant jusqu'à 60 Gy peuvent être administrées sur un organe cible (comme une tumeur), sans provoquer d'effets systémiques.

La survenue des effets déterministes est donc inévitable au-delà d'un seuil, avec un délai d'apparition d'autant plus court que la dose est élevée. Ce seuil varie selon les individus : certaines pathologies génétiques, comme la xérodermie pigmentosum, qui affecte les mécanismes de réparation de l'ADN, rendent les personnes concernées plus sensibles aux radiations.

Par ailleurs, le seuil augmente lorsque :

- Le débit de dose est plus faible,
- Ou que la dose est étalée dans le temps.

En cas d'irradiation globale, les organes les plus radiosensibles (comme la moelle osseuse ou l'épithélium intestinal) sont atteints en premier. Lors d'une irradiation partielle, les effets sont localisés et dépendent de la région exposée.

# **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

## **1.1. Syndrome d'irradiation aiguë :**

*( D'après Cervený, MacVittie & Young, 1989)*

Le syndrome d'irradiation aiguë (SIA) constitue une illustration typique des effets déterministes des rayonnements ionisants. Il survient à la suite d'une irradiation brève et intense de l'organisme, entraînant l'apparition de symptômes cliniques dont la sévérité est directement proportionnelle à la dose absorbée.

Ce syndrome ne se manifeste que dans des situations d'exposition exceptionnelle, telles que les accidents nucléaires (ex. : Tchernobyl) ou les explosions atomiques (Hiroshima, Nagasaki).

Le SIA évolue généralement en trois phases successives :

1. Une phase prodromique, marquée par l'apparition rapide de symptômes comme des nausées, vomissements et céphalées.
2. Une phase de latence, où les signes cliniques disparaissent temporairement.
3. Une phase d'état, durant laquelle réapparaissent des symptômes spécifiques, en lien avec les systèmes biologiques atteints.

### **1.1.1. Effets cliniques selon la dose reçue :**

L'impact des rayonnements ionisants sur l'organisme varie selon la dose reçue. À des doses inférieures à 0,5 Gy, aucune manifestation clinique notable n'est généralement observée, si ce n'est une discrète lymphopénie détectable à l'examen biologique. Entre 1 et 2 Gy, les premiers symptômes digestifs apparaissent, marquant la phase prodromique du « mal des rayons » : nausées, vomissements, asthénie, anorexie et parfois malaise. Lorsque la dose s'élève entre 2 et 4 Gy, le système hématopoïétique est significativement compromis, entraînant leucopénie et thrombopénie, avec un risque accru d'infections et d'hémorragies, nécessitant une surveillance étroite et une antibiothérapie précoce. À partir de 4 Gy, et jusqu'à 6 Gy, la moelle osseuse subit des altérations sévères ; cette tranche correspond à la dose létale 50 % (DL50) chez l'adulte non traité. Enfin, au-delà de 6 Gy, le pronostic vital est gravement engagé : la mortalité avoisine 100 % sans prise en charge médicale intensive. À ce stade, les lésions hématopoïétiques sont associées à des atteintes digestives graves, particulièrement marquées à partir de 8 Gy, aggravant considérablement l'état clinique du patient.

## **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

### **1.1.2. Effets sur la peau :**

La peau, bien qu'en surface, peut subir des effets significatifs en cas d'irradiation localisée ou globale. Ces effets dépendent étroitement de la dose reçue :

- Pour une dose inférieure à 3 Gy, aucun effet cutané notable n'est observé.
- Entre 3 et 5 Gy, peut survenir une épidermite sèche dans un délai de 3 semaines, correspondant à une desquamation non exsudative de la couche superficielle de l'épiderme.
- À partir de 5 Gy, un érythème précoce, similaire à un coup de soleil, peut apparaître dans les heures suivant l'exposition.
- Lorsque la dose dépasse 30 Gy, une nécrose cutanée profonde se développe. À ce stade, seule une greffe cutanée peut permettre une réparation tissulaire.

### **1.1.3. Effets sur les gonades :**

Les gonades sont particulièrement radiosensibles. Les effets dépendent du sexe, de la dose, et parfois de l'âge du sujet :

- Chez l'homme, une dose aussi faible que 0,15 Gy peut induire une stérilité transitoire. En revanche, des doses comprises entre 4 et 6 Gy peuvent entraîner une stérilité définitive, sans altération des caractères sexuels secondaires ni des capacités sexuelles.
- Chez la femme, une exposition entre 3 et 6 Gy peut provoquer une stérilité irréversible, souvent accompagnée de modifications hormonales conduisant à une ménopause précoce et à une altération des caractères sexuels secondaires.

### **1.1.4. Effets stochastiques :**

Les effets stochastiques résultent d'une exposition à des doses faibles ou modérées de rayonnements ionisants. Contrairement aux effets déterministes, ils sont de nature aléatoire : leur survenue n'est ni systématique ni prévisible, mais leur probabilité augmente avec la dose. Ces effets surviennent généralement à long terme, parfois des années voire des décennies après l'exposition.

Sur le plan biologique, ces effets sont causés par des altérations du matériel génétique, principalement de l'ADN cellulaire, induites par les rayonnements. Selon le type de cellules touchées, deux conséquences sont possibles :

## **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

- Si les cellules somatiques sont atteintes : risque accru de cancers radio-induits.
- Si les cellules germinales sont altérées : possibilité de mutations héréditaires affectant la descendance.

Ces effets :

- N'ont pas de seuil d'induction clairement défini : une dose minimale théorique n'existe pas en dessous de laquelle le risque serait nul.
- Ne dépendent pas de la gravité de la dose reçue, mais uniquement de la probabilité de survenue.
- Sont étudiés principalement par des approches épidémiologiques menées sur des cohortes exposées.

### **1.1.5. Données épidémiologiques et exemples concrets :**

L'un des exemples les plus documentés concerne les survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima et de Nagasaki. Ces explosions ont causé :

- À Hiroshima (6 août 1945) : 45 000 décès immédiats, 15 000 dans les trois semaines suivantes, et 60 000 au total durant la première année.
- À Nagasaki: 31 000 morts sur le coup, 32 000 dans les trois semaines suivantes, et 17 000 durant l'année.

Des études de suivi à long terme ont été entreprises sur 86 000 survivants, révélant entre 1950 et 1985 :

- 75 cas supplémentaires de leucémies liés aux radiations,
- 306 cas de cancers solides radio-induits (Cosset, 1997).

D'autres recherches ont été menées en dehors des accidents nucléaires. Par exemple, l'usage ancien de la radiothérapie pour des affections non cancéreuses, comme la spondylarthrite ankylosante, a entraîné une augmentation du risque de cancers secondaires, notamment une multiplication par cinq du risque de leucémie chez les patients traités (Cosset, 1997).

Les types de cancers les plus fréquemment associés à une exposition chronique aux rayonnements sont :

- Les leucémies (moelle osseuse).

## **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

- Les cancers de la thyroïde.
- Du sein.
- Et des os.

Les enfants sont particulièrement sensibles aux effets stochastiques des radiations, notamment en ce qui concerne le développement de cancers.

### **1.1.6. Effets sur l’embryon et le fœtus :**

L’impact des rayonnements ionisants dépend également du stade de développement embryonnaire ou fœtal. Certaines périodes, comme l’organogenèse, sont particulièrement vulnérables à l’induction de malformations congénitales ou de retards de croissance. À long terme, une exposition in utero augmente également le risque de cancer dans l’enfance (Kesminiene & Zablotska, 2014).<sup>16</sup> [18]

## **1.2. Facteurs influençant la radiosensibilité :**

### **1.2.1. Type de tissus exposés :**

La radiosensibilité dépend en grande partie du type de tissu concerné, car elle varie selon les caractéristiques des cellules qui le composent.

Les cellules à renouvellement rapide, comme celles de la moelle osseuse, de l’intestin ou de l’épiderme, sont particulièrement sensibles aux rayonnements ionisants. En effet, leur division fréquente les expose davantage aux phases critiques du cycle cellulaire où l’ADN est plus vulnérable aux dommages.

En revanche, les cellules hautement différenciées et peu actives, telles que les neurones ou les cellules musculaires, présentent une faible radiosensibilité, car elles se divisent rarement, voire pas du tout.

La sensibilité des tissus à l’irradiation peut également être appréciée cliniquement à travers des grilles d’évaluation comme celles du CTCAE ou du RTOG, qui permettent de

---

<sup>16</sup>Meziane .Z, Benrezkallah, C., & Bentahar, D. (2021). *Les risques liés à l’exposition aux rayonnements ionisants chez les personnels soignants du CHU Tlemcen (Unité de Radiothérapie du CLCC) et la radioprotection* [Mémoire de fin d’études, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, Faculté de Médecine].

## Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé

---

classer les réactions indésirables de l'exposition de grade 0 (aucun effet) à grade 5 (effet léthal).<sup>17</sup>  
[19]

### 1.2.2. Dose absorbée et durée d'exposition :

La réponse biologique d'un organisme exposé aux rayonnements ionisants dépend fortement de deux paramètres fondamentaux : la dose absorbée et la durée d'exposition. Ces deux facteurs modulent tant l'intensité des effets déterministes que la probabilité de survenue des effets stochastiques.

#### 1.2.2.1. Dose absorbée :

La dose absorbée, soit l'énergie déposée dans un tissu par unité de masse, et s'exprime en Gray (Gy). Est un facteur déterminant de la gravité des dommages biologiques. Des doses élevées favorisent la génération massive de lésions moléculaires (cassures d'ADN, oxydations), souvent supplantant la capacité de réparation des cellules, et aboutissent à une augmentation marquée de la morbidité et mortalité cellulaire.

La dose absorbée, notée **D**, est quotient  $\overline{d\varepsilon}$  par  $dm$ , où  $\overline{d\varepsilon}$  est l'énergie moyenne cédée par le rayonnement ionisant à la matière de masse  $dm$  :

$$D = \frac{\overline{d\varepsilon}}{dm}$$

- Unité dans le Système International (SI) :  $J.Kg^{-1}$
- Nom spécifique de l'unité : gray (Gy) :  $1Gy=1 : J.Kg^{-1}$
- Ancienne unité :  $1 rad=10^{-2} J.Kg^{-1}$

---

<sup>17</sup> El-Nachef, L., Al-Choboq, J., Restier-Verlet, J., Granzotto, A., Berthel, E., Sonzogni, L., Ferlazzo, M. L., Bouchet, A., Leblond, P., Combemale, P., Pinson, S., Bourguignon, M., & Foray, N. (2021). *Human radiosensitivity and radiosusceptibility: What are the differences?* International Journal of Molecular Sciences, 22(13), 7158. file:///C:/Users/hp/Downloads/ijms-22-07158.pdf

# Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé

---

## Cas d'une source de photons en équilibre électronique :

Dans des conditions d'équilibre électronique, la dose absorbée peut être exprimée par la relation suivante :

$$D = \Phi \cdot E \cdot \frac{\mu_{en}}{\rho}$$

Avec :

- $\Phi$ : fluence des particules (nombre de particules par mètre carré)
- $E$  : énergie du rayonnement ionisant (en joules, J)
- $\frac{\mu_{en}}{\rho}$ : Coefficient massique d'absorption d'énergie (exprimé en m<sup>2</sup>/kg)

## Rôle du débit de dose :

Le débit de dose (vitesse d'administration de la dose) module considérablement l'effet biologique pour une dose identique :

- Un débit élevé concentre les dommages, laissant peu de temps aux mécanismes réparateurs, et amplifie les effets délétères.
- Un débit faible, réparti sur plusieurs minutes ou heures, permet aux cellules de mobiliser leurs systèmes de réparation de l'ADN en temps réel, réduisant ainsi les lésions accumulées .

Le débit de dose absorbée (noté  $\dot{D}$  ) représente la vitesse à laquelle la dose est délivrée à un milieu. Il est défini comme le rapport entre une variation infinitésimale de dose absorbée  $dD$  et l'intervalle de temps durant lequel cette variation se produit  $dt$  :

$$\dot{D} = \frac{dD}{dt}$$

- Unité S.I. :  $J.Kg^{-1}.s^{-1}$
- Le nom spécial, gray (Gy), peut être substitué au joule par kilogramme :  
 $1 Gy.s^{-1} = 1 J.Kg^{-1}.s^{-1}$
- Ancienne unité :  
 $1 rad.s^{-1} = 10^{-2} J.Kg^{-1}.s^{-1}$

### **1.2.2.2. Durée d'exposition :**

#### **1. Exposition aiguë :**

L'exposition aiguë correspond à une absorption de rayonnement ionisant en très peu de temps, généralement en quelques minutes ou quelques heures. Lorsque la dose reçue dépasse environ 0,7 gray, elle peut entraîner un syndrome d'irradiation aiguë, caractérisé par des symptômes rapides tels que des nausées, des vomissements, de la fatigue ou encore une atteinte des tissus internes. Ce type d'exposition est typique des accidents nucléaires ou des expositions médicales accidentelles à haute dose.<sup>18</sup> [20]

#### **2. Exposition chronique :**

L'exposition chronique désigne une irradiation à faible dose mais prolongée sur une période étendue, allant de plusieurs mois à plusieurs années. Ce type d'exposition peut engendrer un syndrome d'irradiation chronique, généralement après une dose cumulée de l'ordre de 0,7 à 1,5 gray, avec un seuil d'exposition annuel supérieur à 0,1 gray. Les effets apparaissent progressivement, souvent après une phase silencieuse pouvant durer de 1 à 5 ans, suivie d'une période symptomatique et d'un éventuel rétablissement si l'exposition cesse.<sup>19</sup> [21]

#### **3. Âge et état de santé du sujet :**

L'âge et l'état de santé général influencent de manière significative la réponse de l'organisme à une exposition aux rayonnements ionisants. Les enfants se révèlent particulièrement vulnérables en raison de leur forte activité mitotique, de la radiosensibilité accrue de certains tissus comme le cerveau, le cristallin et la thyroïde, ainsi que de leur longue espérance de vie, augmentant ainsi le risque de développer un cancer radio-induit à long terme. De plus, certaines pathologies génétiques affectant les mécanismes de réparation de l'ADN, telles que l'ataxie-télangiectasie, le syndrome de Bloom ou encore l'anémie de Fanconi, majorent considérablement la sensibilité aux effets des radiations. D'autres affections chroniques, notamment les maladies métaboliques comme le diabète ou les maladies inflammatoires systémiques telles que le lupus, peuvent également amplifier les dommages causés. Par ailleurs, divers traitements médicamenteux, incluant certaines chimiothérapies,

---

<sup>18</sup> Wikipedia contributors. (2024, April 25). *Acute radiation syndrome*. Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Acute\\_radiation\\_syndrome](https://en.wikipedia.org/wiki/Acute_radiation_syndrome)

<sup>19</sup> Wikipedia contributors. (2024, April 13). *Chronic radiation syndrome*. Wikipedia.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Chronic\\_radiation\\_syndrome](https://en.wikipedia.org/wiki/Chronic_radiation_syndrome)

## **Chapitre 1 : les rayonnements ionisants et leurs impact sur la santé**

---

antibiotiques et statines. Sont susceptibles d'exacerber la toxicité des rayonnements. Ainsi, l'évaluation des risques et l'adaptation des protocoles de radioprotection doivent impérativement tenir compte de ces facteurs individuels pour limiter au maximum les effets indésirables.<sup>20</sup> [22]

---

<sup>20</sup> MSD Manuals. (n.d.). *Exposition aux rayonnements et contamination radioactive*. MSD Manual Professional. <https://www.msmanuals.com/fr/professional/blessures-empoisonnement/exposition-aux-rayonnements-et-contamination-radioactive/exposition-aux-rayonnements-et-contamination-radioactive>

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

### Section 3 : Principes fondamentaux de la radioprotection

#### 1. Réglementation et normes internationales :

##### 1.1. Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR):

La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR), connue internationalement sous l'acronyme ICRP (International Commission on Radiological Protection), est un organisme scientifique indépendant créé en 1928. Sa mission principale est de développer un cadre de référence universel pour la protection de l'homme et de l'environnement contre les effets des rayonnements ionisants. Depuis près d'un siècle, la CIPR joue un rôle central dans l'élaboration des concepts fondamentaux de radioprotection, devenant ainsi une autorité normative influente, dont les recommandations guident les politiques réglementaires de nombreux États à travers le monde (ICRP, 2024).

Au cœur de son système de protection figurent trois principes fondamentaux, qui structurent l'ensemble des pratiques liées à l'usage des rayonnements :

- **Justification** : toute exposition aux rayonnements ionisants ne doit être entreprise que si elle apporte plus de bénéfices que de risques, tant sur le plan individuel que sociétal.
- **Optimisation** : les doses reçues doivent être réduites au niveau le plus bas raisonnablement possible, en tenant compte des aspects économiques et sociaux – c'est le principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable).
- **Limitation des doses** : des seuils de dose annuels sont fixés afin de prévenir les effets déterministes (graves, à seuil) et de limiter la probabilité d'effets stochastiques (aléatoires, comme les cancers radio-induits) chez les travailleurs et le public (ICRP, 2024).

Les recommandations de la CIPR sont fondées sur une analyse rigoureuse des données scientifiques les plus récentes en radiobiologie, épidémiologie et physique médicale. Pour ce faire, elle collabore étroitement avec des institutions telles que l'OMS, l'AIEA, et l'UNSCEAR, garantissant une cohérence internationale dans l'approche de la radioprotection.

La publication ICRP 103 (2007) constitue la base actuelle du système de protection radiologique, en y intégrant notamment des dimensions éthiques, sociales et environnementales. Ces lignes directrices font l'objet de mises à jour régulières afin de

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

répondre aux évolutions scientifiques et aux nouveaux défis en matière d'exposition (ICRP, 2024).<sup>21</sup> [23]

### **1.2. Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) :**

L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA), connue en anglais sous le nom d'International Atomic Energy Agency (IAEA), est une organisation intergouvernementale fondée dans le cadre de l'initiative « Atoms for Peace », visant à promouvoir l'usage pacifique de l'énergie nucléaire. Depuis sa création, elle occupe une place centrale dans la réglementation mondiale des activités nucléaires civiles, notamment en ce qui concerne la radioprotection.

Durant les années 1950 et 1960, l'AIEA a consolidé son rôle en élargissant ses compétences à des domaines tels que la sécurité radiologique et la formulation de normes sanitaires. Elle a progressivement commencé à élaborer ses propres recommandations en matière de santé et de sécurité, tout en s'appuyant sur les principes scientifiques établis par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR/ICRP).

