

Mémoire de fin d'étude du master Healthcare Business

# LA RADIOPROTECTION EN MILIEU HOSPITALIER : UN PRINCIPE TOUJOURS RESPECTÉ PAR LES PROFESSIONNELS DE SANTÉ?



Présenté par :

**MADJIDI Fatima**

Sous la direction de Madame **GORGE Hélène**

Composition des membres du jury :

- Directeur de mémoire : Madame **GORGE Hélène**
- Président du jury : Monsieur **LOGIER Régis**
- Membre professionnel : Monsieur **ESCANDE Dominique**

Date de la soutenance : **Lundi 05 juin 2023 à 9h00**

Faculté ingénierie et management de la santé – ILIS  
42 rue Ambroise Paré  
59120 LOOS

## **REMERCIEMENTS**

Je souhaite profiter de cette occasion pour exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui m'ont soutenu et guidé tout au long de mon mémoire. Leur aide précieuse a été essentielle pour la réalisation de ce travail et je tiens à leur témoigner toute ma reconnaissance.

Tout d'abord, je voudrais remercier mon maître de mémoire, **Mme GORGE Hélène**, pour son soutien et ses conseils précieux tout au long de ce travail. Je suis reconnaissante de sa confiance et de sa patience.

Ensuite, je voulais remercier, mon maître d'apprentissage, **ESCANDE Dominique**, de m'avoir accompagné tout au long de la réalisation de ce travail.

J'ai également une pensée particulière à **toute l'équipe d'Ingénieurs d'applications et d'ingénieurs commerciaux** qui ont pu me conseiller et m'apporter leurs expertises.

Je n'oublie pas non plus **mes proches** qui m'ont sans cesse soutenue dans l'élaboration de mon projet professionnel et m'ont aidée à chaque étape de ce rapport.

J'exprime également toute ma reconnaissance auprès **de l'ensemble des professionnels** qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire grâce à leur écoute, leur patience, leur disponibilité et leurs réponses pertinentes.

Je voudrais remercier **le corps enseignant** et l'encadrement de la Faculté d'Ingénierie et de Management de la santé (**ILIS**) pour leur soutien et la qualité des enseignements tout au long de mon parcours universitaire. Leur expertise et leur dévouement ont été essentiels à ma formation. Je tiens également à remercier l'université pour les opportunités professionnelles qu'elle m'a offertes au cours de ces années.

Enfin, je tiens à remercier l'ensemble **des membres du jury** pour leur présence et leur implication dans ma soutenance de mémoire.

## **SOMMAIRE**

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>p8</b>
<b>PARTIE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE.....</b>	<b>p10</b>
<b>I. Les rayonnements X : Un risque avéré pour la population et les professionnels de santé.....</b>	<b>p10</b>
<b>II. La radioprotection : un enjeu de santé publique.....</b>	<b>p28</b>
<b>PARTIE 2 : METHODOLOGIE.....</b>	<b>p54</b>
<b>I. Objet de l'étude.....</b>	<b>p54</b>
<b>II. Choix de la méthodologie.....</b>	<b>p55</b>
<b>III. Population étudiée.....</b>	<b>p56</b>
<b>IV. Recueil des données.....</b>	<b>p57</b>
<b>V. Méthode d'analyse des données.....</b>	<b>p58</b>
<b>PARTIE 3 : RESULTATS.....</b>	<b>p59</b>
<b>I. Comparaison des connaissances et des pratiques de la radioprotection des MERM et des ingénieurs interventionnels.....</b>	<b>p59</b>
<b>II. L'expérience en matière d'exposition aux rayonnements x influence les pratiques de radioprotection.....</b>	<b>p70</b>
<b>PARTIE 4 : RECOMMANDATIONS.....</b>	<b>p79</b>
<b>I. Recommandations destinées aux personnes exposées.....</b>	<b>p79</b>
<b>II. Recommandations destinées aux structures.....</b>	<b>p82</b>
<b>CONCLUSION.....</b>	<b>p90</b>

## **TABLE DES FIGURES**

Figure 1 : Le pouvoir de pénétration des différents rayonnements [3] .....	11
Figure 2 : Exemples de types de rayonnement, de sources et d'usages .....	12
Figure 3 : Radiographie de la main du médecin Kolliker, 1896 [6] .....	12
Figure 4 : Exposition aux Rayonnements ionisants de la population en France en 2020 [11] .....	15
Figure 5 : Les effets d'une irradiation aigue selon l'organe exposé [15].....	17
Figure 6 : Les effets déterministes et doses seuils pour une exposition unique brève [10] .....	18
Figure 7 : Tableau récapitulatif de plusieurs études sur les risques à l'exposition des RI .....	25
Figure 8 : Les différents risques de malformation chez la femme enceinte exposée aux RI (a) Otake et all et (b) Miller in de santis [28] .....	26
Figure 9 : Rôle des différents organismes de la radioprotection : IRSN, ASN et ICRP .....	31
Figure 10 : : Généralité règlementaire en termes de radioprotection .....	33
Figure 11 : Procédure d'optimisation de la radioprotection [38].....	35
Figure 12 : Récapitulatif du TED .....	36
Figure 13 : Le zonage [40] .....	38
Figure 14 : Signalisation de prévention lorsque le générateur est sous tension .....	39
Figure 15 : Récapitulatif des limitations des doses en fonction des catégories [43].....	40
Figure 16 : Tablier plombé et ensemble plombé [50] .....	42
Figure 17 : Cache thyroïde plombé.....	43
Figure 18 : Gants plombés et gants radio-atténuants .....	43
Figure 19 : Calot plombé.....	43
Figure 20 : Lunette et lisière plombé .....	44
Figure 21 : Les EPI présents en salle d'interventionnelle.....	45
Figure 22 : Étude illustrant le % d'utilisation des équipements de protection contre les RX .....	46
Figure 23 : Dosimètre passif.....	48
Figure 24 : Dosimètre passif.....	48
Figure 25 : Dosimètre actif ou opérationnel.....	49
Figure 26 : Tableau récapitulatif des études sur le port des dosimètres .....	51
Figure 27 : Récapitulatif des entretiens.....	57
Figure 28 : Échantillon des réponses du questionnaire.....	58
Figure 29 : Répartition des répondants en fonction de la profession.....	59
Figure 30 : répartition des ingénieurs en fonction de leurs connaissances sur le principe TED.....	60
Figure 31 : Répartition des ingénieurs qui ne connaissent pas le principe ALARA .....	60
Figure 32 : Répartition des ingénieurs qui ont reçu de formation .....	61
Figure 33 : Répartition des MERM qui ont reçu une formation .....	62
Figure 34 : Répartition de la connaissance des risques.....	63
Figure 35 : Répartition de l'utilisation du tablier plombé .....	64
Figure 36 : Répartition de l'utilisation du cache thyroïde .....	65
Figure 37 : Répartition de l'utilisation du dosimètre actif par les MERM.....	65
Figure 38 : Répartition de l'utilisation du dosimètre passif par les MERM.....	65
Figure 39 : Répartition de l'utilisation du dosimètre passif par les ingénieurs.....	66
Figure 40 : Répartition de l'utilisation du dosimètre actif par les ingénieurs.....	67
Figure 41 : Répartition du souhait de vouloir améliorer les pratiques des ingénieurs.....	68
Figure 42 : Répartition du souhait de vouloir améliorer les pratiques des MERM.....	69
Figure 43 : Répartition des moins de 10 ans d'expérience ayant reçu une formation .....	70
Figure 44 : Répartition des moins de 10 ans d'expérience ayant reçu une formation .....	71
Figure 45 : Répartition des moins de 10ans d'expérience sur le port du cache thyroïde .....	71
Figure 46 : Répartition des plus de 10ans d'expérience sur le port du cache thyroïde.....	72
Figure 47 : Répartition des moins de 10ans d'expérience sur le port du dosimètre passif.....	72

Figure 48 : Répartition des plus de 10ans d'expérience sur le port du dosimètre passif.....	72
Figure 49 : Répartition des moins de 10 ans d'expérience sur l'amélioration des pratiques .....	73
Figure 50 : Répartition des plus de 10 ans d'expérience sur l'amélioration des pratiques .....	74

## **TABLE DE ANNEXES**

Annexe 1 : Questionnaire .....	p100
Annexe 2 : Guide d'entretien.....	p103
Annexe 3 : Entretien de Mme S retranscrit.....	p105

## **GLOSSAIRE**

ADN : Acide Désoxyribonucléique

ALARA : As Low As Reasonably Achieve

ASN : Autorité de Sureté Nucléaire

BASEP : Bureau d'analyse et de surveillance des expositions professionnelles

BECOME : Brain Cancer Risk in the General Group of Medical

CIPR : Commission internationale de Protection contre les Radiations

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

COVID : Corona Virus Disease

CRM : Cardiac Rhythm Management

CSP : Cataractes Sous-capulaires Postérieures

CT-scan : Computer Tomography-scan

2D : Deux dimensions

3D : Trois dimensions

EPC : Équipement de Protection Individuel

EPI : Équipement de Protection Collectif

IRM : Imagerie par résonance magnétique

IRSN : Institut de Radioprotection et de Sureté Nucléaire

JOLI : Justification Optimisation Limitation

LEPID : Le Laboratoire d'épidémiologie des rayonnements ionisants

LSS : Life Span Study

mSv : Milisievert

mGy : MiliGray

ONISEP : Office national d'information sur les enseignements et les professions

ORICAM : Occupational Radiation-Induced Cancer in Medical staff

PCR : Les Responsables de la Radioprotection

PDL : Produit Dose Longueur

PDS : Produit Dose Surface

RI : Rayonnement ionisant

RX : Rayonnement X

TDM : TomoDensitoMétrie

TED : Temps Écran Distance

UNSCEAR : The united Nations Scientific Committee On the effects of Atomic Radiation

## INTRODUCTION

Au cœur de l'environnement hospitalier, les professionnels de santé sont exposés à divers risques liés à leur pratique quotidienne. Parmi ces risques, l'exposition aux rayonnements ionisants constitue un enjeu majeur. La radioprotection des professionnels de santé est un principe essentiel pour garantir leur sécurité tout en leur permettant d'offrir des soins de qualité à leurs patients. Dans ce contexte, il est crucial de comprendre comment ce principe est respecté et intégré par les acteurs de la santé.

Ce mémoire de fin de master se concentre spécifiquement sur la radioprotection des professionnels de santé en milieu hospitalier. Il met en lumière l'importance accordée à leur sécurité et examine les pratiques mises en place pour minimiser les risques liés à l'exposition aux rayonnements x.

En s'appuyant sur des données récoltées lors d'études quantitatives et qualitatives et diverses études, ce mémoire analyse l'ampleur du problème et met en évidence les conséquences potentiellement néfastes de l'exposition aux rayonnements sur la santé des professionnels. Selon l'Organisation internationale du travail, l'exposition aux rayonnements ionisants dans un contexte professionnel touche plus de 24 millions de travailleurs dans le monde. **[1]**

En France, en 2020, un total de 387 452 travailleurs ont été surveillés en raison de leur exposition aux rayonnements ionisants liée à leur activité. Parmi eux, 364 614 travailleurs étaient impliqués dans des activités civiles liées au domaine nucléaire, à l'industrie, à la recherche et au domaine médical, ainsi que dans des installations et activités liées à la défense.

Les domaines médicaux regroupent la majorité des effectifs surveillés (59%), soit environ 215 000. **[2]**

Ces chiffres soulignent l'importance de la radioprotection dans ces secteurs où les travailleurs sont particulièrement exposés aux rayonnements ionisants. Il est donc primordial d'étudier en détail les mesures de radioprotection mises en place et leur efficacité pour préserver la santé des professionnels de santé.



Ce mémoire explore ainsi les stratégies de prévention, les protocoles de sécurité et les formations dédiées à la radioprotection du personnel hospitalier.

Il met en évidence l'importance cruciale de la radioprotection des professionnels de santé en milieu hospitalier.

Grâce à l'analyse des chiffres clé et des mesures de prévention, il vise à mettre en lumière les efforts déployés pour garantir leur sécurité et leur bien-être. En fournissant un aperçu détaillé des bonnes pratiques et des initiatives prometteuses, ce mémoire contribue à sensibiliser et à renforcer la prévention des risques liés à l'exposition aux rayonnements x dans le domaine de la santé.

Nous présenterons donc dans une première partie les risques des professionnels de santé à l'exposition aux rayonnements X, puis la radioprotection. La seconde partie permettra d'aborder la méthodologie utilisée pour obtenir les résultats observés lors de l'étude décrite en partie trois. La dernière partie abordera les recommandations apportées pour améliorer les pratiques de radioprotection des professionnels de santé.

# PARTIE 1 : REVUE DE LA LITTÉRATURE

La revue de la littérature joue un rôle crucial dans un mémoire, car elle permet de situer le sujet de recherche dans le contexte existant et de démontrer la compréhension approfondie du domaine. Elle offre une perspective globale en rassemblant les travaux antérieurs et les idées clés sur le sujet, ce qui permet au chercheur de mettre en évidence les problématiques, les avancées et les lacunes dans le domaine étudié.

En ce qui me concerne, nous aborderons la présentation des documents et articles qui permettront d'obtenir une vue d'ensemble sur l'exposition des professionnels de santé aux rayonnements et les mesures de radioprotection mises en place pour les protéger.