Bien que ses relations initiales avec certains organismes scientifiques indépendants, comme la CIPR, aient été marquées par des tensions, un partage des responsabilités s'est instauré : l'AIEA se charge de la rédaction des codes pratiques, tandis que la CIPR définit les fondements scientifiques de la radioprotection. Ce partenariat a permis à l'AIEA de s'imposer comme une référence internationale en matière de radioprotection, en étroite collaboration avec d'autres institutions telles que l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'UNESCO et le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR).<sup>22</sup> [24]

### **1.3. Directives de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) :**

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a élaboré des directives visant à optimiser l'efficacité des programmes impliquant les agents de santé communautaires (ASC), en s'appuyant sur des recommandations fondées sur des données probantes. Ces directives abordent des aspects fondamentaux tels que la sélection, la formation, la gestion et l'intégration

---

<sup>21</sup> International Commission on Radiological Protection. (2024). *International Commission on Radiological Protection*. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Commission\\_on\\_Radiological\\_Protection](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Commission_on_Radiological_Protection)

<sup>22</sup> International Atomic Energy Agency. (n.d.). *Global regulation controlling and accepting radioactivity risks*. IAEA Safety Standards. Retrieved from <https://scispace.com/pdf/global-regulation-controlling-and-accepting-radioactivity-2b5xd5f3rt.pdf>

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

des ASC dans les systèmes de santé et au sein des communautés. En matière de sélection, l'OMS préconise des critères tels qu'un niveau minimal d'éducation adapté aux fonctions attendues, l'appartenance à la communauté avec un bon niveau d'acceptation sociale, la promotion de l'égalité de genre (incluant, si nécessaire, des mesures en faveur des femmes), ainsi que des qualités personnelles telles que la motivation, l'intégrité, les compétences interpersonnelles et l'engagement communautaire. En revanche, certains critères sont déconseillés, notamment l'âge (sauf s'il est imposé par des politiques nationales) et l'état matrimonial, afin d'éviter toute forme de discrimination. La formation initiale des ASC, dont la durée est à adapter localement, doit prendre en compte les compétences à acquérir, les savoirs préexistants et les conditions d'exercice. Le contenu porte sur les compétences de base liées aux services de santé promotionnels et préventifs, à l'intégration dans le système de santé, aux déterminants sociaux de la santé, au soutien psychosocial, aux interactions interpersonnelles et à la sécurité personnelle. Des compétences additionnelles, comme le diagnostic ou le traitement, peuvent être intégrées si elles correspondent au rôle attribué aux ASC. Enfin, les modalités pédagogiques recommandées incluent un équilibre entre théorie et pratique (avec un accent sur la pratique encadrée), une combinaison de formation en présentiel et à distance, une localisation de l'apprentissage dans ou à proximité des communautés, l'utilisation d'une langue accessible aux apprenants, ainsi qu'un environnement d'apprentissage favorable.<sup>23</sup> [25]

### **2. Réglementation nationale et recommandations :**

#### **2.1.Limites de doses annuelles pour les travailleurs exposés :**

Les limites de doses annuelles admissibles pour les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants sont définies par des instances internationales de référence telles que la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) et l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA). Ces seuils ont pour objectif de réduire les risques sanitaires, tout en permettant une utilisation maîtrisée et bénéfique des rayonnements dans des secteurs comme la médecine, l'industrie ou la recherche. Selon les recommandations de la CIPR, la dose efficace annuelle autorisée pour l'ensemble du corps est fixée à 20 mSv en moyenne sur cinq ans, avec une limite maximale de 50 mSv pour une seule année. La dose équivalente pour

---

<sup>23</sup> Organisation mondiale de la Santé. (2018). *Directives de l'OMS sur la politique de santé et l'accompagnement au sein du système en vue d'optimiser les programmes relatifs aux agents de santé communautaires* (No. WHO/HIS/HWF/GPN/2018.01; Licence : CC BY-NC-SA 3.0 IGO). Organisation mondiale de la Santé. Consulté le 19 juin 2025, à partir de <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/325564/9789242550368-fre.pdf>

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

les extrémités (mains, pieds) est de 500 mSv par an, tandis que celle pour le cristallin de l'œil est de 20 mSv par an, récemment abaissée à 15 mSv dans les recommandations les plus récentes. Une étude réalisée entre 2009 et 2010 à l'hôpital universitaire King Abdul-Aziz (KAU) a évalué les doses reçues par le personnel de trois services médicaux. Les résultats indiquent des expositions moyennes de 0,66 mSv/an en radiologie diagnostique, 1,56 mSv/an en médecine nucléaire, et 0,28 mSv/an en radiothérapie, représentant respectivement 3,3 %, 7,8 % et 1,4 % des limites annuelles fixées. Ces niveaux restent nettement inférieurs aux normes internationales, bien que les travailleurs en médecine nucléaire soient plus exposés en raison de la manipulation directe de radioéléments. De même, les infirmiers et techniciens en cardiologie interventionnelle présentent parfois des expositions plus élevées (jusqu'à 8,32 mSv/an), tout en restant en dessous du seuil réglementaire. Comparativement aux moyennes mondiales présentées dans les rapports de l'UNSCEAR, les données de l'étude KAU restent généralement inférieures : par exemple, en médecine nucléaire, la moyenne mondiale est de 1,41 mSv/an, contre 1,56 mSv/an à KAU ; en radiologie diagnostique, elle est de 1,34 mSv/an, contre 0,66 mSv/an à KAU.<sup>24</sup> [26]

### **2.2. Rôle de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) :**

L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) est une autorité administrative indépendante instituée par la loi du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, communément appelée « loi TSN ». Elle exerce, au nom de l'État, une mission de contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection, dans le but de préserver la santé des travailleurs, des patients, du public ainsi que la protection de l'environnement contre les risques liés à l'usage de l'énergie nucléaire. Son champ d'intervention se limite strictement au secteur civil, à l'exclusion des activités militaires. L'ASN joue également un rôle actif dans la sensibilisation et l'information du public. Elle veille à la conformité des installations nucléaires (de production, de recherche, de retraitement ou de stockage) aux exigences réglementaires, et délivre les autorisations nécessaires à la détention et à l'utilisation de sources de rayonnements ionisants. Dans le secteur médical, elle contrôle les établissements pratiquant la radiologie, la radiothérapie, la médecine nucléaire ou utilisant des irradiateurs de produits sanguins, afin d'assurer un niveau de radioprotection conforme aux normes en vigueur. L'ASN intervient

---

<sup>24</sup>Al-Harbi, N., Alshamrani, K., Al Ghamdi, M., & AlDosari, M. (2017). *Radiation protection knowledge, attitudes and practices of radiographers in Saudi Arabia*. Journal of Taibah University Medical Sciences, 12(6), 542–546.  
<https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2017.04.007>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1658365517300043>

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

également dans le secteur de la recherche et supervise le transport des matières radioactives par le biais d'inspections et d'exercices de simulation. Son action repose sur trois axes principaux : la réglementation, en conseillant le gouvernement et en intervenant en cas d'urgence radiologique ; le contrôle, via la vérification du respect des obligations réglementaires ; et l'information, notamment à travers la publication d'un rapport annuel à destination du Parlement. Dans le cadre de la relance du programme nucléaire français, une réforme importante a été engagée avec la fusion de l'ASN et de l'IRSN, décidée en avril 2024. Cette réorganisation vise à renforcer l'efficacité de l'action publique et aboutira, au 1er janvier 2025, à la création de la nouvelle Autorité de Sûreté Nucléaire et de Radioprotection (ASRN).<sup>25</sup> [27]

### **3. Principe fondamental de radioprotection :**

La radioprotection regroupe l'ensemble des mesures visant à préserver la santé humaine et l'environnement des effets potentiellement nocifs des rayonnements ionisants. Elle repose sur trois piliers fondamentaux :

#### **3.1.Principe de Justification :**

Toute utilisation de rayonnements ionisants doit être justifiée par un avantage supérieur au risque encouru. Cela signifie que leur emploi n'est acceptable que s'il apporte un bénéfice réel pour l'individu ou pour la société, et lorsqu'il n'existe pas d'alternative moins risquée. *(d'après Laval, 2019)*

#### **3.2.Principe d'Optimisation :**

L'exposition aux rayonnements doit être réduite au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, tout en tenant compte des aspects économiques et sociaux. Il s'agit de limiter la dose de rayonnement à ce qui est strictement nécessaire pour atteindre l'objectif recherché, en minimisant autant que possible les effets indésirables. Ce principe est souvent résumé par l'acronyme ALARA : *As Low As Reasonably Achievable*. *(d'après Laval, 2019)*

---

<sup>25</sup> Connaissance des Énergies. (2024, septembre). ASN (Autorité de sûreté nucléaire). Connaissance des Énergies. <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/asn-autorite-de-surete-nucleaire>

### 3.3.Principe de Limitation des Doses :

Les niveaux d'exposition des personnes aux substances radioactives doivent rester en dessous des seuils fixés par la Commission canadienne de sûreté nucléaire (CCSN). Ces plafonds ne tiennent pas compte des expositions naturelles ni des doses administrées à des fins médicales, comme les examens ou traitements. *(d'après Laval, 2019)<sup>26</sup> [28]*

## Section 4 : Analyse de l'exposition des travailleurs en milieu hospitalier

### 4. Professions à risque :

#### 4.1.Radiologues et manipulateurs radio :

Les radiologues et les manipulateurs en électroradiologie médicale (MERM) occupent une place essentielle dans la gestion des rayonnements ionisants, que ce soit pour des objectifs diagnostiques, thérapeutiques ou de stérilisation. Leur implication dépasse le simple cadre de l'imagerie médicale, notamment lorsqu'il s'agit d'intervenir dans le contexte de l'utilisation d'implants osseux, tels que ceux à base de sulfate de calcium (CS), fréquemment utilisés en chirurgie dentaire et maxillo-faciale. En effet, la stérilisation par rayonnement gamma, bien que largement utilisée pour garantir l'asepsie des matériaux, est susceptible d'engendrer la formation de radicaux libres, ce qui peut entraîner des modifications structurales et mécaniques des biomatériaux, en particulier ceux composés de collagène ou de polymorphes sensibles comme le CSDH (calcium sulfate dihydraté) et le CSHH (hémihydraté). Dans ce contexte, il est indispensable que les professionnels maîtrisent les effets potentiels de l'irradiation sur la stabilité cristalline et la durabilité fonctionnelle des matériaux implantés. Les radiologues et MERM ont également la responsabilité d'ajuster les protocoles de stérilisation en fonction des caractéristiques physico-chimiques des biomatériaux, et de collaborer étroitement avec les chirurgiens afin de garantir une utilisation sûre et efficace des implants, notamment dans des environnements biologiques complexes (salive, sang, protéines, etc.). Une formation approfondie sur les interactions entre rayonnement et matériaux biologiques s'avère donc

---

<sup>26</sup> Meziane .Z, Benrezkallah, C., & Bentahar, D. (2021). *Les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants chez les personnels soignants du CHU Tlemcen (Unité de Radiothérapie du CLCC) et la radioprotection* [Mémoire de fin d'études, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, Faculté de Médecine].

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

cruciale pour anticiper les dégradations potentielles, limiter les échecs cliniques précoces et assurer des résultats thérapeutiques optimaux.<sup>27</sup> [29]

### **4.2. Chirugiens et anesthésistes en radiologie interventionnelle :**

Dans le domaine de la radiologie interventionnelle, les chirurgiens et les anesthésistes-réanimateurs sont exposés à des dangers particuliers, inhérents à la pratique de procédures complexes réalisées sous guidage radiologique. Ces actes, souvent prolongés, s'effectuent dans un environnement où l'exposition aux rayonnements ionisants est répétée, voire constante.

#### **4.2.1. Coopération dans un environnement exposant :**

Ces deux spécialités médicales collaborent étroitement autour du patient, partageant un espace restreint au sein du champ irradié. Cette promiscuité, notamment lors de gestes longs (tels que les embolisations, angioplasties ou implantations de dispositifs), ou en situation d'urgence, engendre une dose cumulée importante, souvent majorée par l'insuffisance ou la mauvaise mise en œuvre des protections radiologiques.

#### **4.2.2. Exposition prolongée et limites de protection :**

Le chirurgien interventionnel se positionne au plus près du générateur de rayons X (par exemple, un amplificateur de brillance), ce qui accroît l'irradiation de zones sensibles telles que la tête, les yeux, le cou et les mains.

L'anesthésiste-réanimateur, bien que placé à une certaine distance du faisceau primaire, n'est pas à l'abri du rayonnement diffusé, surtout lorsqu'il intervient régulièrement pour ajuster les paramètres anesthésiques ou assurer le confort du patient (intubation, administration médicamenteuse, surveillance hémodynamique, etc.).

---

<sup>27</sup> Elshami, W., Abuzaid, M., Al Kawas, E., Al Naemi, H., Tekin, H. O., & Abdalla, M. E. (2020). Assessment of occupational radiation dose among healthcare workers in United Arab Emirates. *Radiation Physics and Chemistry*, 177, 109138. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109138>

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

### **4.2.3. Caractéristiques techniques contraignantes :**

La salle dédiée à la radiologie interventionnelle présente des particularités qui compliquent la mise en œuvre de mesures de radioprotection efficaces, notamment pour l'anesthésiste. Sa posture debout prolongée et son rôle actif auprès du patient limitent l'usage optimal d'écrans protecteurs mobiles.

D'autres contraintes majorent l'exposition :

- Une organisation spatiale éloignant le poste de surveillance anesthésique du champ opératoire,
- L'utilisation de dispositifs nécessitant une faible luminosité ambiante, compliquant la détection visuelle des signaux d'irradiation,
- Un environnement souvent bruyant et encombré, réduisant la fluidité de la communication entre les équipes.

### **4.2.4. Partage des responsabilités et exigences de sécurité :**

La réglementation éthique et professionnelle encadre strictement les missions de chaque acteur. L'anesthésiste-réanimateur, en charge du réveil et du suivi immédiat post-anesthésique, détient la responsabilité exclusive de la prise en charge anesthésique et peut, en cas de conditions jugées dangereuses, refuser légitimement son intervention.

De son côté, le chirurgien est tenu d'assurer une planification rigoureuse, de coopérer activement avec l'équipe d'anesthésie, et de garantir l'application des mesures de protection radiologique.

### **4.2.5. Nécessité d'une coordination rigoureuse :**

La réduction des risques professionnels passe par une coordination soignée entre les membres de l'équipe. Elle repose sur :

- Une évaluation conjointe et anticipée du patient et des risques liés à l'acte,
- Une organisation optimisée des séquences interventionnelles pour réduire la durée d'exposition,
- Le port systématique des équipements de protection individuelle (EPI) : tabliers plombés, lunettes, colliers thyroïdiens, gants spécifiques,

## Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant

---

- La mise en place, dans la mesure du possible, de protections fixes ou mobiles interposées entre la source de rayonnement et le personnel médical.<sup>28</sup> [30]

### 4.3. Techniciens en radiothérapie :

Les techniciens en radiothérapie, également désignés sous le nom de technologues en radio-oncologie, occupent une fonction essentielle dans l'administration des traitements oncologiques par rayonnements ionisants. Ils utilisent des équipements spécialisés tels que les accélérateurs linéaires, les dispositifs au cobalt ou encore les générateurs à rayons X, dans le but de délivrer précisément les doses prescrites par le radio-oncologue. Leur rôle ne se limite pas à l'opération de ces dispositifs : ils travaillent en étroite collaboration avec le physicien médical et le médecin spécialiste pour élaborer le plan de traitement, préparer les sources radioactives scellées (cobalt, radium, césium, etc.) et confectionner les accessoires sur mesure nécessaires à une irradiation ciblée (moules, masques, dispositifs de contention ou d'atténuation).

Au-delà de leur dimension technique, ces professionnels assurent la surveillance clinique et psychologique des patients tout au long du protocole de soins. Ils effectuent des contrôles qualité réguliers sur les équipements, expliquent les effets secondaires possibles aux patients et leur apportent un accompagnement personnalisé. Par ailleurs, ils peuvent également être impliqués dans la formation clinique des étudiants ou la supervision de collègues techniciens.

L'accès à cette profession exige une formation spécialisée en radiothérapie, dispensée dans des établissements d'enseignement collégial ou universitaire, souvent associée à un stage clinique encadré. Dans plusieurs provinces canadiennes, l'exercice est soumis à l'obtention d'un permis délivré par un organisme de réglementation, et l'adhésion à l'Association canadienne des technologues en radiation médicale est requise dans la majorité des cas. Grâce à leur double compétence, à la fois technologique et humaine, les techniciens en radiothérapie

---

<sup>28</sup> **Société Française d'Anesthésie et de Réanimation.** (n.d.). *Recommandations concernant les relations entre anesthésistes-réanimateurs et autres spécialités ou professionnels de santé.* SFAR. <https://sfar.org/recommandations-concernant-les-relations-entre-ar-et-autres-specialites-ou-professionnels-de-sante/>

## Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant

---

sont des intervenants incontournables dans la prise en charge globale des patients atteints de cancer.<sup>29</sup> [31]

### 5. Évaluation de l'exposition :

#### 5.1. Dosimétrie passive :

La dosimétrie passive consiste à mesurer l'exposition individuelle aux rayonnements ionisants à l'aide de dispositifs portables appelés dosimètres, qui enregistrent la dose cumulée reçue sur une période donnée. Ces dispositifs ne fournissent pas d'indication en temps réel et nécessitent une lecture différée en laboratoire pour l'analyse des données.

Plusieurs technologies sont utilisées en dosimétrie passive, chacune reposant sur un principe physique spécifique :

- Radiophotoluminescence (RPL) : utilise un verre phosphate dopé à l'argent. L'exposition aux rayonnements piège des charges qui, lorsqu'elles sont stimulées par un laser UV, émettent une lumière orange dont l'intensité est proportionnelle à la dose reçue. Ce système est principalement utilisé pour la dosimétrie du corps entier (Hp(10)), avec une plage de mesure allant de 10  $\mu$ Sv à 10 Sv.
- Luminescence stimulée optiquement (OSL) : repose sur un cristal d'alumine ( $Al_2O_3$ ) dopé au carbone. Les charges piégées par l'irradiation sont libérées par des impulsions lumineuses, ce qui génère une émission de lumière proportionnelle à la dose. L'OSL est une technologie polyvalente, utilisée aussi bien pour le corps entier que pour les extrémités.
- Thermoluminescence (TLD) : basée sur l'utilisation de fluorure de lithium (LiF). L'énergie emmagasinée par le cristal lors de l'exposition est libérée sous forme de lumière lors du chauffage, permettant d'estimer la dose. Elle est couramment utilisée pour la dosimétrie des extrémités (peau, cristallin) avec une sensibilité de quelques  $\mu$ Sv.
- Détecteurs solides de traces (DST) : utilisés pour la détection des neutrons, ils fonctionnent grâce à une plaque de polymère dans laquelle les protons de recul créent

---

<sup>29</sup> Statistique Canada. (2021). 32121 – *Technologues en radiation médicale*. Classification nationale des professions (CNP) 2021, version 1.0. Consulté le 19 juin 2025, à partir de [https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p3VD\\_f.pl?Function=getVD&TVD=1369127&CVD=1369154&CPV=32121&CST=01052021&CLV=3&MLV=3](https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p3VD_f.pl?Function=getVD&TVD=1369127&CVD=1369154&CPV=32121&CST=01052021&CLV=3&MLV=3)

## Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant

---

des traces détectables après interaction avec des neutrons. Cette méthode permet une évaluation efficace dans les environnements à rayonnement neutronique.

La dosimétrie passive est obligatoire pour les travailleurs classés en catégories A et B, évoluant en zones surveillées ou contrôlées, et permet de mesurer les rayonnements X, gamma (> 15 keV), bêta (> 100 keV), ainsi que les neutrons (de 0,025 eV à 100 MeV). Les grandeurs dosimétriques mesurées sont :

- Hp(0,07) pour la dose cutanée,
- Hp(3) pour la dose au cristallin,
- Hp(10) pour la dose efficace corps entier.

### 5.2. Dosimétrie active (opérationnelle) :

La dosimétrie active, également appelée dosimétrie opérationnelle, repose sur l'utilisation de dosimètres électroniques permettant une mesure en temps réel de la dose de rayonnement reçue ainsi que du débit de dose. Contrairement à la dosimétrie passive, elle offre une surveillance instantanée de l'exposition, accompagnée d'alarmes sonores programmables en cas de dépassement des seuils prédéfinis.

Ces dispositifs électroniques présentent plusieurs fonctionnalités essentielles :

- Un affichage numérique immédiat de la dose cumulée et du débit de dose,
- Une alarme sonore réglable, alertant l'utilisateur en cas de situation à risque,
- Une utilisation obligatoire en zone contrôlée, conformément aux réglementations en vigueur,
- Un rôle complémentaire à la dosimétrie passive, pour une surveillance plus dynamique.

La dosimétrie active offre des avantages considérables dans les environnements à risque, notamment une réactivité accrue, permettant d'agir rapidement en cas d'exposition anormale, et une surveillance continue, particulièrement utile dans les contextes où les niveaux de rayonnement peuvent varier de manière imprévisible. Elle constitue ainsi un outil de prévention essentiel pour assurer la sécurité du personnel exposé aux rayonnements ionisants.<sup>30</sup> [32]

---

<sup>30</sup> CNRS – Délégation générale à la délégation aux risques. (s.d.). *Fiche 11 : Dosimétrie passive et active*. [https://www.dgdr.cnrs.fr/sst/cnps/guides/doc/radioprotection/Fiche11\\_Dosimetrie\\_passive\\_et\\_active.pdf](https://www.dgdr.cnrs.fr/sst/cnps/guides/doc/radioprotection/Fiche11_Dosimetrie_passive_et_active.pdf)

### **5.3. Analyse des résultats dosimétriques dans les blocs opératoires :**

Une étude réalisée au CHU de Nice a permis d'évaluer la perception des risques liés aux rayonnements ionisants (RI) chez les médecins exerçant en bloc opératoire, tout en identifiant les freins à l'application des mesures de radioprotection et les raisons expliquant l'absentéisme aux visites médicales réglementaires. L'enquête, conduite à l'aide d'un questionnaire anonyme en ligne adressé à 227 praticiens, a recueilli 51 réponses (76,5 % d'hommes, 23,5 % de femmes), avec une moyenne d'âge de 40,4 ans. Les résultats révèlent que 64,7 % des médecins interrogés n'ont pas réalisé leur visite médicale obligatoire au cours des quatre dernières années, invoquant principalement un manque d'intérêt (54,8 %) ou de temps (32,3 %). Ce manquement est plus marqué chez les médecins de moins de 40 ans (72,4 %) et chez les hommes (71,8 %). En ce qui concerne l'utilisation des équipements de protection individuelle, notamment le cache-thyroïde, près de la moitié (47,1 %) ne le portent jamais, et plus d'un cinquième rarement, principalement en raison de l'indisponibilité du matériel (33,3 %) ou d'une sous-estimation du risque (36,4 %). En revanche, 80,4 % des médecins déclarent porter régulièrement la veste plombée. S'agissant de la dosimétrie passive, 43,1 % ne portent jamais de dosimètre, souvent faute d'accès aux résultats (35,3 %) ou par manque de disponibilité (32,4 %). Enfin, plus de la moitié des participants (56,9 %) affirment ne pas avoir reçu leur relevé dosimétrique annuel, et une proportion équivalente ignore qu'il est possible de le consulter via la médecine du travail. Ces éléments mettent en évidence un manque d'information et de sensibilisation, ainsi qu'une faible culture de prévention au sein des blocs opératoires, malgré les obligations réglementaires en vigueur.<sup>31</sup> [33]

## **6. Situations à risque élevé au bloc opératoire :**

### **6.1. Bloc opératoire avec fluoroscopie :**

L'AIEA (2022) souligne que l'utilisation de la fluoroscopie au bloc opératoire constitue une situation à risque élevé pour le personnel exposé, en raison de la proximité avec la source de rayonnement et de la durée des procédures. Le guide insiste sur l'importance du port systématique des équipements de protection individuelle (tablier, lunettes, colliers plombés), de la formation continue du personnel, ainsi que de l'optimisation des paramètres techniques

---

<sup>31</sup> Cambon, A. (2020). *Perception des risques liés aux rayonnements ionisants chez les médecins de bloc opératoire au CHU de Nice* [Mémoire de fin d'études, Université de Nice Sophia Antipolis]. DUMAS – Dépôt Universitaire de Mémoires Après Soutenance. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02998415v1/document>

## Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant

---

pour réduire la dose. Une gestion rigoureuse est essentielle pour assurer la sécurité radiologique.<sup>32</sup> [34]

### 6.2. Gestion des incidents et des accidents :

- Des procédures écrites doivent définir les mesures à prendre en cas de défaillance technique ou de non-respect des règles de sécurité entraînant un risque d'irradiation. Ces protocoles doivent décrire les étapes pour sécuriser l'installation et la zone d'accès, ainsi que le retrait du patient si nécessaire.
- Lorsqu'un incident peut entraîner une exposition inhabituelle du personnel, les actions suivantes doivent être mises en œuvre :
  - Application immédiate du protocole adapté.
  - Alerte du chef de service, de la Personne Compétente en Radioprotection (PCR), du médecin du travail, et si besoin, de la personne en charge de la sécurité des sources radioactives (PSRPM).
  - Information du CHSCT ou, à défaut, des représentants du personnel.
  - Si pertinent, signalement au référent en matériovigilance.
  - Déclaration rapide de l'incident à l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) via la division territoriale ou son portail en ligne.
- En cas d'exposition anormale confirmée :
  - Contacter l'IRSN pour une évaluation dosimétrique et la prise en charge médicale.
  - Informer sans délai la division territoriale compétente de l'ASN.
  - Si un dépassement de dose réglementaire est constaté, l'inspection du travail doit également être notifiée. (Source : INRS, *Radiothérapie Externe – Accélérateur de Particules*, 2007).<sup>33</sup> [35]

---

<sup>32</sup> Agence internationale de l'énergie atomique. (2022). *Radioprotection et sûreté radiologique dans les applications médicales des rayonnements ionisants (Guide de sûreté spécifique SSG-46)*. AIEA. [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1775F\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1775F_web.pdf)

<sup>33</sup> Meziane .Z, Benrezkallah, C., & Bentahar, D. (2021). *Les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants chez les personnels soignants du CHU Tlemcen (Unité de Radiothérapie du CLCC) et la radioprotection* [Mémoire de fin d'études, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, Faculté de Médecine].

### **Section 5 : Moyens de protection et bonnes pratiques**

#### **7. Moyens techniques de protection :**

##### **7.1. Blindages en plomb et vitres de protection :**

Parmi les dispositifs techniques de radioprotection, l'utilisation du plomb comme matériau de blindage constitue une mesure incontournable en milieu exposé. Grâce à sa forte densité, il offre une capacité d'atténuation élevée des rayonnements ionisants, notamment les rayons X et gamma. On le retrouve intégré dans les murs, portes blindées, écrans mobiles, ou encore dans les vitres plombées, qui assurent à la fois une barrière radiologique efficace et une visibilité directe sur la zone d'examen, comme dans les salles de commande ou les unités de fluoroscopie. Ces installations visent à protéger non seulement les professionnels de santé tels que les radiologues et les manipulateurs, mais aussi les patients et visiteurs situés à proximité des zones irradiées. La conception et la mise en œuvre de ces dispositifs doivent respecter les normes internationales de sécurité, telles que les Normes de base internationales de sûreté (BSS) de l'AIEA, garantissant ainsi un niveau de protection optimal.

##### **7.2. Optimisation des paramètres d'imagerie médicale :**

L'optimisation des techniques d'imagerie repose sur l'utilisation de technologies avancées permettant de réduire la dose de rayonnement sans compromettre la qualité diagnostique. Des méthodes telles que la reconstruction itérative en tomodensitométrie (CT) permettent d'atténuer le bruit de l'image, autorisant l'utilisation de doses plus faibles. La modulation automatique du courant (AEC) ajuste en temps réel l'intensité du faisceau en fonction de la morphologie du patient, notamment l'épaisseur des tissus traversés. De même, la collimation dynamique, utilisée en CT hélicoïdal, réduit la zone irradiée en adaptant précisément le faisceau au volume anatomique ciblé. L'optimisation passe également par un réglage précis des paramètres techniques, tels que la tension du tube (kVp) et l'intensité du courant (mAs), en fonction de la région explorée et de l'objectif clinique. L'usage de filtres spectraux (aluminium, cuivre) permet en outre d'éliminer les rayonnements non utiles. Des protocoles spécifiques sont appliqués à certains contextes sensibles : en pédiatrie, des réglages adaptés permettent une réduction significative des doses ; en imagerie cardiaque, l'utilisation du gating prospectif limite l'exposition aux seules phases pertinentes du cycle cardiaque. Ces

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

pratiques illustrent l'application concrète du principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable) dans l'imagerie moderne.<sup>34</sup> [36]

### **7.3. Innovations en équipements de radioprotection :**

Dans le domaine de la radiologie interventionnelle, les avancées technologiques ont permis le développement de systèmes de protection innovants visant à renforcer la sécurité du personnel médical exposé aux rayonnements ionisants. En complément des équipements de protection individuelle classiques, tels que les tabliers plombés, les lunettes de protection pour le cristallin et les colliers thyroïdiens, de nouveaux dispositifs ont été conçus pour offrir une protection plus étendue et ergonomique. Parmi ces innovations, on retrouve des cabines de radioprotection mobiles, qui créent une barrière physique entre le personnel et la source de rayonnement, ainsi que des systèmes suspendus, positionnés stratégiquement pour intercepter le rayonnement diffusé. Ces solutions techniques visent à réduire l'exposition cumulative tout en améliorant le confort de travail des radiologues et des cardiologues interventionnels. Leur utilisation contribue ainsi à la mise en œuvre effective du principe ALARA, en optimisant la balance entre efficacité clinique et sécurité du personnel soignant.<sup>35</sup> [37]

## **8. Moyens organisationnels :**

### **8.1. Organisation du travail et rotation du personnel :**

La mise en œuvre de mesures organisationnelles constitue un levier essentiel pour limiter l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants. Conformément à l'article R. 4451-13 du Code du travail, l'employeur est tenu de procéder à une évaluation rigoureuse des risques pour chaque poste exposé, en tenant compte des sources utilisées, des niveaux d'exposition prévisibles et des éventuels incidents. À l'issue de cette analyse, les travailleurs sont classés selon deux catégories réglementaires : la catégorie A, pour les personnes susceptibles de recevoir une dose annuelle supérieure à 6 mSv, soumises à un suivi médical renforcé, et la

---

<sup>34</sup>Dudhe, S. S., Mishra, G. V., Parihar, P., Nimodia, D., & Kumari, A. (2024). *Radiation dose optimization in radiology: A comprehensive review of safeguarding patients and preserving image fidelity*. *Cureus*, 16(5), Article e60846. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11191847/>

<sup>35</sup>Budošová, D., Horváthová, M., Bárđyová, Z., & Balázs, T. (2022, 22 août). Current trends of radiation protection equipment in interventional radiology. *Radiation Protection Dosimetry*, 198(9–11), 554–559. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36005965/>

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

catégorie B, pour celles exposées à des doses comprises entre 1 et 6 mSv/an (article R. 4451-57).

Pour limiter l'exposition cumulative, notamment dans les zones contrôlées à haut risque (zones orange ou rouge), une organisation du temps de travail adaptée est recommandée. Cela inclut la mise en place de rotations régulières du personnel et la planification alternée des tâches à risque, particulièrement lors des actes de radiologie interventionnelle. Par ailleurs, la réglementation (articles R. 4451-58 et R. 4451-59) impose une formation obligatoire en radioprotection pour tout travailleur classé. Celle-ci doit être à la fois initiale et continue, et porter sur la nature des risques, les mesures de prévention, ainsi que les conduites à tenir en cas d'urgence radiologique.

### **8.2. Aménagement des espaces de travail pour limiter l'exposition :**

La conception des lieux de travail joue un rôle majeur dans la stratégie de radioprotection. Il est indispensable de délimiter physiquement les zones en fonction des niveaux d'exposition : les zones surveillées (vertes) concernent des expositions inférieures ou égales à 1 mSv/an, tandis que les zones contrôlées (jaunes, orange, rouges) imposent des accès restreints et un encadrement plus strict (article R. 4451-23). Une signalisation normalisée, conforme à l'arrêté du 15 mai 2006, doit être apposée de manière visible.

L'aménagement comprend également des protections collectives, telles que les écrans mobiles plombés dans les blocs opératoires, ou encore les sas de sécurité dans les salles de scanner et de radiologie interventionnelle, qui empêchent l'ouverture des portes pendant l'émission de rayons X (cf. Décision ASN 2017-DC-0591). Les postes de commande doivent être situés à l'extérieur des zones irradiées ou dans des emplacements assurant une exposition inférieure à 1,25 mSv/mois. Il est également impératif de disposer de boutons d'arrêt d'urgence facilement accessibles, conformément aux recommandations techniques.

L'utilisation des appareils mobiles (radiographie au lit) doit rester exceptionnelle, justifiée par des indications médicales précises, et réservée à du personnel spécifiquement formé. Enfin, dans les zones sensibles comme les sous-sols ou rez-de-chaussée, une vigilance particulière doit être portée à la concentration en radon : des actions correctives sont à mettre

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

en œuvre si les valeurs dépassent 300 Bq/m<sup>3</sup>, avec des contrôles périodiques garantissant la conformité.<sup>36</sup> [38]

### **9. Moyens individuels :**

#### **9.1. Port de dosimètres personnels :**

La surveillance individuelle de l'exposition aux rayonnements ionisants repose sur l'utilisation de dosimètres personnels, qui peuvent être de deux types : passifs ou actifs, en fonction du niveau de risque et de la catégorie professionnelle.

##### **9.1.1. Dosimétrie passive (à lecture différée) :**

Les dosimètres passifs permettent une évaluation a posteriori de la dose cumulée, généralement sur une base mensuelle ou trimestrielle. Parmi les dispositifs utilisés :

- Le badge thermoluminescent (TLD) est couramment employé pour la surveillance standard, notamment des travailleurs classés en catégorie B.
- Le dosifilm, technologie plus ancienne mais encore utilisée, offre une lecture trimestrielle recommandée pour une meilleure précision, avec un seuil d'enregistrement de 0,2 mSv.
- Les dosimètres OSL (luminescence stimulée optiquement) et DPL (radiophotoluminescence) constituent des alternatives modernes homologuées, offrant également une bonne fiabilité.

##### **9.1.2. Dosimétrie active (temps réel) :**

Les dosimètres électroniques, réservés aux travailleurs de catégorie A, permettent une mesure instantanée de l'exposition. Ils sont particulièrement indiqués dans les domaines à forte dose potentielle, comme la radiologie interventionnelle ou la médecine nucléaire, offrant une réactivité immédiate en cas de dépassement de seuil.

---

<sup>36</sup> Autorité de Sûreté Nucléaire. (2024, novembre 12). *Principales dispositions réglementaires de radioprotection applicables en radiologie médicale et dentaire – Édition 2024*. ASN.[https://www.asn.fr/content/download/50876/pdf\\_file/Principales%20dispositions%20r%C3%A9glementaires%20de%20radioprotection%20applicables%20en%20radiologie%20m%C3%A9dicale%20et%20dentaire%20-%20C3%89dition%202024.pdf](https://www.asn.fr/content/download/50876/pdf_file/Principales%20dispositions%20r%C3%A9glementaires%20de%20radioprotection%20applicables%20en%20radiologie%20m%C3%A9dicale%20et%20dentaire%20-%20C3%89dition%202024.pdf)

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

### **9.1.3. Cas particuliers de surveillance :**

La surveillance dosimétrique doit être adaptée à certaines situations spécifiques, notamment lorsqu'il s'agit d'expositions localisées ou sensibles. En radiologie interventionnelle, où les mains du personnel sont particulièrement exposées, la surveillance des extrémités repose sur l'utilisation de bagues thermoluminescentes (TLD) ou de dosifilms portés au poignet. Ces dispositifs passifs permettent d'évaluer la dose absorbée par les mains, une zone que les dosimètres électroniques classiques ne prennent pas en compte. Par ailleurs, dans le cas des femmes enceintes, même lorsqu'elles sont classées en catégorie B (zone surveillée), un suivi renforcé est recommandé. Cela passe par le port d'un dosimètre électronique additionnel, afin de garantir une surveillance plus fine de l'exposition et de pouvoir, si besoin, adapter les conditions de travail en fonction du stade de la grossesse et du niveau de risque.

### **9.1.4. Répartition des dosimètres selon les catégories professionnelles :**

- Catégorie A : Ces professionnels reçoivent un double équipement de surveillance : un dosimètre électronique (en temps réel) et un dosimètre passif mensuel. Cela concerne notamment les radiologues interventionnels, le personnel de curiethérapie à bas débit, ou ceux manipulant des radiopharmaceutiques.
- Catégorie B : Pour ces travailleurs exposés à des doses moindres, un dosimètre passif à lecture trimestrielle est suffisant. Les dispositifs peuvent être un TLD, OSL, DPL ou dosifilm. Cette catégorie regroupe le personnel en radiologie conventionnelle, en scanner, ou en radiothérapie externe.<sup>37</sup> [39]

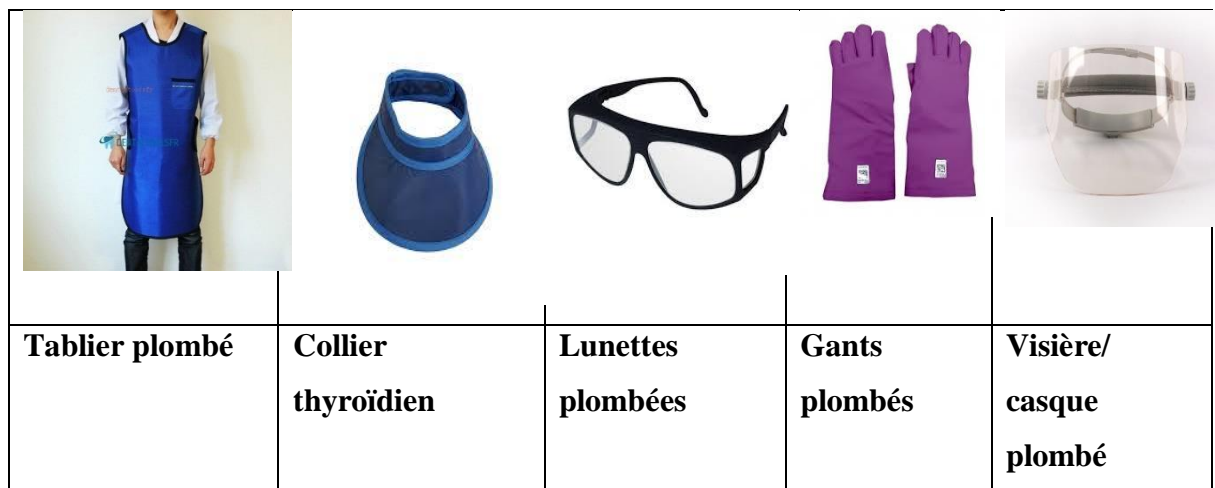
## **9.2. Utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) :**

La protection individuelle repose sur l'utilisation d'Équipements de Protection Individuelle (EPI) adaptés, indispensables pour réduire l'exposition des professionnels aux rayonnements ionisants. Ces équipements, recommandés dans les bonnes pratiques de radioprotection (Fiche Pratique – Les Rayonnements Ionisants, 2018), comprennent principalement :

---

<sup>37</sup> Cordoliani, Y.-S. (2003). Radioprotection en radiologie : aspects réglementaires, techniques et pratiques. *Radioprotection*, 38(4), 565–579. <https://www.radioprotection.org/articles/radiopro/pdf/2003/04/Cordoliani.pdf>

## Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant



**Figure 3 : Les Moyens de Protection Individuelle**

### 9.3. Formation et sensibilisation du personnel :

Afin de garantir la sécurité des travailleurs en zone contrôlée, plusieurs actions de sensibilisation et d'information doivent être mises en œuvre :

- Information individuelle : Chaque personne amenée à intervenir dans une zone à risque doit recevoir de la part de l'employeur une notice d'information spécifique à son poste, accompagnée d'une fiche explicative sur le suivi dosimétrique, dans le cadre du système national SISERI (Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants).
- Affichage réglementaire : Le règlement intérieur doit être visible et accessible à tous. Il doit inclure notamment les consignes de radioprotection ainsi que les coordonnées de la Personne Compétente en Radioprotection (PCR) et du médecin du travail.
- Signalement des zones à risque : Il est indispensable d'afficher clairement la présence éventuelle de zones contrôlées intermittentes.
- Consignes spécifiques à l'installation : Des instructions de sécurité particulières doivent être communiquées aux agents concernés lorsqu'un accès à certains espaces, comme des locaux adjacents ou des toitures, exige impérativement l'arrêt préalable de l'accélérateur.
- Formation en radioprotection et radiobiologie : En complément de la sensibilisation réglementaire, une formation théorique de base en radiobiologie est essentielle. Elle permet au personnel exposé de comprendre les mécanismes d'interaction des rayonnements ionisants avec les cellules, les effets biologiques potentiels (effets déterministes et stochastiques), ainsi que l'importance du respect des principes de

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

radioprotection (justification, optimisation – principe ALARA, et limitation). Cette formation, souvent dispensée par un physicien médical ou un expert en radioprotection, constitue une base indispensable pour développer une culture de sécurité et adopter des comportements adaptés en zone irradiée.

(Source : INRS, *Radiothérapie Externe – Accélérateur de Particules*, 2007)<sup>38</sup> [40]

### **10. Le rôle du physicien médical :**

#### **10.1. La surveillance de l'exposition aux rayonnements :**

Le physicien médical qualifié joue un rôle fondamental dans la maîtrise de l'exposition aux rayonnements ionisants dans les structures de soins. Il est chargé de garantir que les conditions d'exposition, tant pour le personnel que pour les patients, respectent les normes de radioprotection en vigueur.

Ses missions incluent la réalisation de mesures d'ambiance dans les locaux exposés, ainsi que des tests de conformité des équipements émetteurs de rayonnements tels que les appareils de radiologie conventionnelle, les amplificateurs de brillance ou les accélérateurs linéaires. Il supervise également la cartographie des zones à risque, en délimitant les espaces classés (zones surveillées et zones contrôlées), conformément aux recommandations internationales (ICRP 103 et Directive Euratom 2013/59).

En parallèle, il vérifie la conformité des blindages, ainsi que des dispositifs de signalisation et d'accès. Il participe activement à l'élaboration de protocoles de sécurité spécifiques aux services sensibles, notamment en radiologie interventionnelle, en médecine nucléaire ou au bloc opératoire.

#### **10.2. La sensibilisation et la formation du personnel :**

Outre son rôle technique, le physicien médical contribue activement à la promotion d'une culture de radioprotection auprès de l'ensemble du personnel exposé. Il assure des actions de formation et de sensibilisation visant à renforcer les comportements sécuritaires au quotidien.

---

<sup>38</sup>Meziane .Z, Benrezkallah, C., & Bentahar, D. (2021). *Les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants chez les personnels soignants du CHU Tlemcen (Unité de Radiothérapie du CLCC) et la radioprotection* [Mémoire de fin d'études, Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen, Faculté de Médecine].

## **Chapitre 2 : radioprotection du personnel soignant**

---

Cela se traduit par la conception et l'animation de séances de formation, abordant notamment le port et l'utilisation adéquate des équipements de protection individuelle (tabliers plombés, lunettes, colliers thyroïdiens, etc.) et les bonnes pratiques en matière de radioprotection.

Il met en place des sessions ciblées de sensibilisation dans les services à haut niveau d'exposition (cardiologie interventionnelle, neurochirurgie, radiologie interventionnelle), et conçoit des supports pédagogiques adaptés : affiches, protocoles illustrés, fiches réflexes, etc.