Pour cela, j'ai recueilli diverses informations à partir d'articles scientifiques, en sélectionnant les informations les plus pertinentes en lien avec mon sujet et en réalisant des résumés. J'ai également pris soin de définir tous les termes importants.

## **I. Les rayonnements X : un risque avéré pour la population et les professionnels de santé**

Nous sommes constamment exposés à différents types de rayonnements, à la fois visibles et invisibles, dans notre vie quotidienne.

La plupart de ces rayonnements, tels que les radios, les téléphones portables et les fours à micro-ondes et à induction, sont non ionisants, donc sans risque pour la population pour un usage quotidien.

Cependant, il existe différents types de rayonnements ionisants qui, en revanche, représentent un risque s'il n'y a aucune précaution utilisée.

### **A. Les différents types de rayonnements ionisants**

Il existe plusieurs types de rayonnements ionisants qui nuisent à notre santé. Les rayons alpha, les rayons bêta, les rayons gamma et les rayons X sont tous différents et présentent des degrés de danger différents.

## a. Rayonnement alpha , Rayonnement beta , Rayonnement gamma, Rayonnement X

**Les rayons alpha** émis par les atomes radioactifs sont des faisceaux de noyaux d'hélium composés de deux protons et de deux neutrons. Ces noyaux d'hélium lourds et chargés sont facilement et rapidement stoppés par le champ électromagnétique et les atomes qui composent la matière. Ils sont donc arrêtés par un bout de papier.

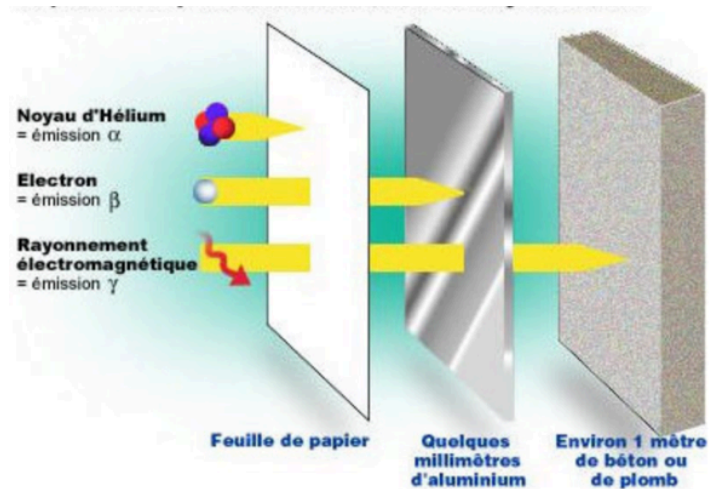


Figure 1 : Le pouvoir de pénétration des différents rayonnements [3]

Concernant **les rayons bêta**, ils sont émis par les atomes radioactifs et sont des faisceaux d'électrons. Le rayonnement bêta est chargé et cause donc plus de dégâts que le rayonnement alpha. Une simple feuille d'aluminium de quelques millimètres peut nous protéger des rayons bêta. Il est également possible d'utiliser une plaque de verre ou un écran en plexiglas de 1 cm pouvant retenir la plupart des particules bêta.

Ensuite, pour **les rayonnements gamma**, ils sont constitués de photons de haute énergie. Ces rayonnements pénètrent plus le corps que les rayons alpha et bêta, mais modifient moins les particules qu'ils rencontrent. Pour s'en protéger, le bouclier doit être très épais.

Enfin, il y a **les rayonnements X** qui sont constitués de photons (les particules qui composent la lumière). Ce rayonnement est utilisé pour voir à travers la matière (contrôles de sécurité dans les aéroports, imagerie). Une épaisse couche de béton ou de plomb assure la protection contre ce rayonnement. Nous verrons plus en détail dans une autre partie tous les moyens mis en place pour la protection contre ces rayonnements. [3]

Voici ci-dessous un tableau récapitulatif des différents types de rayonnement, de sources ainsi que l'usage qui y est associé. [4]

Type de rayonnement	Usage
Particule alpha	Combustible pour les centrales nucléaires
Particule bêta	Datation archéologique au carbone
Particule gamma	Traitement du cancer
Rayon X	Imagerie non envahissante

Figure 2 : Exemples de types de rayonnement, de sources et d'usages

Dans la partie ci-dessous, nous allons nous intéresser de plus près aux rayons X et essayer de comprendre les phénomènes physiques qui les produisent. Aujourd'hui, les rayons X sont devenus incontournables dans les hôpitaux. En effet, en étant utilisés en imagerie médicale, les rayons X ont permis de diagnostiquer et de contribuer à la guérison de nombreux patients.

### b. Les rayonnements X : De la découverte d'un phénomène physique à son application médicale

Wilhelm Röntgen, physicien allemand, découvre les rayons X en 1895. Il reçoit le prix Nobel de physique en 1901 pour cette découverte.

Il réalise son premier "Röntgenogramme" après une expérience sur la main de son épouse, où il s'aperçoit que l'image est l'ombre des os et que l'alliance est visible.

La nature des rayons étant inconnue, il leur donne le nom de "rayons X". [5]

Pour la plupart des individus du XXe siècle, les rayons X sont une source de divertissement.

En revanche, pour les médecins, ils proposent des techniques innovantes d'étude du corps humain. La radiologie a permis aux chirurgiens d'identifier et de

réparer les lésions osseuses, de mettre en évidence et d'extraire des balles et des éclats d'obus, sauvant la vie de milliers de soldats blessés pendant la Première Guerre mondiale.

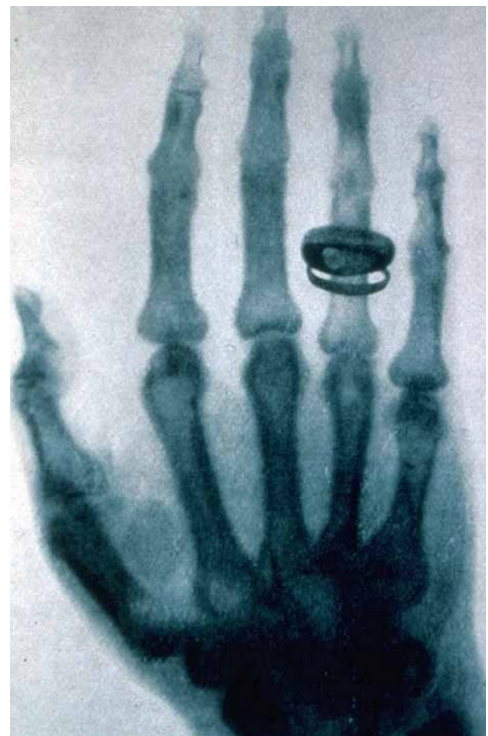


Figure 3 : Radiographie de la main du médecin Kolliker, 1896 [6]

Cependant, beaucoup de ces pionniers de l'utilisation des rayons X sont victimes de radiodermite (lésions de la peau survenues lors d'une exposition importante aux rayons X), avec des brûlures aux mains qui, dans le pire des cas, peuvent entraîner une amputation ou la mort.

Ce n'est qu'à la fin des années 1920, après la mort de Röntgen, que l'utilisation des rayons X a été réglementée et que des mesures de protection ont été mises en place. [7]

Par la suite, différentes machines ont été développées et installées dans les hôpitaux pour permettre d'effectuer des examens d'imagerie sur les patients dans des conditions optimales et réglementées.

## **B. Les différentes technologies d'imagerie médicale qui utilisent les rayonnements X**

En effet, il existe différents modes d'imagerie qui utilisent les RX de nos jours : la radiologie conventionnelle qui comprend la mammographie et le panoramique dentaire, le scanner et la radioscopie qui est utilisée en interventionnelle au bloc opératoire.

De plus, il est important de noter les différences entre les trois modes de pratique : la radiologie conventionnelle, qui implique des doses modérées, la tomodensitométrie (TDM), qui peut entraîner une exposition non-négligeable, et la radiologie interventionnelle, pour laquelle le rapport bénéfice/risque diffère et qui peut nécessiter des doses parfois importantes en comparaison avec les deux premières catégories. [8]

### **a- La radiologie conventionnelle**

Elle présente un intérêt diagnostique majeur dans de nombreux domaines de la médecine malgré l'émergence de nouvelles techniques comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM), le scanner ou encore l'échographie. La radiologie conventionnelle correspond à une imagerie en deux dimensions (2D) sans reconstruction possible. Selon la coupe radiographique, les zones noires correspondent à l'air et les zones blanches correspondent à la structure osseuse observée : c'est ce qu'on appelle la radio-densité. Elle est la même pour tous les appareils d'imagerie à rayons X. Ceux-ci vont permettre de définir les contours

des organes, les zones liquidiennes normales ou pathologiques, les corps étrangers, les calcifications, etc. [9]

#### b- Le scanner

Ensuite, le scanner aussi connu sous le nom de Computer Tomography-scan (CT-scan) ou encore TDM, a été développé en 1972 par Godfrey Hounsfield et Allan Cormack. Il a révolutionné la pratique médicale en permettant d'obtenir des images tomographiques en trois dimensions (3D) beaucoup plus précises et reconstruites par le biais d'un ordinateur. Les images sont obtenues en faisant tourner le tube à RX autour de la zone à explorer du patient. [9]

#### c- La radiologie interventionnelle

Enfin, concernant la radiologie interventionnelle ou encore radioscopie, elle se rapproche de la radiologie conventionnelle. Ce qui la différencie est que la radioscopie est utilisée au bloc opératoire pour guider le médecin dans son intervention et avoir des repères.

Par exemple durant une coronarographie ou encore une implantation de pacemaker.

La radioscopie fait plusieurs clichés à la suite grâce à la scopie qu'utilise le médecin pour enclencher l'émission de rayonnement X.

Le personnel étant en contact direct avec le tube à rayon X avec un débit beaucoup plus fort que la radiologie conventionnelle, des moyens de protection et des précautions supplémentaires seront à prendre en considération. [9]

Ainsi, comme nous avons pu le voir, l'utilisation des rayonnements X n'est pas sans conséquences et peut affecter la santé du patient mais, aussi celle du professionnel de santé. Nous allons voir plus en détails les différentes formes de risques que nous encourons suite à une surexposition ou une mauvaise exposition de ces rayons.

### **C. Les risques des rayonnements x : une réalité sous-estimée ?**

En effet, l'utilisation des rayonnements X comporte des risques pour la santé du patient et des travailleurs exposés, pouvant varier en intensité. Il est donc important de bien connaître ces risques, de prendre conscience de leur existence et de mettre en place des moyens de protection pour s'en prémunir.

Pour évaluer ces risques, plusieurs unités de mesure de la dose sont utilisées. Il existe deux types de risques : les risques stochastiques, liés à la probabilité d'apparition d'effets indésirables à long terme, et les risques déterministes, qui se manifestent lorsque la dose reçue dépasse un certain seuil. [10]

### a. Le principe de dose

En France, l'exposition de la population aux rayonnements ionisants est répartie dans plusieurs secteurs. Principalement dans le radon (un gaz naturel radioactif) avec une dose annuelle moyenne de 3,5 millisieverts (mSv) , suivie par le secteur médical avec une dose annuelle moyenne de 1,5 mSv. Ensemble, le radon et le secteur médical représentent plus de la moitié de l'exposition aux rayonnements ionisants en France. [11]

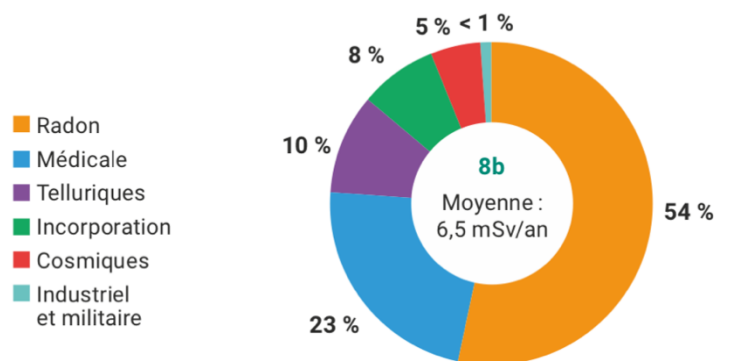


Figure 4 : Exposition aux Rayonnements ionisants de la population en France en 2020 [11]

Il est crucial que les radiologues et médecins spécialistes en imagerie interventionnelle soient en mesure de quantifier la dose de rayonnement délivrée lors des examens courants. La transcription des rapports de dose sur les comptes-rendus finaux est une obligation légale selon l'Arrêté du 22 septembre 2006 qui régit les informations dosimétriques requises pour tout acte impliquant l'utilisation de rayonnements ionisants.

Dans le cas de la radiologie, il s'agit du Produit Dose Surface (PDS), tandis que pour la tomodensitométrie, c'est le Produit Dose Longueur (PDL) qui est utilisé pour estimer la dose efficace. [12]

Les effets que peuvent provoquer les rayonnements ionisants sur la santé dépendent de plusieurs paramètres :

- ⇒ la dose d'irradiation, c'est-à-dire la quantité d'énergie transmise par les rayonnements dans l'organe ou le tissu touché
- ⇒ la nature du rayonnement (X, gamma, alpha)
- ⇒ les modalités d'exposition (interne ou externe)
- ⇒ l'organe ou le tissu touché (poumons, peau...)