Enfin, il veille à intégrer des modules spécifiques concernant la sécurité en IRM (MRI Safety), les effets thermiques liés au SAR, la gestion des patients porteurs d'implants, et la prévention des accidents évitables.

### **10.3. Le suivi dosimétrique des travailleurs exposés :**

La gestion dosimétrique constitue une composante essentielle de la radioprotection en milieu hospitalier. Le physicien médical est chargé de suivre, d'analyser et d'interpréter les doses reçues par chaque travailleur exposé.

Il supervise l'utilisation des dosimètres passifs (films, TLD) et actifs (dosimètres électroniques à lecture instantanée), et veille à la régularité du port et au bon usage de ces dispositifs.

Les résultats dosimétriques font l'objet d'une analyse périodique permettant d'identifier d'éventuels dépassements ou anomalies. En cas de situation non conforme, le physicien propose et met en œuvre des mesures correctives : modification des postes de travail, renforcement des blindages, adaptation des procédures ou réduction des temps d'exposition.

Il participe également à la déclaration et à l'analyse des événements significatifs, en collaboration avec la Personne Compétente en Radioprotection (PCR) et les instances de sécurité de l'établissement.<sup>39</sup> **Source spécifiée non valide.Source spécifiée non valide.Source spécifiée non valide.**

---

<sup>39</sup> Clements, J., Baird, C. T., de Boer, S. F., Fairbent, L. A., Fisher, T. S., Goodwin, J. H., Gress, D. A., Johnson, J. L., Kolsky, K. L., Mageras, G. S., Marsh, R., Martin, M. C., Parker, B. C., Pavord, D. C., Schell, M. C., Seibert, J. A., Stevens, D. M., Tarver, R. B., Waite-Jones, C. G., & Wingreen, N. (2018)

---

**AAPM medical physics practice guideline 10.a.: Scope of practice for clinical medical physics.** *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, 19(6), 11–25. <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/acm2.12469>

International Commission on Radiological Protection (ICRP). (2007).

**The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection.** *ICRP Publication 103*. *Annals of the ICRP*, 37(2–4). <https://journals.sagepub.com/doi/10.1016/j.icrp.2007.10.003>

European Commission. (2014).

**Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation.** *Official Journal of the European Union*, L13, 1–73. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013L0059>

## **Chapitre 3 : Partie Pratique**

### 1. Cadre et Méthodologie de l'Étude :

#### 1.1.Problématique :

En médecine, les rayonnements sont générés soit par le freinage d'électrons accélérés. C'est ce qui se passe dans les tubes à rayons X ou les accélérateurs, soit par des sources radioactives naturelles ou créées, connues sous le nom de radioéléments (Arnaud, 2001). Cette étude vise principalement à évaluer comment les dispositifs de radioprotection utilisés dans la salle d'intervention peuvent diminuer les risques pour la santé liés à une exposition professionnelle aux rayonnements ionisants.

Des recherches récentes montrent qu'un usage adéquat de certaines techniques, telles que la fluoroscopie pulsée, les écrans de protection ou encore le blindage, permettrait de diminuer significativement les niveaux d'exposition, allant de 50 % à 97 % (Muzumdar et al, 2017 ; Hoarau et al, 2016).

L'utilisation régulière des examens de fluorescence dans les salles d'opération, en particulier dans des domaines spécialisés tels que les maladies cardiaques interventionnelles, les traumatismes et la neurochirurgie, expose considérablement le personnel médical et paramédical des radiations ionisées.

Une recherche méthodique réalisée par Ko et al. (2017) a révélé une fréquence élevée d'opacités du cristallin chez les spécialistes utilisant la fluoroscopie, mettant en évidence l'impératif de renforcer les actions préventives et de continuer à étudier les effets à long terme d'une exposition prolongée. [41]

De plus, l'analyse O'CLOC, réalisée par Ciraj-Bjelac et al. (2010), a démontré que les quantités de radiation cumulées reçues au niveau du cristallin par les cardiologues interventionnels pouvaient atteindre des seuils inquiétants, avec des mesures atteignant jusqu'à 1600 mSv (valeur moyenne : 423 mSv), dépassant ainsi largement la limite fixée par la CIPR (500 mSv). Cette circonstance illustre la présence d'un risque oculaire élevé, surtout en l'absence d'équipements de protection appropriés. [42]

## Chapitre 3 : Partie pratique

---

Cette situation démontre l'existence d'un risque important pour les yeux, notamment en l'absence de protections adéquates. Pour faire face à ces dangers, des organisations internationales de premier plan comme la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR), l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) et l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ont défini trois principes essentiels en matière de radioprotection :

- La justification des actes irradiants.
- L'optimisation des doses reçues (principe ALARA).
- et la limitation des expositions professionnelles.

Cependant, comme le soulignent Durán et al. (2013), la mise en œuvre effective de ces principes reste hétérogène selon les établissements. Leur étude recommande plusieurs mesures essentielles : une formation ciblée du personnel, un contrôle qualité systématique, une géométrie d'imagerie optimisée, l'usage régulier de protections physiques et un **suivi** dosimétrique rigoureux. Ces actions constituent les fondements d'une stratégie de radioprotection efficace. [43]

Dès lors, deux interrogations majeures émergent :

- Dans quelle mesure une application rigoureuse des mesures de radioprotection permet-elle de réduire les risques pour le personnel exposé ?
- Quel rôle joue le physicien médical dans l'encadrement, le suivi et l'amélioration continue des pratiques de radioprotection en milieu opératoire ?

Ces questions sont d'autant plus pertinentes que les observations menées sur le terrain ont mis en lumière une variabilité notable des comportements, des niveaux de protection employés et du degré d'intégration du physicien médical dans les protocoles de sécurité.

Cette étude s'inscrit dans une démarche d'analyse des pratiques de radioprotection en bloc opératoire, en particulier dans des services ayant recours à la fluoroscopie. Trois spécialités ont été ciblées en raison de leur exposition fréquente aux rayonnements ionisants : la cardiologie interventionnelle, la traumatologie et la neurochirurgie.

L'objectif principal est de confronter les pratiques observées sur le terrain aux recommandations internationales en matière de radioprotection, afin d'identifier les pratiques

## **Chapitre 3 : Partie pratique**

---

efficaces et les lacunes existantes, dans le but de proposer des améliorations adaptées aux réalités hospitalières et aux contraintes spécifiques de chaque service.<sup>40</sup>

### **2. Objectifs de l'Étude :**

#### **2.1.Objectif principal :**

L'objectif de ce travail est d'identifier les connaissances du personnel du bloc opératoire vis-à-vis des effets de la radioprotection, de vérifier la disponibilité des moyens de protection individuelle et collective

#### **2.2.Objectifs secondaires :**

- Étudier les pratiques de radioprotection dans les trois services étudiés, en prenant en considération leurs spécificités techniques, organisationnelles et humaines.
- Évaluer la sensibilisation du personnel (infirmiers, médecins, chirurgiens) aux principes fondamentaux de la radioprotection, comme justifier les actes, les optimiser selon le principe ALARA, et limiter les doses reçues.
- Repérer les lacunes ou les entraves - qu'elles soient matérielles, organisationnelles ou humaines - qui pourraient compromettre une bonne application des règles de sécurité.
- Analyser le rôle crucial du physicien médical dans l'élaboration et le suivi des stratégies de radioprotection.
- Proposer des recommandations ciblées et opérationnelles, qui pourraient convenir à divers contextes hospitaliers.

## **Chapitre 3 : Partie pratique**

---

### **3. Type d'Étude :**

L'analyse a été effectuée dans trois services cliniques qui emploient l'amplificateur de brillance avec la fluoroscopie : service de cardiologie, la traumatologie et la neurochirurgie.

C'est une étude mixte qui utilise tant des observations avec un questionnaire. Elle s'est déroulée sur une période de trois mois, entre février et juin 2025, répartie comme suit :

- Cardiologie interventionnelle : du 24 février au 26 mars 2025.
- Traumatologie : du 7 avril au 7 mai 2025.
- Neurochirurgie : du 7 mai au 7 juin 2025.

La démarche méthodologique s'est appuyée sur deux axes complémentaires :

- Des observations de terrain au bloc opératoire, notamment concernant l'utilisation des équipements de protection, l'organisation des dispositifs de radioprotection et le comportement des professionnels face au risque ionisant.
- Un questionnaire structuré a été élaboré pour collecter des informations sur le niveau de connaissance, les attitudes et les comportements des professionnels de santé concernant la sécurité radiologique.

### **4. Population Étudiée :**

La recherche s'est concentrée sur un groupe de personnel en santé travaillant dans trois services hospitaliers qui font usage de l'amplificateur de brillance. Différents groupes professionnels directement exposés au risque des rayonnements ionisants sont inclus dans la population étudiée. Elle inclut :

- Des médecins spécialistes (cardiologues interventionnels, chirurgiens orthopédistes, neurochirurgiens).
- Du personnel infirmier de salle d'opération et des infirmiers anesthésistes.
- Des internes et résidents et autres membres du personnel de support présents en salle d'opération (transporteurs, assistants opératoires).

En tout, plusieurs dizaines de professionnels de santé ont été observés dans des conditions réelles et/ou questionnés via un questionnaire anonyme. Cela a permis de collecter des

## **Chapitre 3 : Partie pratique**

---

informations concernant leurs pratiques, leur degré de sensibilisation et leur niveau d'engagement en matière de radioprotection.

### **5. Outils de Collecte : Le Questionnaire Standardisé**

Afin de recueillir des données fiables sur les pratiques de radioprotection en milieu opératoire, un questionnaire conçu a été utilisé comme principal outil d'investigation. Il associe des questions fermées, facilitant le traitement statistique, à des questions ouvertes, permettant d'exprimer des opinions ou des suggestions.

Le formulaire est structuré en cinq parties complémentaires, couvrant l'ensemble des dimensions pertinentes pour l'analyse :

- **Première partie : Informations générales et parcours professionnel**  
Elle vise à caractériser les répondants selon des critères tels que l'âge, le sexe, la fonction occupée, l'ancienneté professionnelle et le temps moyen passé en salle exposée.
- **Deuxième partie : Connaissances en radioprotection**  
Cette partie interroge les savoirs fondamentaux des participants sur les limites d'exposition, les risques liés aux rayonnements, les mesures préventives, ainsi que leur compréhension du fonctionnement de l'amplificateur de brillance.
- **Troisième partie : Comportements et pratiques de protection**  
Elle permet de vérifier si les soignants utilisent correctement les équipements de protection (comme les tabliers plombés, les lunettes ou les écrans), s'ils connaissent les dispositifs collectifs présents dans leur bloc opératoire, s'ils portent régulièrement un dosimètre, et s'ils considèrent que les mesures de radioprotection en place sont suffisantes.
- **Quatrième partie : Réglementation et zonage**  
Cette section vérifie la maîtrise des règles de radioprotection réglementaire, notamment les notions de zonage contrôlé/surveillé et la classification des travailleurs (catégorie A ou B).
- **Cinquième partie : Formation continue et axes d'amélioration**  
Elle explore la participation des professionnels aux actions de formation, leur intérêt pour un renforcement pédagogique, et recueille leurs propositions pour renforcer la sécurité radiologique dans leur service

## **Chapitre 3 : Partie pratique**

---

Distribué de manière anonyme et volontaire dans les trois services ciblés, ce questionnaire a permis de collecter des données, essentielles pour établir un diagnostic des connaissances, pratiques et attentes des soignants en matière de radioprotection.

### **6. Méthodes d'analyse des données :**

On a adopté une méthodologie d'analyse descriptive, pour mener cette étude sur la radioprotection en radiologie interventionnelle. Le but était d'exploiter au mieux les données collectées sur le terrain, tout en prenant en considération les contraintes rencontrées. Les techniques employées ont ainsi été élémentaires, mais ajustées à la réalité de mon stage.

Ces observations ont été très précieuses, car elles m'ont permis de vérifier la cohérence entre ce que le personnel déclarait dans les questionnaires, et ce qui se passait réellement dans les salles d'intervention.

#### **6.1. Exploitation des observations sur le terrain :**

J'ai également effectué des observations directes pendant mes journées au bloc opératoire, en plus des questionnaires. Pendant ces moments, j'ai pris des notes sur :

- Les attitudes du personnel pendant les examens sous scopie.
- L'utilisation effective (ou non) des protections.

Ces observations ont été très précieuses, car elles m'ont permis de vérifier la cohérence entre ce que le personnel déclarait dans les questionnaires, et ce qui se passait réellement dans les salles d'intervention.

### **7. Facteurs d'inclusion :**

Ont été inclus dans l'étude tous les professionnels de santé présents dans la salle d'opération au moment des actes utilisant l'amplificateur de brillance. Cela concerne notamment :

- Les médecins opérateurs (cardiologues, chirurgiens orthopédistes, neurochirurgiens).
- Les anesthésistes.
- Les infirmiers de bloc opératoire.
- Les aides-soignants ou aides opératoires.

## **Chapitre 3 : Partie pratique**

---

- Ainsi que les résidents et internes en formation, directement impliqués dans la prise en charge des patients au bloc opératoire.

### **8. Facteurs d'exclusion :**

Ont été exclus :

- Les membres du personnel exerçant au bloc opératoire mais nonexposés aux rayonnements, c'est-à-dire ceux n'intervenant pas lors des actes utilisant un amplificateur de brillance,
- Ainsi que les sujets ayant refusé de participer à l'enquête, malgré les garanties d'anonymat

### **9. Analyse des données par le logiciel :**

- Le questionnaire a été conçu à l'aide de Google Forms, et les réponses ont été consultées et remplies via le navigateur Microsoft Edge.
- Les données recueillies ont ensuite été exportées vers Microsoft Excel (version 2013).
- L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel IBM SPSS Statistics, version 23.

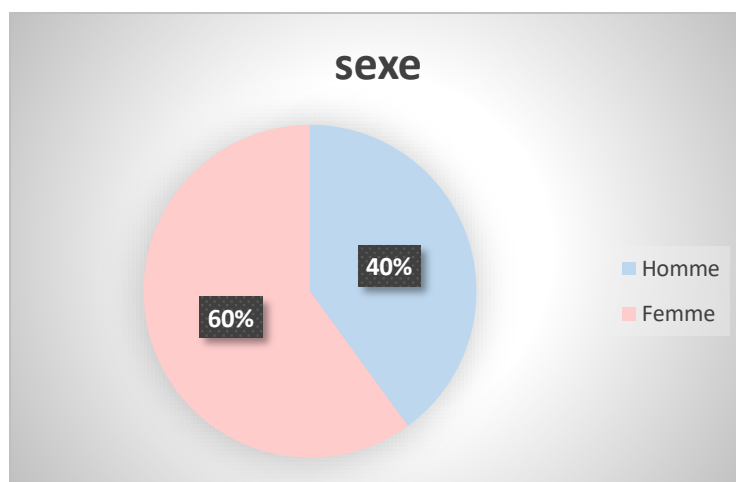
**Résultat d'Etude**

### 10. Analyse descriptive de la population :

#### 10.1. Répartition selon le sexe :

Ainsi, dans le groupe, on a 32 praticiens de la santé, répartis dans trois services : 10 en cardiologie interventionnelle, 11 en traumatologie et 11 en neurochirurgie. Ensuite, en examinant par sexe, on observe des tendances distinctes en fonction des spécialités.

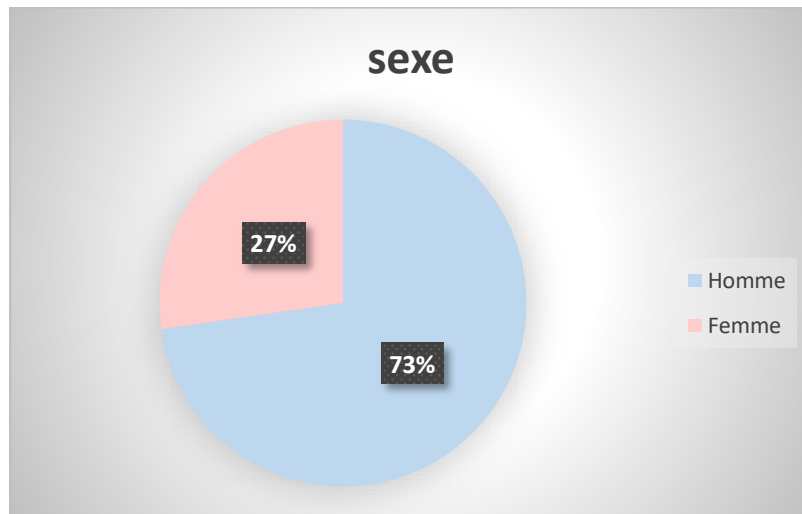
##### 10.1.1. Service de cardiologie interventionnelle :



**Figure 4 : Répartition de la population selon le sexe dans le service de cardiologie interventionnelle**

- La répartition selon le sexe dans le service de cardiologie interventionnelle révèle une légère prédominance féminine, avec 6 femmes (60 %) contre 4 hommes (40 %) parmi les répondants.
- Cette configuration indique une bonne représentativité des deux sexes au sein de l'équipe, suggérant une certaine parité professionnelle dans ce bloc opératoire.

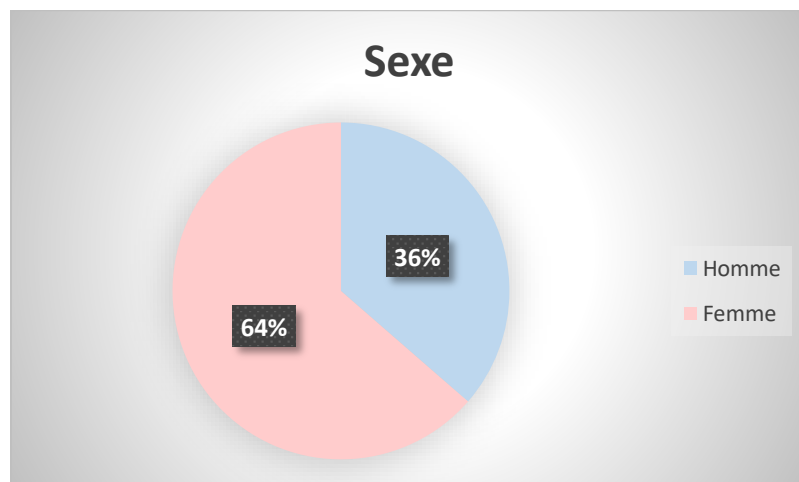
### 10.1.2. Service de traumatologie :



**Figure 5 : Répartition de la population selon le sexe dans le service de traumatologie**

- En traumatologie, la présence masculine est largement dominante, avec 8 hommes (73 %) contre 3 femmes (27 %).
- Cette répartition reflète une équipe plus masculinisée dans ce service, ce qui pourrait être lié à la nature plus physique ou technique des actes réalisés en traumatologie.

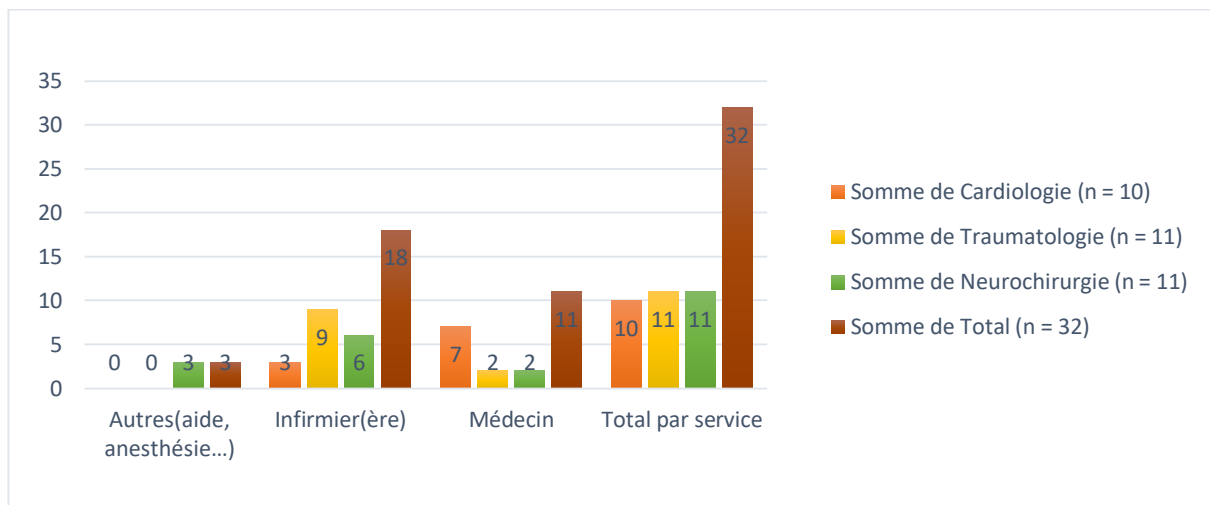
### 1. Service de neurochirurgie :



**Figure 6 : Répartition de la population selon le sexe dans le service de neurochirurgie**

- En neurochirurgie, une majorité de femmes est observée 64 %, contre 36 % d'hommes. Cette prédominance féminine est liée à la forte présence du personnel paramédical féminin dans ce service.

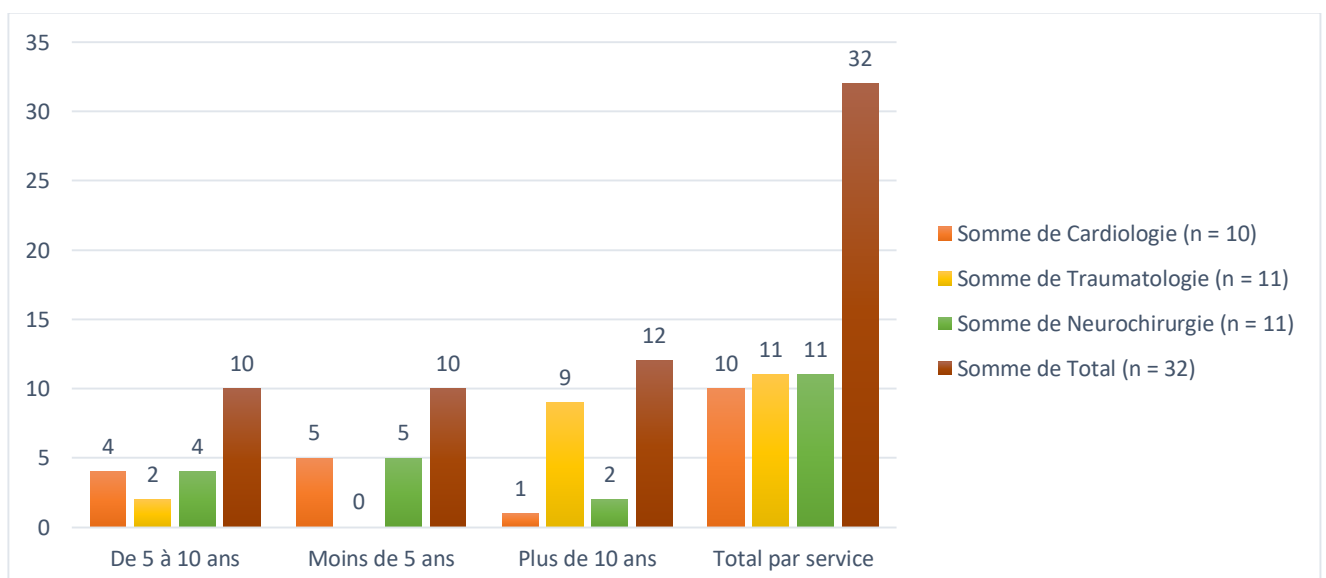
### 10.2. Répartition selon la catégorie professionnelle :



**Figure 7 : Répartition des professionnels de santé par fonction et par service**

- Le groupe le plus représenté de l'échantillon est constitué par les infirmiers et infirmières, avec 18 participants, suivi des médecins qui sont 11, et enfin d'autres professionnels tels que l'aide médico-administratif et l'anesthésiste, totalisant 3 participants. La cardiologie regroupe la majorité des médecins (7 sur 10), alors que les infirmier(e)s sont majoritairement présents en traumatologie (9 sur 11) et en neurochirurgie (6 sur 11).

### 10.3. Répartition selon l'ancienneté dans le domaine médical :



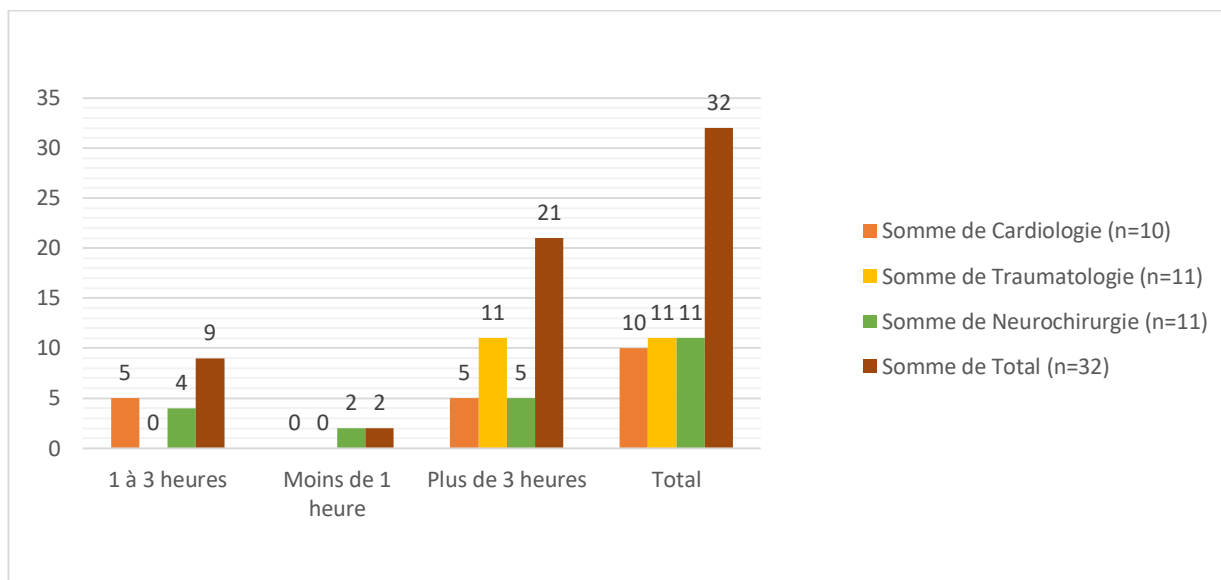
**Figure 8 : Répartition des professionnels selon l'ancienneté dans le domaine médical**

- La plupart des spécialistes en cardiologie (9 sur 10) ont une expérience inférieure à 10 ans, tandis que leurs confrères en traumatologie affichent une ancienneté plus marquée (9 sur

## Résultat d'Etude

11 comptent plus de 10 ans). Dans le domaine de la neurochirurgie, la distribution est plus équilibrée entre les trois catégories.

### 10.4. Temps moyen d'exposition aux rayonnements par jour :

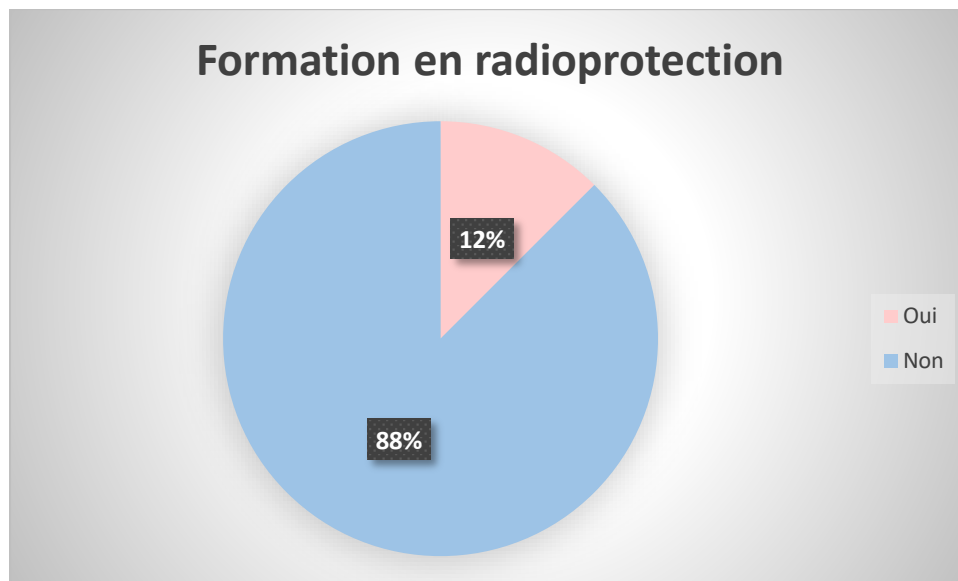


**Figure 9 : Répartition du personnel selon le temps moyen d'exposition quotidien aux rayonnements ionisants**

- Le temps d'exposition aux rayonnements ionisants varie selon les services. En traumatologie, tous les professionnels rapportent une exposition quotidienne supérieure à trois heures, traduisant un usage intensif de l'imagerie. En cardiologie interventionnelle, la répartition est équilibrée entre 1 à 3 heures et plus de 3 heures, selon les procédures réalisées. En neurochirurgie, les résultats sont plus hétérogènes, allant de moins d'une heure à des durées plus longues, en lien avec la nature ponctuelle de l'imagerie et l'implication variable du personnel.

### 11. Connaissances en radioprotection :

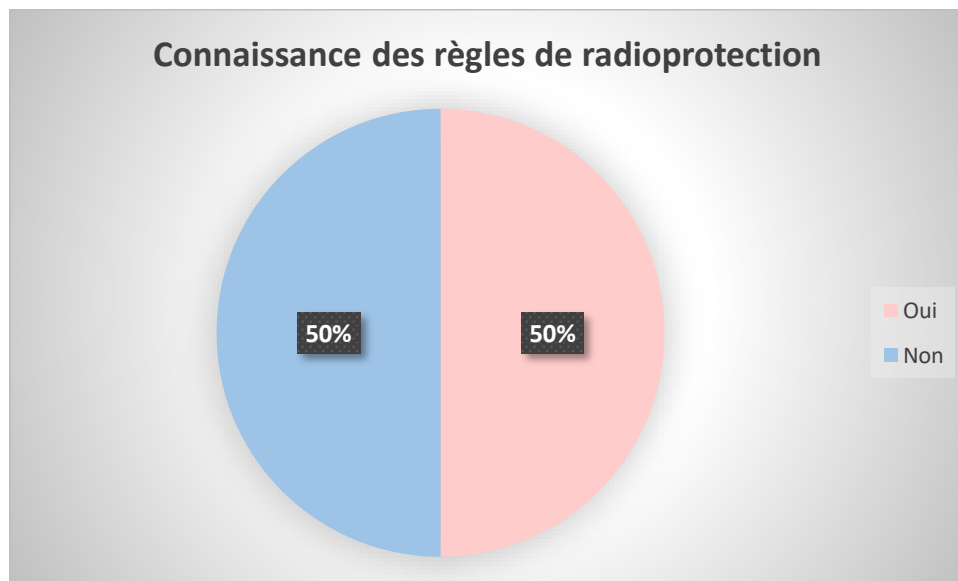
#### 11.1. Formation spécifique reçue :



**Figure 10 : Répartition des répondants selon la réception d'une formation en radioprotection – Service de cardiologie interventionnelle**

- Sur l'ensemble des 32 professionnels de santé interrogés, seulement 4 (12 %) déclarent avoir reçu une formation spécifique en radioprotection, contre 28 (88 %) qui ne l'ont jamais reçue.
- Cette situation révèle un déficit important de formation parmi les personnels exposés aux rayonnements ionisants, toutes disciplines confondues. Ce manque de sensibilisation constitue un risque accru et souligne l'urgence d'intégrer des sessions de formation systématiques au sein des services concernés.

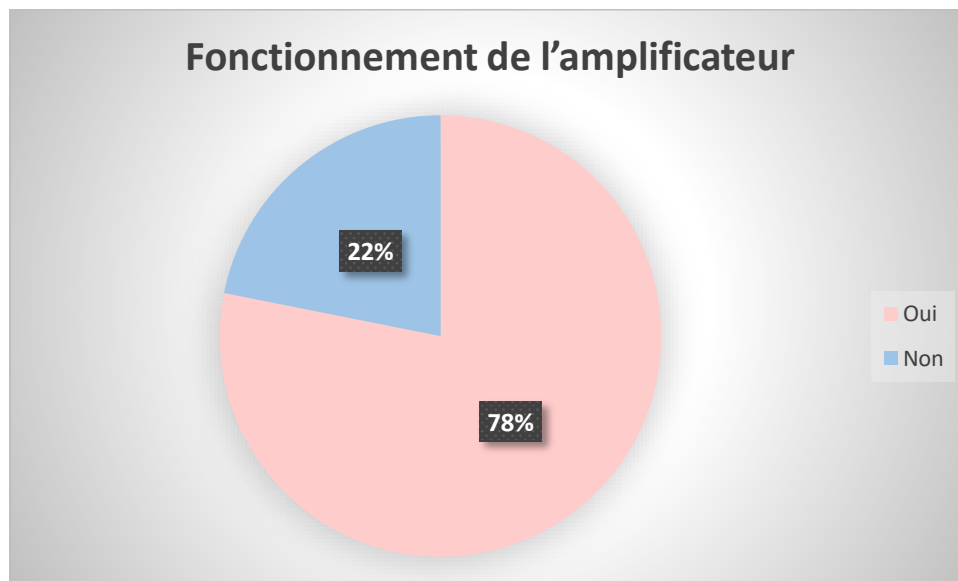
### 11.2. Connaissance des règles de radioprotection :



**Figure 11 : Connaissance des règles de radioprotection parmi les professionnels de santé (n = 32)**

- Sur l'ensemble des participants, 50 % déclarent connaître les principes fondamentaux de la radioprotection, tandis que l'autre moitié (50 %) reconnaît ne pas les maîtriser. Bien que cette répartition semble équilibrée à première vue, elle masque en réalité de fortes disparités selon les services.
- Ces écarts traduisent une inégalité dans l'accès à l'information et à la formation en radioprotection, et soulignent l'urgence de renforcer les actions pédagogiques, en particulier dans les services où l'exposition aux rayonnements ionisants est fréquente et prolongée.

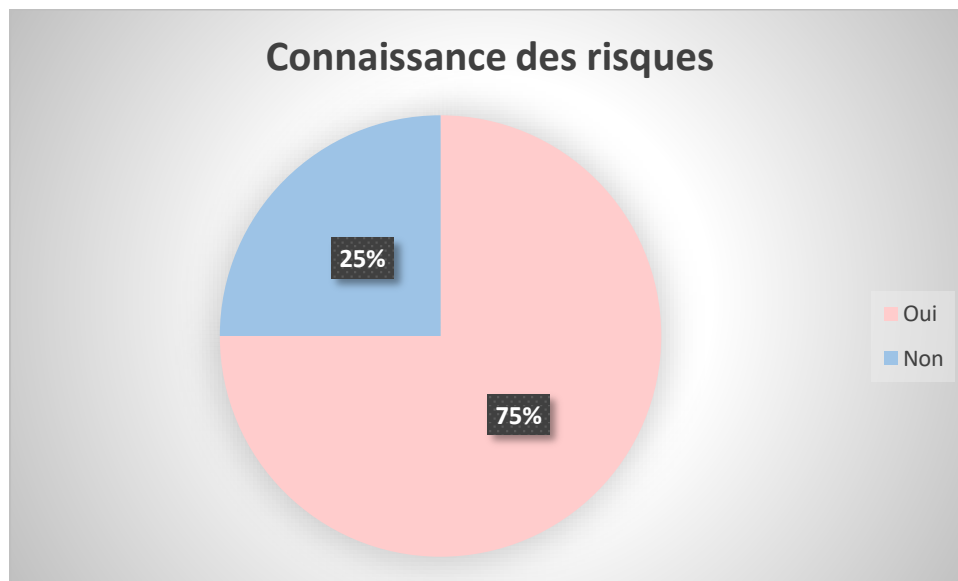
### 11.3. Compréhension du fonctionnement de l'amplificateur :



**Figure 12 : Connaissance du fonctionnement de l'amplificateur de brillance parmi les professionnels interrogés.**

- La majorité des professionnels interrogés (78 %) déclare connaître le fonctionnement de l'amplificateur de brillance, un dispositif central en radiologie interventionnelle. Toutefois, la présence de 22 % de réponses négatives met en lumière la nécessité de renforcer les connaissances techniques sur cet équipement afin d'assurer une utilisation optimale et sécurisée.

### 11.4. Connaissance des risques liés à l'exposition :

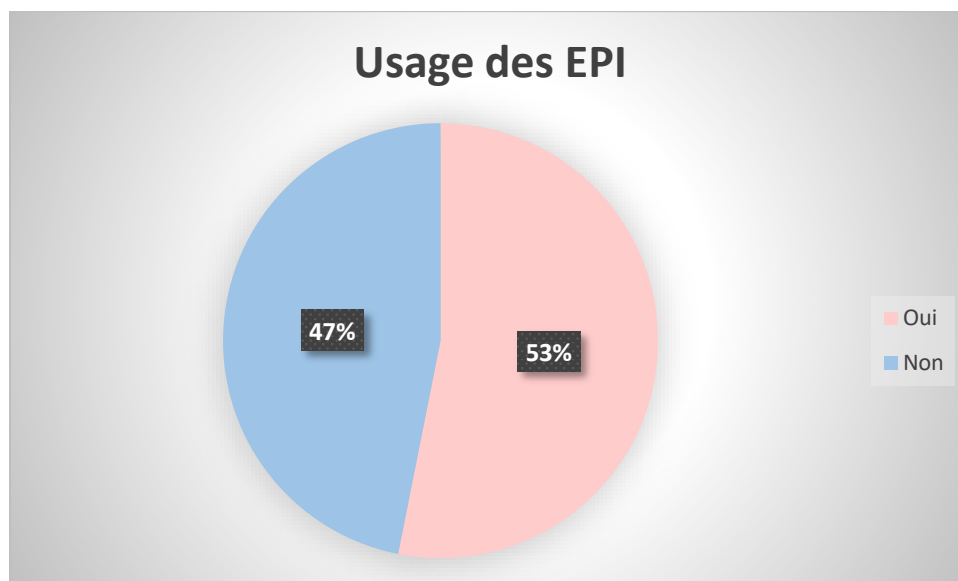


**Figure 13 : Connaissance des risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants par les professionnels interrogés.**

- Trois quarts des professionnels interrogés (75 %) déclarent connaître les risques spécifiques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants. Ce résultat montre un niveau de sensibilisation relativement satisfaisant, bien qu'une part non négligeable (25 %) reste encore insuffisamment informée, ce qui justifie la nécessité de renforcer la prévention et les rappels réguliers sur les risques professionnels.

### 12. Pratiques et mesures de protection :

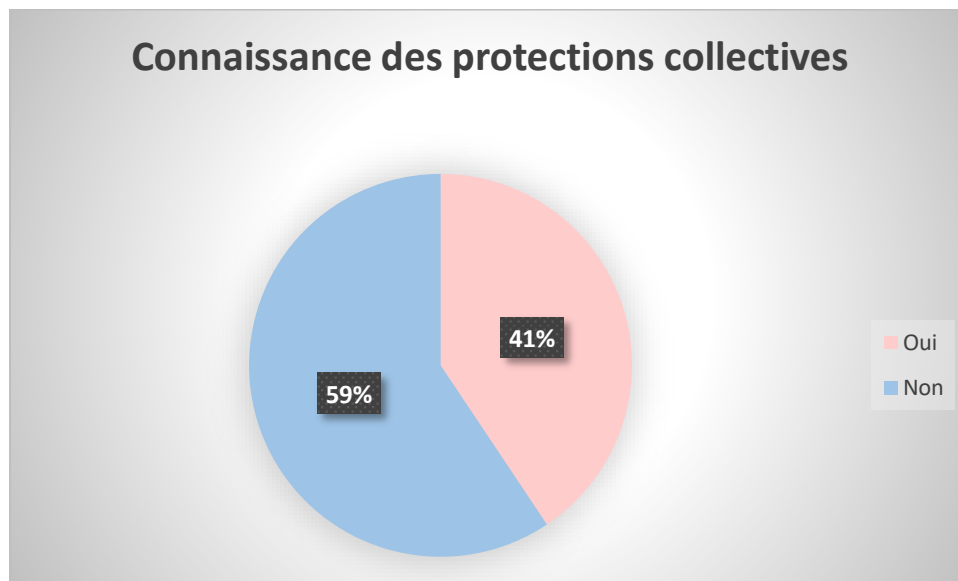
#### 12.1. Utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) :



**Figure 14 : Répartition des réponses concernant l'utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) par service**

- Un peu plus de la moitié des professionnels interrogés (53 %) déclarent utiliser systématiquement les équipements de protection individuelle (EPI) lors de leur exposition aux rayonnements ionisants. Ce chiffre reste insuffisant au regard des exigences de sécurité, soulignant la nécessité de renforcer l'application des mesures de protection et de promouvoir une culture de prévention plus rigoureuse dans l'ensemble des services.