La notion de dose est cruciale en radioprotection car elle permet d'évaluer les effets des rayonnements ionisants sur l'organisme humain. Différentes mesures de dose sont utilisées, les principales étant la dose absorbée, la dose équivalente et la dose efficace :

- ⇒ La **dose absorbée**, en gray, correspond à la quantité d'énergie cédée par le rayonnement.
- ⇒ La **dose équivalente** en Sievert, prend en compte le type de rayonnement. Elle est calculée en multipliant la dose absorbée par un facteur dépendant du type de rayonnement. (X, gamma...)
- ⇒ La **dose efficace** en prend en compte non seulement la quantité d'énergie transmise par les rayonnements à un organe ou un tissu spécifique, mais également le type de tissu ou d'organe touché. Elle permet de prédire le risque d'avoir un cancer induit sur le moyen/long terme. [13]

Maintenant que, nous avons vu les différentes mesures de dose utilisées en radioprotection, il est important de comprendre les effets des rayonnements ionisants sur le corps humain. Les effets des rayonnements peuvent être classés en deux catégories : les effets déterministes et les effets stochastiques.

### b. Les effets à court termes

Les effets à court terme et aussi appelés effets déterministes sont connus depuis la découverte des rayons X par Röntgen il y a de nombreuses années. Ils se manifestent de manière certaine lorsque la quantité de rayonnements absorbée dépasse un certain seuil, et leur gravité dépend du type de tissu exposé. [14]

Ce sont des rayonnements à fortes doses qui ont un impact à court terme sur la personne exposée. En Effet, ils se déclarent en général de manière précoce, avec des temps de latence (temps séparant l'exposition de l'apparition de l'effet) variant de quelques heures (nausées, radiodermites) à plusieurs mois. [15]



Leur gravité augmente avec la dose absorbée. [16] C'est donc souvent dans le cas de situations accidentelles.

Les tissus et les organes les plus sensibles aux rayonnements ionisants sont ceux qui ont une grande capacité de division cellulaire, comme les organes reproducteurs, la moelle osseuse (qui produit les cellules sanguines), le cristallin et la peau. [10]

Les rayonnements ionisants peuvent causer des lésions aux cellules de l'ADN (acide désoxyribonucléique). Si ces lésions ne sont pas réparées par les cellules elles-mêmes, cela peut entraîner la mort cellulaire et une perte de fonction du tissu affecté, avec des effets

Dose (en Gy)	1	5	10	20	50
Atteinte de la peau					
Atteinte des gonades					
Atteinte du cristallin					

Figure 5 : Les effets d'une irradiation aigue selon l'organe exposé [15]

sanitaires tels que l'érythème (rougeur), la radiodermite, la radionécrose ou la cataracte.

Nous pouvons noter également une atteinte des gonades, chez l'homme ainsi que chez la femme, qui peut amener à une fertilité prolongée. Chez les hommes, les conséquences sont plus importantes puisqu'une surexposition entraîne une fertilité irréversible. [15]

Des effets déterministes sont observés chez tous les sujets exposés à des doses élevées de rayonnements ionisants, dépassant plusieurs grays. Ces effets sont considérés comme ayant un seuil.

Par exemple, les rayonnements X peuvent entraîner des effets tels qu'une diminution temporaire des spermatozoïdes à partir d'une dose de 0,15 Gy, tandis qu'une dose de 15 Gy peut entraîner le décès de la personne exposée par une atteinte du système nerveux.

EFFETS DÉTERMINISTES ET DOSES SEUILS POUR UNE EXPOSITION UNIQUE BRÈVE	
Effets déterministes ou réactions tissulaires	Dose d'irradiation
Diminution temporaire des spermatozoïdes	0,15 Gy
Atteinte oculaire : opacités du cristallin	0,5 Gy
Diminution temporaire des leucocytes (globules blancs) Lésions cutanées	1 Gy
Stérilité féminine	2,5 Gy
Stérilité masculine définitive	3,5 Gy
Atteinte gastro-intestinale	5 Gy
Décès par atteinte du système nerveux	15 Gy

Figure 6 : Les effets déterministes et doses seuils pour une exposition unique brève [10]

En cas d'irradiation globale du corps humain, le pronostic vital est lié à l'importance de l'atteinte des tissus (moelle osseuse, tube digestif, système nerveux central). Si une personne est exposée uniformément à une forte dose de rayonnement ionisant sur tout son corps, sans traitement approprié, elle a une probabilité de 50 % de décéder à partir d'une dose de 4 Gy. [10]

Outre les effets déterministes des rayonnements ionisants, il existe des effets stochastiques qui peuvent impacter les personnes exposées.

### c. Les effets à long terme

Les effets à long terme appelé aussi effets stochastiques ou aléatoires ne se manifestent pas toujours. Ils apparaissent de façon différée, sans seuil évident, ni gravité clairement corrélée à la dose reçue, contrairement aux effets déterministes.

Ces risques tardifs (Cancers radio-induits, dont ceux de la thyroïde, les sarcomes osseux,

les leucémies, ... Et possiblement malformations dans la descendance) sont plus liés à l'accumulation des doses sur plusieurs irradiations successives et sur le long-terme. [17]

En effet, pour les effets stochastiques des rayonnements ionisants, la probabilité d'apparition de l'effet augmente avec la dose, et le délai entre l'exposition et l'apparition de la pathologie peut être de plusieurs années.

Contrairement aux effets déterministes, les pathologies radio-induites ne présentent pas de marqueurs biologiques spécifiques permettant de les différencier des pathologies non-radio-induites, telles que les cancers du poumon causés par le tabagisme. [15]

Lorsque les rayonnements ionisants interagissent avec les cellules vivantes, celles-ci peuvent subir des lésions qui peuvent être réparées de manière imparfaite ou erronée, en particulier les lésions de l'ADN. Les anomalies génétiques résiduelles peuvent être transmises à de nouvelles cellules par divisions cellulaires successives, et bien que cela ne conduise pas nécessairement à la formation d'une cellule cancéreuse, cela peut être la première étape vers la cancérisation. [18]

L'apparition des effets cancérogènes dus aux rayonnements ionisants ne dépend pas d'un seuil de dose spécifique, mais plutôt d'une probabilité d'apparition pour chaque individu. Les liens entre l'exposition aux rayonnements ionisants et la survenue de cancers ont été établis dès le début du XXe siècle, lorsque des cas de cancer de la peau ont été observés chez des personnes atteintes de radiodermite. Depuis lors, d'autres types de cancers ont été associés à une exposition professionnelle aux rayonnements ionisants, tels que certains types de leucémies, de cancers bronchopulmonaires (causés par l'inhalation de radon) et de sarcomes osseux. [18]

Les études de suivi des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki ont montré une augmentation du risque de cancer à partir d'une dose estimée d'environ 100 mSv. Des études épidémiologiques ont également démontré une augmentation du risque de cancer thyroïdien chez les enfants traités par radiothérapie à partir d'une dose équivalente de 100 mSv. En conséquence, par mesure de précaution, il est considéré que toute dose de rayonnement, même faible, peut augmenter le risque de cancer. Cette hypothèse est appelée « absence de seuil ». [10]

Des études expérimentales menées sur la mouche et la souris ont démontré que des mutations génétiques peuvent être transmises à la descendance après irradiation.