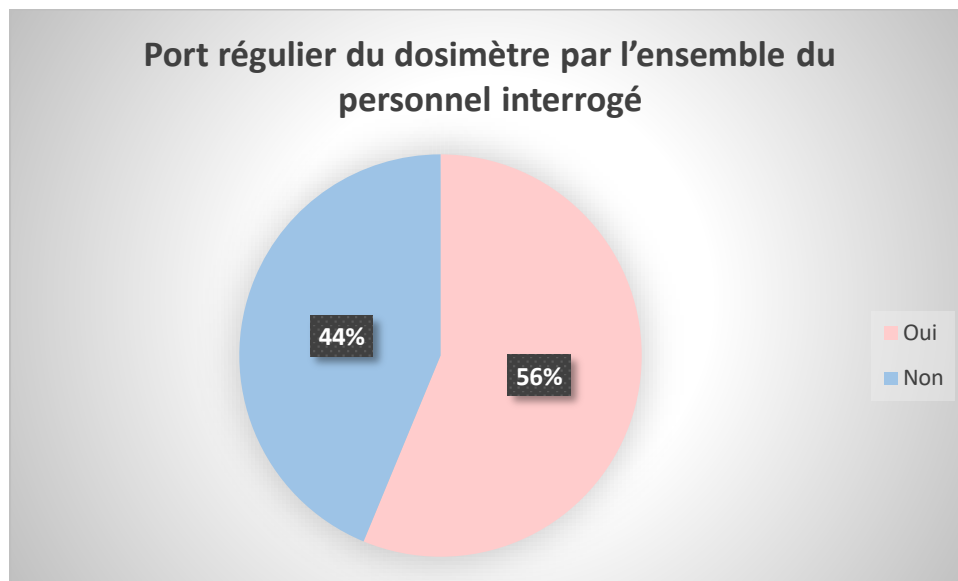
### 12.2. Connaissance des protections collectives :



**Figure 15 : Répartition du personnel selon la connaissance des protections collectives mises en place au bloc opératoire**

- Moins de la moitié des professionnels interrogés (41 %) déclarent connaître les protections collectives mises en place dans leur bloc opératoire. Cette méconnaissance, partagée par 59 % des répondants, révèle un déficit d'information ou de communication autour des dispositifs de sécurité disponibles, et souligne la nécessité d'une meilleure sensibilisation du personnel sur les mesures collectives de radioprotection.

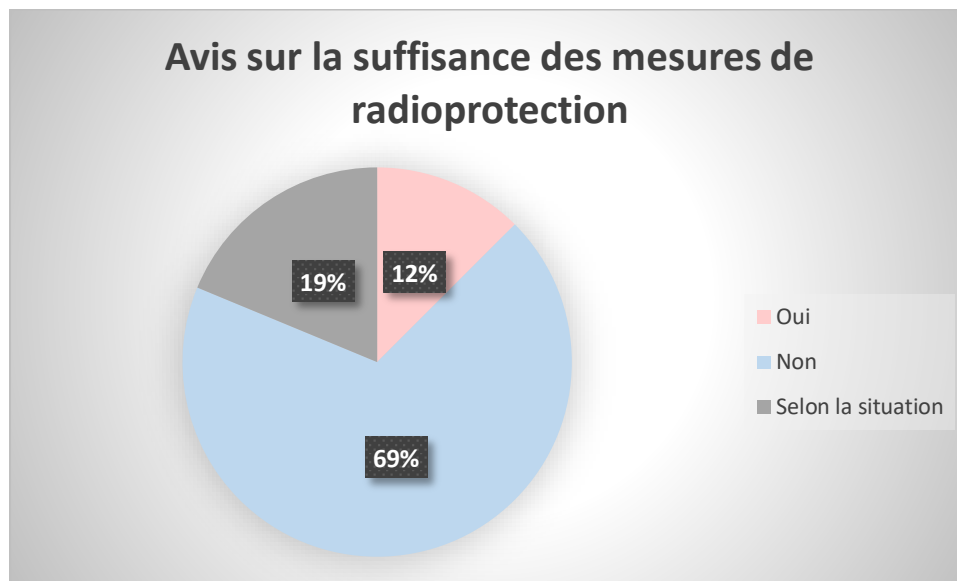
### 12.3. Port du dosimètre :



**Figure 16 : Répartition du port régulier du dosimètre parmi l'ensemble du personnel interrogé.**

- Un peu plus de la moitié des professionnels sondés (56 %) affirment qu'ils portent souvent un dosimètre pour évaluer leur exposition aux radiations ionisantes. La traumatologie est en tête avec la plus grande conformité, comptant 9 utilisateurs réguliers, tandis que la neurochirurgie est à l'autre bout du spectre avec seulement 4 professionnels impliqués. Cette issue met en évidence la nécessité de standardiser les méthodes de surveillance dosimétrique entre les services exposés.

### 12.4. Avis sur la suffisance des mesures en place :

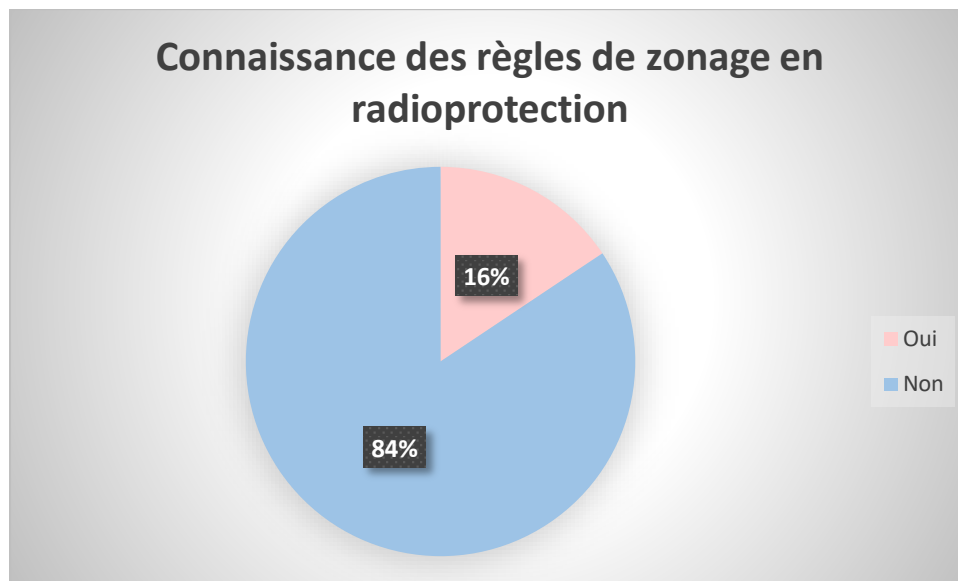


**Figure 17 : Répartition des avis du personnel sur la suffisance des mesures de radioprotection selon les services.**

- L'analyse des réponses recueillies montre que la majorité du personnel interrogé (69 %) considère que les mesures de radioprotection en place dans leur service sont insuffisantes. Seuls 4 professionnels sur 32 (12 %) estiment que les mesures sont suffisantes, tandis que 6 participants (19 %) nuancent leur avis en répondant "selon la situation".
- Ce constat met en évidence une perception globalement négative de la qualité des dispositifs de protection actuellement appliqués, soulignant la nécessité d'évaluer, renforcer et adapter les pratiques de radioprotection dans les blocs opératoires, en fonction des spécificités de chaque service.

### 13. Réglementation et classification :

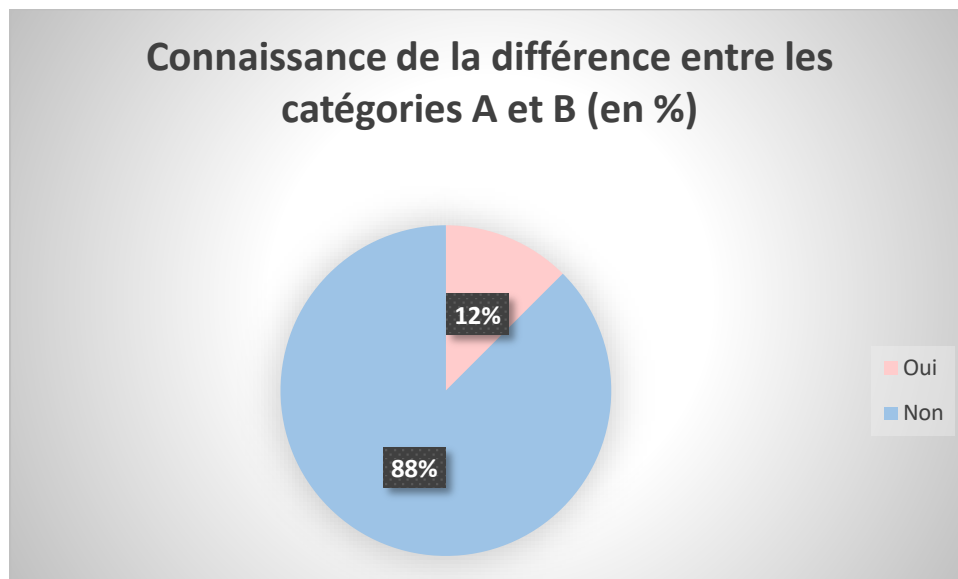
#### 13.1. Connaissance du zonage :



**Figure 18 : Répartition des réponses concernant la connaissance des règles de zonage en radioprotection selon les services**

- Un pourcentage élevé de professionnels sondés (84%) n'est pas au courant des règles de zonage en radioprotection, particulièrement dans les services de traumatologie et de neurochirurgie où cette ignorance est complète. Uniquement 16 % du personnel, majoritairement en cardiologie, ont rapporté avoir une connaissance de ces règles. Cette lacune en matière de connaissance peut conduire à une gestion inappropriée de l'exposition aux rayonnements dans les zones soumises à réglementation.

#### 13.2. Compréhension de la différence entre les deux catégories :

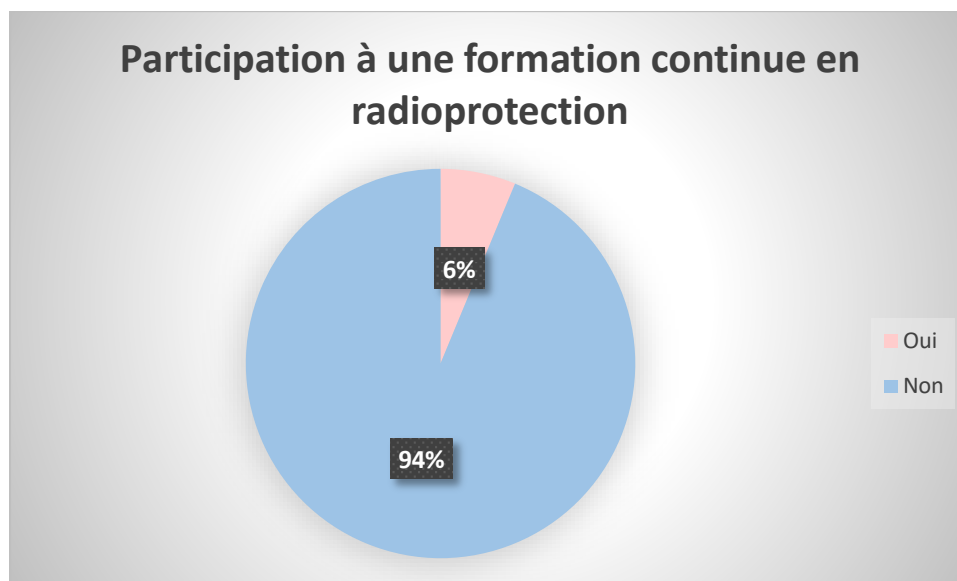


**Figure 19 : Répartition des réponses concernant la classification en catégorie A ou B en radioprotection.**

- La plupart des professionnels sondés (88 %) ne parviennent pas à différencier les travailleurs de la catégorie A de ceux de la catégorie B en matière de radioprotection. Personne dans le service de cardiologie n'a cette information, et seulement quelques personnes des services de traumatologie et de neurochirurgie en ont connaissance. Cette absence pourrait nuire à la compréhension des périls encourus et des actions de suivi propres à chaque groupe.

### 14. Formation continue et suggestions d'amélioration :

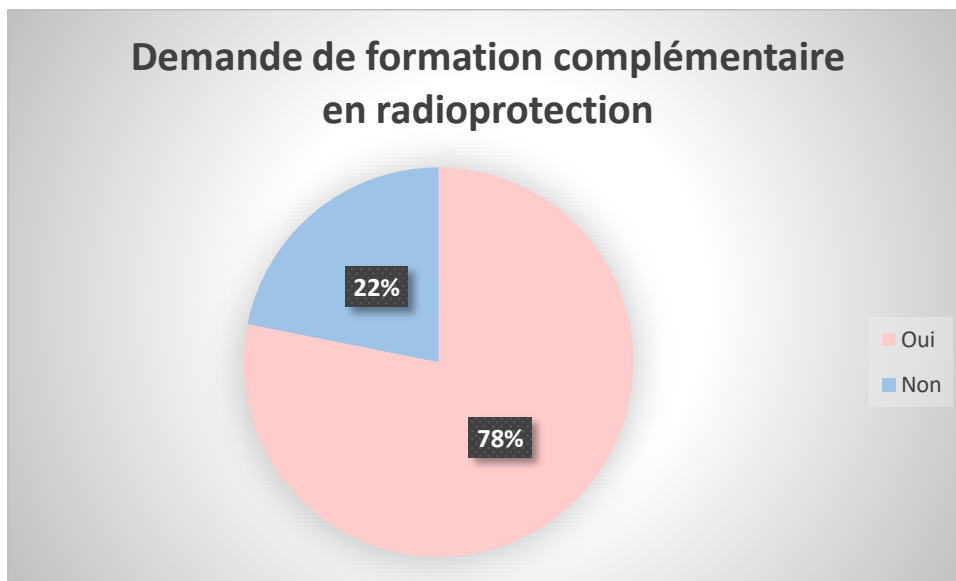
#### 14.1. Participation à une formation continue :



**Figure 20 : Répartition des professionnels ayant participé à une formation continue en radioprotection selon les services interrogés.**

- Une grande part des professionnels sondés (94 %) n'a jamais suivi de formation continue en matière de radioprotection. On note une tendance particulièrement prononcée dans les services de cardiologie et de neurochirurgie, où on comptabilise zéro participant pour le premier et un pour le second. Cette observation met en évidence le besoin pressant de renforcer les programmes de formation continue pour garantir une protection optimale du personnel exposé.

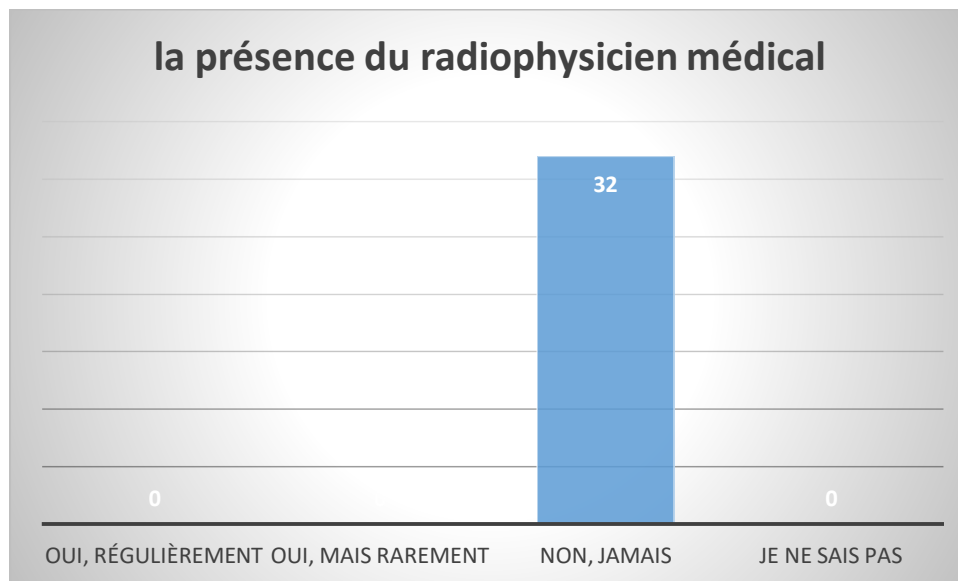
### 14.2. Demande de formation complémentaire :



**Figure 21 : Avis des professionnels sur l'utilité d'une formation complémentaire en radioprotection et sur l'utilisation de l'amplificateur de brillance**

- Une large majorité des répondants (78 %) exprime le besoin d'une formation complémentaire en radioprotection et sur l'utilisation sécurisée de l'amplificateur de brillance. Ce résultat traduit une prise de conscience collective quant à l'importance de renforcer les compétences du personnel exposé, dans une logique de prévention et de sécurité accrue en milieu opératoire.

### 15. Implication du radiophysicien médical dans les blocs opératoires :



**Figure 22 : Répartition des réponses concernant la présence du radiophysicien médical dans les services étudiés.**

- L'analyse des réponses révèle une absence absolue du radiophysicien médical dans l'ensemble des services investigués. En effet, les 32 professionnels de santé interrogés, issus des blocs opératoires de cardiologie interventionnelle, de traumatologie et de neurochirurgie, ont tous déclaré n'avoir jamais bénéficié de l'intervention de ce spécialiste dans leur service. Aucune réponse n'a mentionné une présence régulière, ponctuelle ou même exceptionnelle du radiophysicien médical dans le cadre des activités de radioprotection.

## **Discussion**

## Discussion

---

Cette étude, conduite au sein des blocs opératoires du CHU de Tlemcen dans les services de cardiologie interventionnelle, de traumatologie et de neurochirurgie, avait pour finalité d'évaluer les pratiques de radioprotection du personnel soignant exposé aux rayonnements ionisants émis par l'amplificateur de brillance. L'analyse des données issues du questionnaire administré a permis d'identifier des pratiques satisfaisantes dans certains contextes, mais aussi des carences importantes dans d'autres. La présente discussion vise à analyser les résultats les plus significatifs, en les confrontant aux travaux antérieurs et aux recommandations en vigueur.

La répartition des participants selon le genre révèle une relative parité, avec 54 % de femmes et 46 % d'hommes, soit un sex-ratio de 0,85. Ce profil mixte est représentatif de la diversité du personnel hospitalier, en particulier dans les blocs opératoires où les professions paramédicales sont majoritairement féminines. Cette tendance contraste toutefois avec celle observée dans certaines études régionales, comme celle de Kraiem et al. (2021) en Tunisie, qui rapportent un sex-ratio masculin de 1,45 dans les services à composante technique [44]. Ces différences peuvent être attribuées à des facteurs liés à l'organisation locale du travail, aux spécialisations et aux dynamiques de recrutement propres à chaque établissement.<sup>41</sup>

Sur le plan des connaissances en radioprotection, les résultats révèlent un déficit préoccupant. En effet, seuls 35 % des professionnels interrogés affirment avoir reçu une formation spécifique dans ce domaine. Si la cardiologie interventionnelle se distingue avec un taux de formation de 100 %, les services de traumatologie et de neurochirurgie affichent des taux nettement plus faibles (respectivement 23 % et 19 %). Cette disparité reflète une inégalité d'accès à l'information et à la prévention, et corrobore les résultats d'Adou et al. (2022) à Abidjan [45], où 77 % du personnel médical interrogé n'avait bénéficié d'aucune formation en radioprotection. Des résultats similaires ont été relevés par Meziane, Chabni et Taleb (2020) [46] au sein du même établissement hospitalier, soulignant l'urgence d'un programme de formation uniforme et obligatoire pour tous les professionnels exposés.<sup>42</sup>

Par ailleurs, la méconnaissance des fondements réglementaires de la radioprotection, notamment ceux relatifs au zonage (zones surveillées, zones contrôlées), a également été mise

---

<sup>41</sup> Kraiem, H., Mzoughi, R., Besbes, H., & Brahmi, H. (2021). *Évaluation des connaissances en radioprotection du personnel médical tunisien exposé aux rayonnements ionisants*.

<https://www.researchgate.net/publication/356574651>

<sup>42</sup> Adou, A., Koffi, K., Kouamé, Y. N., & Ehouman, A. (2022). *Connaissances, attitudes et pratiques du personnel médical en matière de radioprotection à Abidjan*.

<https://www.researchgate.net/publication/365265156>

## Discussion

---

en évidence. Un grand nombre de répondants ne sont pas en mesure de définir correctement ces zones ni d'identifier les obligations qui s'y rapportent. Ce constat fait écho à l'étude tunisienne de Kamoun et al. (2015) [47], selon laquelle 66 % des personnels interrogés ignoraient la réglementation nationale en vigueur, et 87 % ne savaient pas reconnaître les composants techniques de l'amplificateur de brillance. Ce manque de connaissances constitue un obstacle majeur à l'application effective des principes fondamentaux définis par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) [48], à savoir la justification des actes, l'optimisation des doses (principe ALARA) et la limitation de l'exposition.<sup>43</sup>

L'analyse du port du dosimètre révèle également des écarts importants entre les services. Si 85 % des professionnels en cardiologie interventionnelle déclarent porter leur dosimètre régulièrement, cette proportion tombe à 38 % en traumatologie et à 27 % en neurochirurgie. Ces chiffres sont comparables à ceux relevés par Garron et al. (2013) dans les hôpitaux parisiens [49], où le suivi dosimétrique restait lacunaire malgré son caractère obligatoire. L'IRSN (2022) rappelle pourtant que le port du dosimètre est impératif dans toutes les zones classées, et qu'il constitue un élément central du suivi médical des travailleurs exposés. L'absence de port régulier témoigne d'un manque de sensibilisation, mais aussi d'un défaut de contrôle institutionnel [50].<sup>44</sup>

En matière d'équipements de protection individuelle, le port du tablier plombé est correctement observé, ce qui constitue un point positif. Toutefois, l'usage du protège-thyroïde et des lunettes plombées reste très limité (moins de 30 %), en contradiction avec les recommandations de l'IRSN et de la CIPR, qui insistent sur la nécessité de protéger les organes radiosensibles, notamment le cristallin et la thyroïde. Adou et al. (2022) ont rapporté des chiffres similaires à Abidjan [45], où seules 12 % des personnes interrogées utilisaient des lunettes plombées, bien que 86 % portaient la thyroïdienne. Cette sous-utilisation peut

---

<sup>43</sup> Kamoun, C., Attia, D., Hammou, A., & Kamoun, W. (2015). *Évaluation des pratiques de radioprotection dans les services hospitaliers en Tunisie*. Journal de Radioprotection, 50(1), 55–62.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1630164015000315>

ICRP – International Commission on Radiological Protection. (2007). *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection* (Publication 103). Annals of the ICRP, 37(2–4).

<https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>

<sup>44</sup> Garron, C., Bigot, J. L., Masson, A., Létourneau, D., & Fabriès, J. F. (2013). *Exposition des praticiens en radiologie interventionnelle*. INRS, Dossier Technique.

<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20962>

IRSN – Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire. (2022). *Radioprotection dans les blocs opératoires : Bonnes pratiques et obligations réglementaires*.

<https://www.irsn.fr>

## Discussion

---

s'expliquer par un manque de disponibilité de l'équipement, une gêne perçue à l'usage ou encore une minimisation des risques.<sup>45</sup>

Un autre résultat marquant est la forte demande exprimée par le personnel pour bénéficier d'une formation complémentaire. En effet, 78 % des participants ont déclaré souhaiter renforcer leurs compétences en radioprotection, avec un taux d'adhésion de 100 % en cardiologie. Cette demande rejoint les observations faites par Tarek et al. (2022) et Meziani et al. (2021), qui soulignent que les formations spécifiques sont un levier essentiel pour améliorer les pratiques, réduire les comportements à risque et développer une culture de sécurité durable. Elle reflète également une prise de conscience croissante des risques liés à l'exposition chronique aux rayonnements ionisants.<sup>46</sup>

Enfin, plusieurs difficultés ont été rencontrées lors de la conduite de cette étude. Le niveau de sensibilisation très variable des répondants a nécessité une reformulation fréquente des questions du questionnaire, pouvant influencer la clarté des réponses. Le désintérêt manifeste de certains professionnels (notamment, aides opératoires et anesthésistes) pour le suivi dosimétrique révèle une perception insuffisante du risque, parfois perçue comme abstrait ou négligeable.

En définitive, cette étude met en évidence une hétérogénéité importante des pratiques de radioprotection au sein des blocs opératoires, avec des écarts marqués entre les services. Bien que certains efforts soient déjà visibles, notamment en cardiologie interventionnelle, de nombreuses insuffisances persistent. Il apparaît indispensable de généraliser la formation continue, de renforcer le suivi dosimétrique, d'assurer la mise à disposition effective des équipements de protection et de responsabiliser l'ensemble du personnel exposé. La désignation formelle et active de Personnes Compétentes en Radioprotection (PCR), chargées de veiller à l'application quotidienne des règles de sécurité, devrait également devenir une

---

<sup>45</sup> ICRP – International Commission on Radiological Protection. (2007). *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection* (Publication 103). Annals of the ICRP, 37(2–4).

<https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>

Adou, A., Koffi, K., Kouamé, Y. N., & Ehouman, A. (2022). *Connaissances, attitudes et pratiques du personnel médical en matière de radioprotection à Abidjan*.

<https://www.researchgate.net/publication/365265156>

<sup>46</sup> Meziane, F., Chabni, S., & Taleb, A. (2020). *Exposition aux rayonnements ionisants dans les blocs opératoires du CHU de Tlemcen* (Mémoire de master, Université de Tlemcen).

(Disponible en version imprimée ou PDF sur demande auprès de l'Université de Tlemcen)

## **Discussion**

---

priorité institutionnelle pour garantir une protection optimale du personnel soignant face aux rayonnements ionisants.

**Conclusion**

## Conclusion

---

Ce mémoire de fin d'études a permis d'analyser de manière approfondie les enjeux majeurs liés à l'exposition des professionnels de santé aux rayonnements ionisants dans les blocs opératoires, en conjuguant une approche théorique solide avec une investigation sur le terrain menée au sein de trois services hospitaliers : la cardiologie interventionnelle, la traumatologie et la neurochirurgie.

Les données recueillies révèlent une situation préoccupante. Bien que les risques liés aux rayonnements soient globalement reconnus, leur prévention reste encore marginale dans les pratiques quotidiennes. Le manque de formation ciblée, la faible connaissance des principes de zonage et de catégorisation du personnel exposé, ainsi que l'usage non systématique des équipements de protection individuelle témoignent d'un déficit généralisé en matière de culture de radioprotection. Les écarts observés entre services — notamment en faveur de la cardiologie interventionnelle — illustrent une organisation encore inégale et perfectible.

Il ne s'agit pas d'un manque de solutions, mais plutôt d'une mise en œuvre irrégulière des recommandations existantes. Le besoin exprimé par la majorité des professionnels en matière de formation continue, d'harmonisation des protocoles et d'amélioration des moyens de protection souligne la nécessité de mettre en place une stratégie institutionnelle cohérente, intégrant à la fois des actions de sensibilisation, des équipements adaptés et une responsabilisation accrue de tous les acteurs impliqués.

Ce travail met ainsi en lumière l'importance de considérer la radioprotection comme un fondement essentiel de l'organisation hospitalière. Plus qu'une exigence réglementaire, elle constitue un devoir moral envers les soignants, en garantissant leur sécurité et leur bien-être au sein de l'environnement de travail. Promouvoir une culture de radioprotection forte, partagée et pérenne représente aujourd'hui un enjeu majeur de santé publique et un levier fondamental pour l'amélioration continue de la qualité et de la sécurité des soins.

**Recommandations et perspectives d'amélioration**

## **Recommandation**

---

À l'issue de cette étude, plusieurs carences ont été identifiées dans les pratiques de radioprotection du personnel soignant exposé aux rayonnements ionisants dans les blocs opératoires du CHU de Tlemcen. Ces constats mettent en évidence la nécessité d'actions concrètes et coordonnées afin de renforcer la sécurité radiologique dans les services concernés. Les recommandations ci-dessous visent à proposer des pistes d'amélioration réalistes, applicables à court et moyen terme.

### **1. Généraliser la formation en radioprotection :**

Il est essentiel de rendre la formation en radioprotection obligatoire, régulière et adaptée à chaque catégorie professionnelle. Les médecins, les techniciens de radiologie, les aides opératoires, les anesthésistes et les internes doivent bénéficier d'une formation initiale complète, suivie de rappels périodiques.

Ces formations doivent couvrir les principes fondamentaux de la radioprotection (justification, optimisation selon le principe ALARA, et limitation des doses), ainsi que les aspects pratiques : distances de sécurité, durée d'exposition, orientation des faisceaux, connaissance du zonage et port des équipements de protection individuelle. Une meilleure formation contribue à améliorer significativement les comportements préventifs et à réduire l'exposition professionnelle.

### **2. Renforcer l'utilisation et la disponibilité des équipements de protection individuelle :**

L'étude a révélé que si le tablier plombé est largement utilisé, le port du protège-thyroïde et des lunettes plombées reste très insuffisant. Il est donc impératif d'assurer la disponibilité permanente de tous les équipements de protection, y compris pour les zones radiosensibles comme le cristallin et la thyroïde.

Par ailleurs, il est recommandé d'instaurer des contrôles systématiques au début des interventions pour vérifier le port de ces équipements. L'hôpital devrait également prévoir le renouvellement régulier des protections, conformément aux normes de radioprotection, pour garantir leur efficacité.

## **Recommandation**

---

### **3. Optimiser le suivi dosimétrique :**

Le suivi dosimétrique doit devenir un réflexe professionnel systématique, et non une option. Le port du dosimètre doit être rendu obligatoire dans tous les blocs exposés aux rayonnements ionisants, et son respect contrôlé régulièrement.

Les données dosimétriques doivent être centralisées, analysées et communiquées aux professionnels concernés, de manière transparente et pédagogique. En cas de dépassement des seuils d'exposition, des mesures correctives immédiates doivent être envisagées, y compris un repositionnement temporaire du personnel concerné.

### **4. Impliquer activement le radiophysicien médical**

Le radiophysicien médical (RPM) doit être impliqué de manière proactive dans le suivi et la mise en œuvre de la radioprotection en bloc opératoire. En plus de ses missions techniques (contrôle des appareils, dosimétrie, optimisation des protocoles), il doit participer à la formation du personnel, à l'évaluation des pratiques, et à la mise en place de procédures de sécurité.

Il serait également pertinent de désigner un référent radiophysicien par service, chargé de coordonner les actions de radioprotection et de servir de lien entre les équipes médicales et la direction de la radiophysique.

### **5. Instaurer une culture de sécurité radiologique institutionnelle**

Il ne suffit pas d'introduire des mesures techniques : la radioprotection doit devenir une priorité culturelle dans tous les services. Cela implique :

- d'intégrer les règles de radioprotection dans les protocoles standardisés.
- de promouvoir le travail en équipe autour de la sécurité.
- de mettre en place des campagnes de sensibilisation (affiches, vidéos, réunions thématiques) dans les lieux de travail.
- et d'organiser des audits internes réguliers pour identifier les lacunes et suivre les améliorations.

## Recommandation

---

### 6. Conclusion des recommandations :

La mise en œuvre de ces recommandations permettra d'assurer une **meilleure protection du personnel hospitalier**, de réduire les expositions inutiles et de garantir une prise en charge plus sûre des patients. La radioprotection ne doit pas être perçue comme une contrainte administrative, mais comme une composante essentielle de la qualité des soins dans un environnement technologiquement exigeant.

## **Références Bibliographiques**

## REFERENCES

---

- [1] O. m. d. l. s. (OMS), «Electromagnetic Fields and Public Health, Fiche d'information n° 304. Genève : OMS ; 2005.,» [En ligne]. Available: <https://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index1.html>.
- [2] I. (. C. o. N.-I. R. Protection), «Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz). Health Physics. 2020 ;118(5):483–524.,» [En ligne]. Available: <https://www.icnirp.org/cms/upload/publications/ICNIRPrfgd12020.pdf>.
- [3] O. m. d. l. s. (OMS), «Champs électromagnétiques et santé publique – Exposition aux champs RF, Fiche d'information n° 226. Genève : OMS ; 2014.,» [En ligne]. Available: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/radiation-and-health/non-ionizing/emf>.
- [4] B. C. & B. D. Meziane .Z, «Les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants chez les personnels soignants du CHU Tlemcen (Unité de Radiothérapie du CLCC) et la radioprotection,» Tlemcen, 2021.
- [5] Wikipédia, «Rayon X,» (n.d.). [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon\\_X](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayon_X).
- [6] Wikipédia, «Rayonnement ionisant,» 2024. [En ligne]. Available: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement\\_ionisant](https://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_ionisant).
- [7] M. & Y. I. Aissani, «Dosimétrie des photons de haute énergie,» 2011.
- [8] U. N. R. Commission, «Radiation Basics,» 2020. [En ligne]. Available: <https://www.nrc.gov/about-nrc/radiation/health-effects/radiation-basics.html>.
- [9] C. & B. D. Benrezkallah, «Les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants chez les personnels soignants du CHU Tlemcen.,» 2021.
- [10] M. Manuals, «Radiographie conventionnelle – Principes d'imagerie radiologique,» (n.d.). [En ligne]. Available: <https://www.msmanuals.com/fr/professional/sujets-speciaux/principes-d-imagerie-radiologique/radiographie-conventionnelle>.
- [11] Wikipédia, «Tomodensitométrie,» 30 avril 2024. [En ligne]. Available: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Tomodensitom%C3%A9trie>.
- [12] N. E. G. G. X. & A. M. Shalom, «Fluoroscopy: An essential diagnostic modality in the era of high-resolution cross-sectional imaging,» 2020. [En ligne]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7653184/>.
- [13] N. E. G. G. X. & A. M. Shalom, «Fluoroscopy: An essential diagnostic modality in the era of high-resolution cross-sectional imaging,» 2020. [En ligne]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7653184/>.

## REFERENCES

---

- [14] M. E. A. & O. M. E. A. Benseddik, «Contrôle de qualité des accélérateurs linéaires et des scanner simulateur – procédure et application,» 2016. [En ligne]. Available: Université de Tlemcen, Faculté des Sciences et Faculté de Médecine.
- [15] M. & Y. I. Aissani, «Dosimétrie des photons de haute énergie,» 2011. [En ligne]. Available: Université Abou Bekr Belkaid, Tlemcen. Consulté à l'adresse : <file:///C:/Users/hp/Downloads/Dosimetrie-des-photons-de-haute-energie.pdf>.
- [16] M. J. P. B. M. & R. H. Dizdaroglu, «Free radical-induced damage to DNA: Mechanisms and measurement,» 2012. [En ligne]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22276778/>.
- [17] J. F. Ward, «Complexity of DNA damage: Role in biological consequences,» 2000. [En ligne]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12031895/>.
- [18] B. C. & B. D. Meziane .Z, «Les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants chez les personnels soignants du CHU Tlemcen...,» 2021.
- [19] L. A.-C. J. R.-V. J. G. A. e. a. El-Nachef, «Human radiosensitivity and radiosusceptibility: What are the differences?,» 2021.
- [20] W. contributors, «Acute radiation syndrome,» 25 avril 2024. [En ligne]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Acute\\_radiation\\_syndrome](https://en.wikipedia.org/wiki/Acute_radiation_syndrome).
- [21] W. contributors, «Chronic radiation syndrome,» 13 avril 2024. [En ligne]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Chronic\\_radiation\\_syndrome](https://en.wikipedia.org/wiki/Chronic_radiation_syndrome).
- [22] M. Manuals, «Exposition aux rayonnements et contamination radioactive,» (n.d). [En ligne]. Available: <https://www.msmanuals.com/fr/professional/blessures-empoisonnement/exposition-aux-rayonnements-et-contamination-radioactive/exposition-aux-rayonnements-et-contamination-radioactive>.
- [23] I. C. o. R. Protection, «International Commission on Radiological Protection,» 2024. [En ligne]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_Commission\\_on\\_Radiological\\_Protection](https://en.wikipedia.org/wiki/International_Commission_on_Radiological_Protection).
- [24] I. A. E. Agency, «Global regulation controlling and accepting radioactivity risks,» n.d.. [En ligne]. Available: <https://scispace.com/pdf/global-regulation-controlling-and-accepting-radioactivity-2b5xd5f3rt.pdf>.
- [25] O. m. d. l. Santé, «Directives de l'OMS sur la politique de santé...,» 2018. [En ligne]. Available: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/325564/9789242550368-fre.pdf>.

## REFERENCES

---

- [26] N. A. K. A. G. M. & A. M. Al-Harbi, «Radiation protection knowledge, attitudes and practices...», *Journal of Taibah Univ. Med. Sci.*, 2017.
- [27] C. d. Énergies, «ASN (Autorité de sûreté nucléaire),» 2024.
- [28] B. C. & B. D. Meziane.Z, «Les risques liés à l'exposition aux rayonnements... [Mémoire de fin d'études],» 2021.
- [29] W. e. a. Elshami, «Assessment of occupational radiation dose among healthcare workers in UAE,» 2020. [En ligne]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109138>.
- [30] S. F. d. e. d. R. (SFAR), «Recommandations concernant les relations entre AR et autres spécialités,» n.d.. [En ligne]. Available: <https://sfar.org/recommandations-concernant-les-relations-entre-ar-et-autres-specialites-ou-professionnels-de-sante/>.
- [31] S. Canada, «32121 – Technologues en radiation médicale,» 2021. [En ligne]. Available: [https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p3VD\\_f.pl?Function=getVD&TVD=1369127&CVD=1369154&CPV=32121&CST=01052021&CLV=3&MLV=3](https://www23.statcan.gc.ca/imdb/p3VD_f.pl?Function=getVD&TVD=1369127&CVD=1369154&CPV=32121&CST=01052021&CLV=3&MLV=3).
- [32] C. –. D. g. à. l. d. a. risques, «Fiche 11 : Dosimétrie passive et active,» n.d.. [En ligne]. Available: [https://www.dgdr.cnrs.fr/sst/cnps/guides/doc/radioprotection/Fiche11\\_Dosimetrie\\_passive\\_et\\_active.pdf](https://www.dgdr.cnrs.fr/sst/cnps/guides/doc/radioprotection/Fiche11_Dosimetrie_passive_et_active.pdf).
- [33] A. Cambon, «Perception des risques... [Mémoire],» 2020. [En ligne]. Available: <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02998415v1/document>.
- [34] AIEA, «Radioprotection et sûreté radiologique dans les applications médicales...,» 2020. [En ligne]. Available: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1775F\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1775F_web.pdf).
- [35] Z. C. & B. D. Meziane, «Les risques liés à l'exposition aux rayonnements... [Mémoire de fin d'études],» 2021. [En ligne]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11191847/>.
- [36] S. M. G. P. P. D. & K. A. Dudhe, «Radiation dose optimization in radiology: A comprehensive review of safeguarding patients and preserving image fidelity,» 2024. [En ligne]. Available: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11191847/>.
- [37] D. e. a. Budošová, «Current trends of radiation protection equipment in interventional radiology,» 2022. [En ligne]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36005965/>.
- [38] ASN, «Principales dispositions réglementaires de radioprotection – Édition 2024,» [En ligne]. Available:

## REFERENCES

---

- [https://www.asn.fr/content/download/50876/pdf\\_file/Principales%20dispositions%20r%C3%A9glementaires%20de%20radioprotection%20applicables%20en%20radiologie%20m%C3%A9dicale%20et%20dentaire%20-%20%C3%89dition%202024.pdf](https://www.asn.fr/content/download/50876/pdf_file/Principales%20dispositions%20r%C3%A9glementaires%20de%20radioprotection%20applicables%20en%20radiologie%20m%C3%A9dicale%20et%20dentaire%20-%20%C3%89dition%202024.pdf).
- [39] Y.-S. Cordoliani, «Radioprotection en radiologie : aspects réglementaires, techniques et pratiques,» 2003. [En ligne]. Available: <https://www.radioprotection.org/articles/radiopro/pdf/2003/04/Cordoliani.pdf>.
- [40] Z. B. C. & B. D. Meziane, «Les risques liés à l'exposition... [Mémoire de fin d'études],» [En ligne]. Available: Université Abou Bekr Belkaid - Tlemcen.
- [41] C. J. e. al., «AAPM medical physics practice guideline 10.a.: Scope of practice for clinical medical physics. J Appl Clin Med Phys. 2018 ; 19(6):11–25.,» [En ligne]. Available: <https://aapm.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/acm2.12469>.
- [42] I. (. C. o. R. Protection), «The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann ICRP. 2007 ; 37(2–4),» [En ligne]. Available: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1016/j.icrp.2007.10.003>.
- [43] C. Européenne, «Council Directive 2013/59/Euratom du 5 décembre 2013. J Off Union Eur. L13, 1–73.,» [En ligne]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32013L0059>.
- [44] S. K. S. H. M. K. J. J. J. K. K. A. & L. W. J. Ko, «Health effects from occupational radiation exposure among fluoroscopy guided interventional medical workers: A systematic review,» 2018. [En ligne]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29306599/>.
- [45] O. R. M. M. S. K. H. L. H. B. V. E. & K. N. J. Ciraj Bjelac, «Eye lens radiation exposure to interventional cardiologists: A retrospective assessment,» 2010. [En ligne]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20549683/>.
- [46] A. H. S. K. M. D. L. L. H. J. P. R. & V. E. Durán, «Recommendations for occupational radiation protection in interventional cardiology,» 2013. [En ligne]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23475846/>.
- [47] C. A. D. H. A. & K. W. Kamoun, «Évaluation des pratiques de radioprotection dans les services hospitaliers en Tunisie,» 2015. [En ligne]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1630164015000315>.
- [48] A. K. K. K. Y. N. & E. A. Adou, «Connaissances, attitudes et pratiques du personnel médical en matière de radioprotection à Abidjan,» 2022. [En ligne]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/365265156>.