Cependant, les études épidémiologiques menées sur des populations humaines irradiées n'ont pas pu prouver de manière certaine une augmentation des effets génétiques dans la descendance. [10]

Jusqu'à présent, la cataracte radio-induite était considérée comme une pathologie rare qui n'apparaissait qu'après une exposition à des doses élevées de rayonnement, principalement chez les patients traités par radiothérapie. Cependant, de récentes études ont remis en question cette idée et suggèrent que le seuil d'apparition de la cataracte pourrait être beaucoup plus bas que prévu. Les recherches ont montré que cette pathologie peut se développer chez des populations exposées à des niveaux de rayonnement plus faibles, tels que les astronautes, les survivants d'Hiroshima et Nagasaki, les patients ayant subi un scanner cérébral et les travailleurs impliqués dans les opérations de nettoyage de Tchernobyl. Les mécanismes responsables de la cataracte radio-induite sont également différents de ce qui était initialement pensé. Ils sont plus stochastiques, c'est-à-dire que l'altération du génome des cellules cibles et les perturbations de la division cellulaire et de la différenciation cellulaire des cellules filles en sont responsables, plutôt que des dommages directs tissulaires. [19]

Plusieurs études et observations ont permis de faire diminuer la dose annuelle au cristallin à 20 mSv à partir de juillet 2023. (Cf partie « *Récapitulatifs des valeurs d'exposition* » p 40)

La prochaine partie abordera certaines de ces études, notamment celles sur la cataracte, ainsi que d'autres études portant sur le risque de cancer cérébral.

#### d- Plusieurs études démontrant les risques à l'exposition des rayonnements X

En 2003, le régime général de la sécurité sociale a reconnu 33 maladies comme étant d'origine professionnelle, comprenant notamment 17 cas de cancer bronchopulmonaire causé par l'inhalation de substances, 1 cas de sarcome osseux, 8 cas de leucémie, 1 cas d'anémie, 5 cas de cataracte et 1 cas de radiodermite. [20]

Plusieurs études ont établi un lien de causalité entre l'exposition quotidienne aux rayonnements ionisants et le risque de maladie plus ou moins grave.

### ⇒ **L'accident d'Hiroshima et Nagasaki**

Des études de cohortes menées auprès des survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et Nagasaki ont fourni des estimations de référence des risques sanitaires liés aux rayonnements ionisants (UNSCEAR = The United Nations Scientific Committee On the Effects of Atomic Radiation = évalue les niveaux et les effets de rayonnements ionisants, 1994).

L'étude, appelée "Life Span Study" (LSS), a inclus 86 000 sujets dont les doses individuelles ont été reconstituées, avec une moyenne de 200 mSv.

Les résultats ont montré des augmentations significatives de la mortalité en fonction de la dose pour plusieurs types de cancers, notamment le cancer du poumon, de l'œsophage, de l'estomac, du côlon, de la vessie, du sein, de l'ovaire et du col de l'utérus. Le risque de décès pour tous les cancers solides était de 9,2 %. La leucémie était le cancer le plus radiosensible, avec un risque de décès de 53,7 %.

La susceptibilité à la carcinogenèse radio-induite était plus élevée chez les femmes et inversement proportionnelle à l'âge au moment de l'exposition. D'autres études sur les radiations médicales ont confirmé ces observations. [21]

### ⇒ **L'étude ORICAMs et BECOME**

Le Laboratoire d'épidémiologie des rayonnements ionisants (LEPID) de l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire), en collaboration avec le Bureau d'analyse et de surveillance des expositions professionnelles (BASEP), a créé la Cohorte ORICAM (Occupational Radiation-Induced Cancer in Medical staff), qui est composée de professionnels de santé surveillant leur exposition aux rayonnements ionisants. L'objectif de cette étude de cohorte était d'évaluer le risque de décès par cancer et maladies non-cancéreuses chez les professionnels de santé en France, en Corée et aux États-Unis. [22]

Cette étude française, mise en place en 2011 par l'IRSN, a suivi 227 000 individus depuis 2002. La cohorte coréenne des travailleurs médicaux, mise en place en 2017 par l'Université coréenne de Séoul, incluant 94 000 individus suivis depuis 1996 et la cohorte américaine des technologues en radiologie a été créée en 1983 par le National Cancer Institute, composée d'environ 110 000 travailleurs de la santé qui ont été exposés entre 1920 et 2010.

Elle fera progresser les connaissances sur les risques pour la santé associés aux rayonnements ionisants à faible dose prolongés ou répétés, qui constituent un mode d'exposition classique pour les professionnels de la santé. [23]

Elle contribuera à l'étude internationale BECOME (Brain Cancer Risk in the General Group of MEDical) qui vise à rassembler les données de trois études cas-témoins respectives imbriquées parmi les travailleurs de la santé en France, en Corée et aux États-Unis exposés aux rayonnements ionisants pour étudier le risque de mort par cancer du cerveau.

L'analyse conjointe de l'étude BECOME et de l'étude ORICAMs aidera à étudier les effets sur la santé de l'exposition professionnelle aux IR chez les travailleurs de la santé, qui forment le plus grand groupe d'expositions aux IR. Les résultats permettront d'améliorer les stratégies de radioprotection des travailleurs de la santé et de sensibiliser les professionnels de la santé à l'importance de la radioprotection dans leur milieu professionnel. [23]

⇒ *Roguin et al., 2013*

Cette étude a impliqué un groupe de 31 médecins interventionnels qui ont été exposés à des rayonnements ionisants pendant plusieurs années et ont finalement développé un cancer.

Pour tous les cas, dans la mesure du possible, ils ont fait de leur mieux pour obtenir des données de base, notamment l'âge, le sexe, le type de tumeur et la côté impliquée, la spécialité (cardiologue ou radiologue) et les années de pratique.

Parmi les 31 médecins, 23 sont des cardiologues interventionnels, 2 des électro physiologistes et 6 des radiologues interventionnels.