## REFERENCES

---

- [49] F. C. S. & T. A. Meziane, «Exposition aux rayonnements ionisants dans les blocs opératoires du CHU de Tlemcen [Mémoire de Master],» 2020. [En ligne].
- [50] C. A. D. H. A. & K. W. Kamoun, «Évaluation des pratiques de radioprotection dans les services hospitaliers en Tunisie,» 2015. [En ligne]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1630164015000315>.
- [51] I. – I. C. o. R. Protection, «The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Publication 103),» 2007. [En ligne]. Available: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>.
- [52] C. B. J. L. M. A. L. D. & F. J. F. Garron, «Exposition des praticiens en radiologie interventionnelle,» 2013. [En ligne]. Available: <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20962>.
- [53] I. – I. d. R. e. d. S. Nucléaire, «Radioprotection dans les blocs opératoires : Bonnes pratiques et obligations réglementaires,» 2022. [En ligne]. Available: <https://www.irsn.fr>.
- [54] ASN, «Principales dispositions réglementaires de radioprotection – Édition 2024,» 2024. [En ligne].
- [55] I. C. o. R. Protection, «Recommendations for occupational radiation protection in interventional cardiology,» 2024. [En ligne]. Available: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23475846/>.

## **Annexes**

## Annexe 1 : Arrêté Relatif à la Surveillance Médicale des Travailleurs Exposés aux Rayonnements Ionisants

20	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 24	16 Rajab 1437 24 avril 2016
<b>MINISTERE DE LA SANTE, DE LA POPULATION ET DE LA REFORME HOSPITALIERE</b>		
<p><b>Arrêté du 27 Moharram 1437 correspondant au 10 novembre 2015 relatif à la surveillance médicale des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.</b></p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p>Le ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière,</p> <p>Vu le décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005, modifié et complété, relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants, notamment son article 43 ;</p> <p>Vu le décret présidentiel n° 15-125 du 25 Rajab 1436 correspondant au 14 mai 2015, modifié, portant nomination des membres du Gouvernement ;</p> <p>Vu le décret exécutif n° 11-379 du 25 Dhou El Hidja 1432 correspondant au 21 novembre 2011 fixant les attributions du ministre de la santé, de la population et de la réforme hospitalière.</p> <p style="text-align: center;"><b>Arrête :</b></p> <p>Article 1er. — En application des dispositions de l'article 43 du décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005, susvisé, le présent arrêté a pour objet de fixer les modalités de la surveillance médicale des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants ; la conduite de l'examen médical et les examens complémentaires ainsi que les mesures à prendre en cas de surexposition.</p> <p style="text-align: center;"><b>CHAPITRE 1er</b></p> <p style="text-align: center;"><b>MODALITES DE LA SURVEILLANCE MEDICALE</b></p> <p>Art. 2. — Les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants bénéficient d'une surveillance médicale qui a pour objet de déterminer leur aptitude médicale au poste de travail selon leur classification en catégorie A ou en catégorie B prévue aux dispositions de l'article 19 du décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005, susvisé.</p> <p>Art. 3. — Les travailleurs ne peuvent être affectés à des travaux sous rayonnements ionisants sans avoir été, au préalable, reconnus médicalement aptes par le médecin du travail.</p> <p>Art. 4. — La surveillance médicale s'effectue :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— avant l'affectation au poste de travail, pour s'assurer que le travailleur est médicalement apte au poste de travail auquel l'employeur envisage de l'affecter ;</li> <li>— périodiquement, au moins, deux fois par an pour les travailleurs de la catégorie A et une fois par an pour les travailleurs de la catégorie B, pour s'assurer de l'aptitude médicale du travailleur au poste de travail occupé ;</li> <li>— à la reprise du travail, pour s'assurer que le travailleur est médicalement apte à reprendre son poste de travail conformément à la réglementation en vigueur ;</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>— en cas de dépassement des limites de doses annuelles d'exposition qui doit être signalé par les personnes compétentes conformément à la réglementation en vigueur.</li> </ul> <p>Art. 5. — Le médecin du travail examine également le travailleur pour juger de son aptitude médicale au poste de travail sur sa demande ou sur celle de son employeur.</p> <p>Art. 6. — Lors de chaque visite médicale, le travailleur est informé sur les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants et sur la nécessité de se conformer aux règles de protection ainsi que sur l'importance du suivi médical.</p> <p>Art. 7. — Le dossier médical individuel, prévu par la réglementation en vigueur, est mis à jour à chaque visite médicale.</p> <p>Pour les travailleurs de la catégorie A, un dossier médical spécial est annexé au dossier médical individuel comprenant la fiche de poste de travail, la fiche de suivi dosimétrique et les dates et résultats des examens médicaux.</p> <p>Le modèle du dossier médical spécial est joint en annexe du présent arrêté.</p> <p>La fiche de poste de travail est mise à jour régulièrement et notamment lors de toute modification du poste de travail ou des techniques susceptibles de modifier les conditions d'exposition aux rayonnements ionisants.</p> <p>Art. 8. — A l'issue de chaque examen médical prévu, le médecin du travail décide de l'aptitude médicale au poste de travail.</p> <p>Art. 9. — L'aptitude médicale du travailleur au poste de travail est déterminée sur la base des données de la fiche de poste de travail, des résultats de l'examen médical et des résultats dosimétriques.</p> <p style="text-align: center;"><b>CHAPITRE 2</b></p> <p style="text-align: center;"><b>CONDUITE DE L'EXAMEN MEDICAL</b></p> <p>Art. 10. — La conduite de l'examen médical comporte un interrogatoire et un examen clinique.</p> <p>Art. 11. — L'interrogatoire a pour objet la recherche des antécédents professionnels et médicaux pouvant faire courir un risque au travailleur du fait de son affectation au poste de travail et notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— une estimation des équivalents de dose antérieurement reçus pour des raisons médicales ou professionnelles. Si pour une période donnée de la carrière professionnelle l'équivalent de dose cumulée est inconnu, il est considéré égal à l'équivalent de dose maximale admissible pour cette période ;</li> <li>— une affection héréditaire susceptible de perturber l'interprétation des résultats ;</li> <li>— une affection et/ou une thérapeutique ayant un retentissement hématologique ou incompatible à une exposition aux rayonnements ionisants.</li> </ul>		

Art. 12. — L'examen clinique a pour objet de dépister des affections aiguës ou chroniques et d'apprécier l'importance de leurs répercussions en fonction des risques dus à l'exposition aux rayonnements ionisants.

En cas de risque d'irradiation externe, l'examen est orienté vers la recherche notamment des atteintes d'ordre hématologique, ophtalmologique et dermatologique.

En cas de risque de contamination interne, l'examen est orienté vers la recherche des affections pouvant entraîner notamment :

- soit une rétention importante du ou des radionucléides au niveau des voies respiratoires ;
- soit une pénétration plus importante des contaminants au niveau de la peau et des voies digestives ;
- soit un ralentissement de l'élimination du ou des radionucléides absorbés au niveau du foie ou du rein ;
- soit des difficultés de décontamination de la peau ou des oreilles.

#### CHAPITRE 3

##### EXAMENS COMPLEMENTAIRES

Art. 13. — Il est procédé avant l'affectation au poste de travail à des examens complémentaires suivants :

- un hémogramme complété, si besoin, par un bilan hépatique et rénal ;
- une radiographie standard pour les travailleurs soumis à un risque de contamination interne complété par des épreuves fonctionnelles respiratoires.

Art. 14. — A l'issue de chaque examen médical, le médecin du travail peut prescrire tout examen complémentaire qu'il juge nécessaire pour établir ses conclusions médicales.

#### CHAPITRE 4

##### MESURES A PRENDRE EN CAS DE SUREXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

Art. 15. — Devant tout incident ou accident susceptible d'entraîner une surexposition aux rayonnements ionisants, le médecin du travail procède à l'examen médical du travailleur concerné et prodigue des soins si nécessaire.

En outre, le médecin du travail prescrit tout examen complémentaire qu'il juge nécessaire.

Art. 16. — La dose reçue par le travailleur est évaluée par le service de dosimétrie compétent.

Art. 17. — A l'issue des investigations menées, le médecin du travail jugera de l'aptitude médicale du travailleur et des modalités de la surveillance médicale à laquelle il sera soumis.

Art. 18. — Le travailleur ne peut être affecté à des travaux l'exposant aux rayonnements ionisants tant que la dose reçue demeure supérieure à l'une des valeurs limites de la période considérée.

Art. 19. — Le médecin du travail participe avec la personne compétente en radioprotection à l'enquête diligentée par l'employeur pour déterminer les causes et les circonstances ayant été à l'origine de la surexposition afin que celle-ci cesse dans les plus brefs délais.

Art. 20. — Le présent arrêté sera publié *in Journal officiel* de la République algérienne démocratique et populaire.

Fait à Alger, le 27 Moharram 1437 correspondant au 10 novembre 2015.

Abdelmalek BOUDIAF.

#### ANNEXE

##### DOSSIER MEDICAL SPECIAL DU TRAVAILLEUR EXPOSE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS

###### 1- Dates et résultats des examens médicaux.

DATE	NATURE DE LA VISITE MÉDICALE	OBSERVATION ET CONCLUSION	MEDECIN DU TRAVAIL

22		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 24				16 Rajab 1437 24 avril 2016	
<b>2- Fiche de poste de travail du travailleur exposé aux rayonnements ionisants</b>							
Cette fiche de poste est établie par le médecin du travail avec le concours de la personne compétente en radioprotection et du supérieur hiérarchique de l'intéressé.							
<b>INFORMATIONS PERSONNELLES CONCERNANT LE TRAVAILLEUR</b>							
Nom et Prénom :				Sexe : M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>			
Date de naissance :				N° Dossier Médical :			
Organisme employeur :				Poste de travail :			
<b>LIEU(X) - NATURE ET DUREE DU TRAVAIL EXPOSANT AUX RAYONNEMENTS IONISANTS</b>							
Lieu(x) 1 :		2 :		3 :			
Nature du travail 1 :		2 :		3 :			
Durée d'exposition annuelle :				Catégorie A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>			
<b>CARACTERISTIQUES DES SOURCES AUXQUELLES LE TRAVAILLEUR EST EXPOSE</b>							
Source non scellée <input type="checkbox"/>		Source scellée <input type="checkbox"/>		Appareil électrique générateur <input type="checkbox"/> de rayonnements ionisants RX			
Accélérateur <input type="checkbox"/>		Réacteur de recherche <input type="checkbox"/>		Autres installations (préciser) <input type="checkbox"/>			
<b>NATURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS</b>							
Rayonnement	X <input type="checkbox"/>	$\gamma$ <input type="checkbox"/>	$\alpha$ <input type="checkbox"/>	$\beta$ <input type="checkbox"/>	Neutrons <input type="checkbox"/>		
Energie	KeV ou HT en kV	KeV (maximum)	MeV	KeV (maximum)	MeV ou thermiques <input type="checkbox"/> intermédiaires <input type="checkbox"/> rapides <input type="checkbox"/>		

16 Rajab 1437 24 avril 2016		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 24			23
<b>IDENTIFICATION DES RADIOUCLEIDES UTILISES PAR LE TRAVAILLEUR</b>					
<sup>3</sup> H hydrogène <input type="checkbox"/>	<sup>125</sup> I iode 125 <input type="checkbox"/>	<sup>35</sup> S soufre 35 <input type="checkbox"/>	<sup>241</sup> Am américium 241 <input type="checkbox"/>	U(nat) uranium naturel <input type="checkbox"/>	
<sup>14</sup> C carbone <input type="checkbox"/>	<sup>131</sup> I iode 131 <input type="checkbox"/>	<sup>137</sup> Cs césium 137 <input type="checkbox"/>	<sup>252</sup> Cf californium 252 <input type="checkbox"/>	Autres <input type="checkbox"/>	
<sup>32</sup> P phosphore <input type="checkbox"/>	<sup>60</sup> Co cobalt 60 <input type="checkbox"/>	<sup>99</sup> Tc technétium 99 <input type="checkbox"/>	<sup>192</sup> Ir iridium 192 <input type="checkbox"/>	Autres <input type="checkbox"/>	
<b>AUTRES RISQUES SUR LE POSTE</b>					
<b>Physique</b> : Thermique <input type="checkbox"/> Bruit <input type="checkbox"/> Rayonnements non ionisants <input type="checkbox"/> Poussières/Vibrations <input type="checkbox"/> Autres : <input type="checkbox"/>					
<b>Chimique</b> <input type="checkbox"/> Biologique <input type="checkbox"/> Organisationnel <input type="checkbox"/> Espace confiné <input type="checkbox"/>					
<b>EQUIPEMENTS DE PROTECTION ET LOCAUX</b>					
Gants <input type="checkbox"/> Blouse <input type="checkbox"/> Autres vêtements spécifiques <input type="checkbox"/> Lunettes/Visières <input type="checkbox"/> Masque filtrant <input type="checkbox"/>					
Appareil respiratoire isolant <input type="checkbox"/> Autres : <input type="checkbox"/>					
<b>Locaux</b> : Atmosphère contrôlée <input type="checkbox"/> Locaux en surpression <input type="checkbox"/> Locaux en dépression <input type="checkbox"/>					
<b>Commentaire</b> :					
<b>VISAS ET SIGNATURES</b>					
Le médecin du travail	La personne compétente en radiothérapie	Le Responsable hiérarchique	L'intéressé(e)		
Date :					

24		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 24					16 Rajab 1437 24 avril 2016		
3- FICHE DE SUIVI DOSIMETRIQUE DU TRAVAILLEUR EXPOSE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS									
- Année :									
- Nom et prénom du travailleur exposé :									
- Catégorie A ou B :									
- N° du registre dosimétrique national :									
PÉRIODE	EXPOSITION EXTERNE					CONTAMINATION INTERNE			
	Doses reçues en millisievert					Nature radio-isotope	Niveau de contamination en becquerel	Dose résultante en millisievert	Observation
	X	$\beta$	$\gamma$	Neutron	Observation				
Janvier									
Février									
Mars									
Cumul 1er trimestre									
Avril									
Mai									
Juin									
Cumul 2ème trimestre									
juillet									
Août									
Septembre									
Cumul 3ème trimestre									
Octobre									
Novembre									
Décembre									
Cumul 4ème trimestre									
Observation									

### Annexe 2 : Questionnaire

Centre Hôpitalo-Universitaire de Tlemcen Tidjani Damerdji

#### Fiche de données pour personnels



### Questionnaire

#### Section 1 : Informations Générales

1. Service :
  - Cardiologie interventionnelle
  - Traumatologie
  - Neurochirurgie
2. Âge : \_\_\_\_\_
3. Sexe :  Masculin  Féminin
4. Fonction :
  - Médecin (cardiologue, chirurgien...)
  - Infirmier(ère)
  - Interne / Résident
  - Anesthésiste
  - Aide opératoire / Aide-soignant(e)
  - Autre (précisez) : \_\_\_\_\_
5. Années d'expérience dans le domaine médical : \_\_\_\_\_
6. Combien de temps passez-vous en moyenne dans une salle exposée aux rayonnements ionisants par jour ?
  - Moins de 1 heure
  - 1 à 3 heures
  - Plus de 3 heures

## Annexe

---

### Section 2 : Connaissances en Radioprotection

8. Avez-vous reçu une formation spécifique en radioprotection ?  
 Oui  Non
9. Connaissez-vous les règles essentielles de radioprotection (distance, temps, écrans...) ?  
 Oui  Non
10. Savez-vous comment fonctionne un amplificateur de brillance ?  
 Oui  Non
11. Connaissez-vous les risques biologiques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants ?  
 Oui  Non

### Section 3 : Pratiques et Mesures de Protection

13. Utilisez-vous systématiquement les équipements de protection individuelle (tablier, lunettes, collier thyroïdien, etc.) ?  
 Oui  Non
14. Connaissez-vous les protections collectives présentes dans votre salle opératoire (ex : écran suspendu, barrière mobile, etc.) ?  
 Oui  Non
15. Portez-vous un dosimètre personnel lors des actes exposants ?  
 Oui  Non
16. Selon vous, les mesures de radioprotection dans votre service sont-elles suffisantes ?  
 Oui  Non

### Section 4 : Réglementation et Classification

18. Avez-vous connaissance des règles de zonage (zone surveillée, contrôlée...) dans votre bloc opératoire ?  
 Oui  Non
19. Connaissez-vous la différence entre la catégorie A et B en matière de radioprotection ?  
 Oui  Non

### Section 5 : Formation et Améliorations

20. Avez-vous déjà participé à une formation continue sur la radioprotection ?  
 Oui  Non

## Annexe

---

21. Souhaitez-vous suivre une formation complémentaire sur la radioprotection et l'utilisation de l'amplificateur de brillance ?

Oui  Non

22. Un radiophysicien médical intervient-il dans votre service pour superviser ou conseiller en matière de radioprotection (formation, contrôle, optimisation des doses) ?

Oui, régulièrement

Oui, mais rarement

Non, jamais

Je ne sais pas

Annexe 3 : Dépliant

# Se protéger pour préserver sa santé

## Signalisation des zones radioactives

 <b>ZONE SURVEILLÉE</b> <b>ACCES REGLEMENTÉ</b> Zone à risques limités	 <b>ZONE CONTROLÉE</b> <b>ACCES REGLEMENTÉ</b>	 Zone spéciale jaune <b>ACCES REGLEMENTÉ</b>	 Zone spéciale orange <b>ACCES REGLEMENTÉ</b>	 Zone spéciale rouge <b>ACCES INTERDIT</b> Zone interdite
--	---	---	---	---

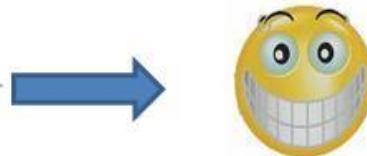
**Zones à risques**

Se reporter au règlement de zones établi par l'établissement

## TEMPS/ ECRAN / DISTANCE

### Adapter son comportement

- Limiter le temps d'exposition
- S'éloigner de la source
- Utiliser les moyens de protection



### PROTECTION COLLECTIVE



- Murs renforcés
- Portes blindées

L'architecture des locaux à risques est en adéquation avec la norme : NF ISO 9404-1

### PROTECTION INDIVIDUELLE



- Tablier
- Paravent
- Lunette et gant plombés



### DOSIMETRE



**INDIVIDUEL, NOMINATIF, NON CESSIBLE**



**Catégorie A: 20mSv/an**

**Catégorie B: 6mSv/an**

**Public: 1mSv/an**

Les limites annuelles d'Exposition pour les travailleurs sont définies réglementairement (décret du 31/03/2003)

## **Résumé :**

Ce mémoire a pour objectif d'évaluer les connaissances, les pratiques et les besoins du personnel soignant en matière de radioprotection dans les blocs opératoires. Il s'inscrit dans une volonté d'améliorer la sécurité des professionnels exposés aux rayonnements ionisants.

La démarche adoptée repose sur une enquête par questionnaire menée auprès de 32 agents de santé répartis entre trois services du CHU de Tlemcen : cardiologie interventionnelle, traumatologie et neurochirurgie. Le questionnaire a exploré cinq axes : informations générales, connaissances, pratiques, réglementation et besoins en formation.

Le but de cette recherche est de détecter les faiblesses dans l'application des mesures de radioprotection et de proposer des actions correctives adaptées.

Les résultats montrent un manque important de formation, une méconnaissance des règles de sécurité et une application incomplète des protections individuelles. Toutefois, la majorité du personnel interrogé a exprimé un fort besoin de formation continue, ce qui traduit une prise de conscience encourageante.

**Mots-clés** :Radioprotection – Rayonnements ionisants – Personnel soignant – Bloc opératoire – Cardiologie interventionnelle – Traumatologie – Neurochirurgie – Formation – Pratiques de sécurité – Dosimétrie – Questionnaire – CHU de Tlemcen

## **Abstract :**

The main objective of this thesis is to assess the knowledge, practices, and needs of healthcare personnel regarding radiation protection in operating rooms. This work aims to improve the safety of professionals exposed to ionizing radiation.

The approach involved a questionnaire-based survey conducted with 32 healthcare workers from three departments at the University Hospital of Tlemcen: interventional cardiology, traumatology, and neurosurgery. The questionnaire covered five key areas: general information, radiation protection knowledge, protective practices, regulatory awareness, and training needs.

The aim of this research is to identify weaknesses in the implementation of safety measures and propose appropriate corrective actions.

The findings revealed a significant lack of specific training, poor understanding of radiation safety rules, and limited use of personal protective equipment. However, most participants expressed a strong desire for further training, especially on the safe use of the image intensifier, indicating a growing awareness and willingness to improve radiation protection culture.

**Keywords**:Radiation protection – Ionizing radiation – Healthcare personnel – Operating room – Interventional cardiology – Traumatology – Neurosurgery – Training – Dosimetry – Safety practices – Image intensifier – Tlemcen University Hospital