Tous les médecins ont travaillé longtemps (durée de latence 12 à 32 ans, moyenne  $23,5 \pm 5,9$ ) avec une exposition aux rayonnements ionisants active. Dans 26 cas sur 31, des données concernant le côté du cerveau impliqué étaient disponibles. Malignités gauches 22 cas (85 %), médiane 1 cas et droite 3 cas. Pris ensemble, ces résultats suggèrent des inquiétudes concernant le développement du cancer du cerveau chez les médecins effectuant des procédures interventionnelles. Étant donné que le cerveau est relativement peu protégé et que le côté gauche de la tête est connu pour être plus exposé aux radiations que le droit, ces résultats concernant des rapports disproportionnés de tumeurs sur le côté gauche suggèrent une possible relation causale avec l'exposition professionnelle aux radiations. [24]

⇒ **Étude sur la cataracte**

Plusieurs études ont montré une incidence de la cataracte majorée d'un facteur 2 à 3 chez les radiologues et les cardiologues interventionnels. [18]

Parmi ces études, il y en a une qui a été réalisée pour déterminer la prévalence des cataractes liées au travail et pour décrire les facteurs de risque de cataracte chez les exposés aux RI par rapport aux médecins qui ne sont pas en contact avec les RI. L'étude comprenait 98 interventionnistes. L'incidence combinée des cataractes sous-scapulaires postérieures (CSP) et des cataractes corticales était de 18,8 % dans le groupe exposé et de 13,9 % dans le groupe non exposé. La prévalence de la cataracte CSP dans le groupe exposé était de 5,9 % et de 2,8 % dans le groupe non exposé. L'augmentation des cataractes n'était pas statistiquement significative dans le groupe d'exposition, mais était cliniquement significative. Les résultats sont importants, car ils mettent en évidence la nécessité d'une plus grande vigilance pour protéger les travailleurs de la santé exposés aux RI. [25]

Une autre étude sur les cataractes a été réalisée, appelée Bernier et al. Cette étude porte sur les expositions en médecine nucléaire des manipulateurs en électroradiologie médicale (MERM). Au cours des années 2003-2005 et 2012-2013, 42 545 MERM ont participé à l'étude.

Au cours de la période de suivi (suivi moyen de 7 ans et demi), 7 137 cataractes ont été rapportées. Un risque significativement plus élevé de cataracte a été observé chez les travailleurs ayant subi une procédure de médecine nucléaire (MN) au moins une fois plutôt que jamais. Le risque de cataracte était plus élevé dans le groupe ayant subi une procédure de diagnostic ou un traitement pour MN. Les analyses n'ont montré aucune association entre le risque de cataracte et la technique de radioprotection spécifique utilisée. [26]

Ci-dessous un tableau récapitulatif de toutes les études expliquées précédemment :

Études	Description
UNSCEAR	Étude menée auprès des survivants des bombes atomiques d'Hiroshima et Nagasaki

	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Il a été observé que différentes formes de cancer présentent une augmentation significative du taux de mortalité en fonction de la dose.</li> </ul>
<b>ORICAM</b>	<p>L'objectif de cette étude de cohorte était d'examiner le risque de décès lié aux cancers et aux maladies non-cancéreuses chez les professionnels de la santé en France, en Corée et aux États-Unis.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Étude en cours.</li> </ul>
<b>BECOME</b>	<p>L'objectif de cette étude est de regrouper les données de trois études cas-témoins distinctes menées auprès des travailleurs de la santé exposés aux rayonnements ionisants, afin d'analyser le risque de décès lié au cancer du cerveau.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ L'étude ORICAM contribue à celle-ci.</li> <li>➤ Étude en cours.</li> </ul>
<b>Roquin et al.</b>	<p>Étude menée sur des médecins interventionnels sur l'exposition aux RI de la tête.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Plusieurs cas de malignités cérébrales observés.</li> </ul>
<b>La cataracte</b>	<p>Une première étude qui porte sur le facteur de risque de la cataracte chez les médecins interventionnels</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Augmentation clinique observé chez les médecins exposés.</li> </ul>



	<p>Une deuxième étude (Bernie et al.) porte sur l'exposition aux RI des MERM</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Risque plus élevé chez les personnes ayant été exposé au moins une fois à la médecine nucléaire.</li> </ul>
--	---

Figure 7 : Tableau récapitulatif de plusieurs études sur les risques à l'exposition des RI

Tous les risques vus ci-dessus s'appliquent à tous les individus exposés, mais il est important de relever que certaines populations peuvent être plus vulnérables aux effets nocifs des rayonnements x, notamment les femmes enceintes.

#### e- La femme enceinte et les rayons X : Une menace pour l'embryon

En vertu du Code du travail, des dispositions spécifiques (D.4152-4 à D.4152-6) sont mises en place pour réguler le travail des femmes enceintes effectuant exposées aux rayonnements ionisants. Ces mesures ont pour but de protéger la santé des travailleuses enceintes et de leur fœtus en réduisant l'exposition aux rayonnements dangereux.

Une travailleuse enceinte peut continuer à travailler en radiologie à moins qu'une classification de catégorie A (Cf partie sur « *la catégorisation* » p 39.) ne soit requise.

De plus, l'exposition fœtale de la déclaration de grossesse à l'accouchement doit être inférieure à 1 mGray (miliGy). Cette valeur correspond à la limite annuelle grand public d'assimilation fœtale. Une fois la grossesse confirmée, il incombe à la femme de signaler la grossesse au médecin du travail. [27]

Les recommandations suivantes sont basées sur la CIPR (Commission Internationale de Protection contre les Radiations) publication 84 [28] pour les femmes enceintes au travail :

- ⇒ Les limites de dose fœtale n'empêchent aucunement les travailleuses enceintes de travailler avec des équipements émettant des rayonnements ionisants ou d'entrer ou de travailler dans des zones réglementées. Cela signifie que les employeurs, les responsables de la radioprotection (PCR) et les médecins du travail, doivent évaluer

avec soin le statut d'exposition des femmes enceintes, en particulier les risques associés à une exposition accidentelle aux rayonnements.

⇒ Trois options sont couramment utilisées dans le domaine médical lorsqu'il s'avère qu'une employée est enceinte :

- 1- Pas de changement d'attribution de poste.
- 2- Déplacer vers un endroit avec un niveau d'exposition inférieur.
- 3- Affectation à un poste sans risque d'exposition aux radiations pour les travailleurs qui n'acceptent pas d'être exposée.

Selon la CIPR 84, le risque de doses fœtales inférieures à 100 mGy ne justifie pas l'avortement. Entre 100 et 200 mGy, la décision dépend de facteurs individuels (comme les risques associés). Des doses supérieures à 200 mGy peuvent causer de graves dommages au fœtus, dont la nature et l'étendue dépendent de la dose et du stade de la grossesse. [28]

Malformations	Estimation de la dose seuil	Période à risque en cours de grossesse (semaines post-conception)
Microcéphalie	≥ 20 Gy	8-15
Retard mental	60 à 310 mGy entre la 8 <sup>e</sup> et 15 <sup>e</sup> semaine (a) 250 à 280 mGy entre la 16 <sup>e</sup> et 25 <sup>e</sup> semaine (a) > 500 mGy entre la 8 <sup>e</sup> et 15 <sup>e</sup> semaine (b)	8-15
Réduction du quotient intellectuel	100 mGy	8-15
Autres malformations (yeux, squelette et organes génitaux)	≥ 200 mGy	3-11

Figure 8 : Les différents risques de malformation chez la femme enceinte exposée aux RI (a) Otake et al et (b) Miller in de santis [28]

Enfin, la question de l'avortement, en cas de risque majeurs pour le fœtus, est traitée différemment selon les pays. L'éthique personnelle, la morale, les croyances religieuses et même le respect des lois et réglementations locales et nationales compliquent davantage la prise de décision. Cela va au-delà des considérations propres à la radioprotection et nécessite un accompagnement et des conseils aux patientes et à leurs conjoints.

## **Conclusion intermédiaire de la revue de la littérature :**

Ainsi, les travailleurs exposés aux rayons X peuvent être exposés à des risques pour la santé tels que le cancer, des troubles de la reproduction, des maladies cardiovasculaires et des cataractes. Pour minimiser ces risques, il est important de prendre des mesures de protection telles que le port d'un équipement de protection individuelle, la réduction des temps d'exposition et l'utilisation d'un équipement à rayons X moderne avec des paramètres d'exposition appropriés. Il est également important de suivre les protocoles de surveillance de la sécurité et de la santé des travailleurs exposés aux rayons X. En résumé, la sensibilisation et la mise en œuvre de mesures de protection appropriées sont essentielles pour assurer la sécurité des travailleurs exposés aux rayonnements X.

## II. La radioprotection : un enjeu de santé publique

La radioprotection est un enjeu de santé publique important, car l'exposition aux rayonnements ionisants peut avoir des effets nocifs sur la santé humaine. La radioprotection implique de prendre des précautions et des mesures de protection pour minimiser les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants. Cela comprend l'utilisation des dernières techniques et technologies, ainsi que des normes et réglementations strictes pour assurer la sécurité des travailleurs et du public.

Outre les moyens mis en place par les structures pour assurer la radioprotection des travailleurs, il est important que les travailleurs soient acteurs de leur propre radioprotection pour protéger leurs santés des rayons X.

### A. Une réglementation connue par tous ?

D'après l'IRSN, la radioprotection « *recouvre l'ensemble des mesures prises pour assurer la protection de l'homme et de son environnement contre les effets des rayonnements ionisants. Elle s'est construite progressivement depuis la découverte de la radioactivité au début du 20e siècle.* » [29]

Elle est désormais contrôlée et réglementée par différents organismes tels que l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire), la CIPR (Commission internationale de protection radiologique) ou encore l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire).

#### a. Les organismes de radioprotections

⇒ **ASN** [30]

La loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire a instauré l'ASN en tant qu'autorité administrative indépendante. La mission principale de l'ASN consiste à surveiller et à réguler les activités nucléaires civiles en France afin d'assurer la sécurité des travailleurs, de la population et de l'environnement.

Elle repose sur 3 fonctions principales la réglementation, le contrôle et l'information du public.

En ce qui concerne la réglementation, l'ASN a deux principales missions :

- Elle donne son Avis au Gouvernement sur les projets de Décret et de Règlement Ministériel.
- Elle prend des décisions réglementaires à caractère technique pour compléter le champ d'application de ces décrets et arrêtés, à l'exception de la santé au travail.

Les décisions réglementaires de l'ASN sont soumises à l'approbation du ministre chargé de la sûreté nucléaire ou de la radioprotection, selon le cas étudié.

Dans le domaine des activités médicales, l'ASN instruit les demandes d'agrément ou de déclaration d'utilisation des rayonnements ionisants au titre de la loi de santé pour la médecine, l'activité dentaire, la biologie humaine ou encore la recherche biomédicale.

Ensuite, l'ASN a la responsabilité réglementaire de vérifier le respect des exigences (règles générales, règles particulières...) applicables aux installations ou activités relevant de sa compétence.

L'ASN exige que tout utilisateur de rayonnements ionisants, exploitant d'installations nucléaires ou expéditeur de matières radioactives assume pleinement ses responsabilités et obligations en matière de radioprotection ou de sûreté nucléaire.

L'ASN dispose également des pouvoirs de disposition et de sanction appropriée et peut exiger du directeur l'établissement ou du responsable de l'activité concernée le respect de toute condition qu'elle estime nécessaires à la poursuite de l'activité concernée.

Enfin, en matière d'information, l'ASN est chargée d'informer le public. Son objectif est d'assurer un contrôle nucléaire efficace, légal et crédible, reconnu par la société civile et conforme aux normes internationales. Elle doit également informer lors de situations d'urgences en mettant en œuvres des recommandations sur les mesures à prendre d'un point de vue médical, sanitaire ou de sécurité civile.

Les informations transmises doivent toujours être transparentes, c'est-à-dire, intègre et accessible.

## ⇒ **IRSN**

L'IRSN, quant à elle, est impliquée dans plusieurs domaines : l'environnement, la sûreté, la sécurité, la pédagogie, mais aussi la santé et c'est ce dernier qui nous intéressera ici.

En effet, en termes de santé, elle mène des activités de recherche, de surveillance et d'expertise pour assurer la protection des travailleurs, des patients et du public contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. Les défis sociétaux émergents liés à la lutte contre le cancer, la santé environnementale ou la lutte contre les actes malveillants, sont des sujets étudiés par l'IRSN, en mettant tout en place pour les limiter et réparer les conséquences.

Elle a également pour objectif de centraliser, d'interpréter et de mettre à disposition les mesures de la radioactivité dans l'environnement, en apportant un support pédagogique à la communication gouvernementale pour comprendre la situation et les risques radiologiques. [31]

Tout comme l'ASN, l'IRSN joue un rôle en cas de situation d'urgence. En effet, son rôle est de recommander aux autorités les mesures techniques, sanitaires et médicales pour assurer la protection de la population, des travailleurs et de l'environnement. L'objectif est d'apporter un éclairage technique sur toutes les situations imaginables à l'intérieur du pays ou sur tous les événements à l'étranger susceptibles d'affecter le pays. [32]

## ⇒ **CIPR**

Pour ce qui est de la CIPR, c'est une organisation internationale, indépendante à but non-lucratif, qui fait progresser, dans l'intérêt du grand public, la science de la protection radiologique, notamment en fournissant des recommandations et des orientations sur tous les aspects de la protection contre les rayonnements ionisants.

Elle comporte plus de 250 experts mondialement reconnus dans les domaines de la science, de la politique et de la pratique de la radioprotection, originaires de plus de 30 pays. Elle se positionne principalement sur 5 comités : les effets sanitaires des radiations, la dose d'exposition, la protection en médecine, l'application des recommandations, et la protection de l'environnement.

Jusqu'à aujourd'hui, elle a publié plus d'une centaine de documents sur tous les aspects de la radioprotection. [33]

Ci-dessous un schéma qui récapitule les organismes expliqués précédemment :

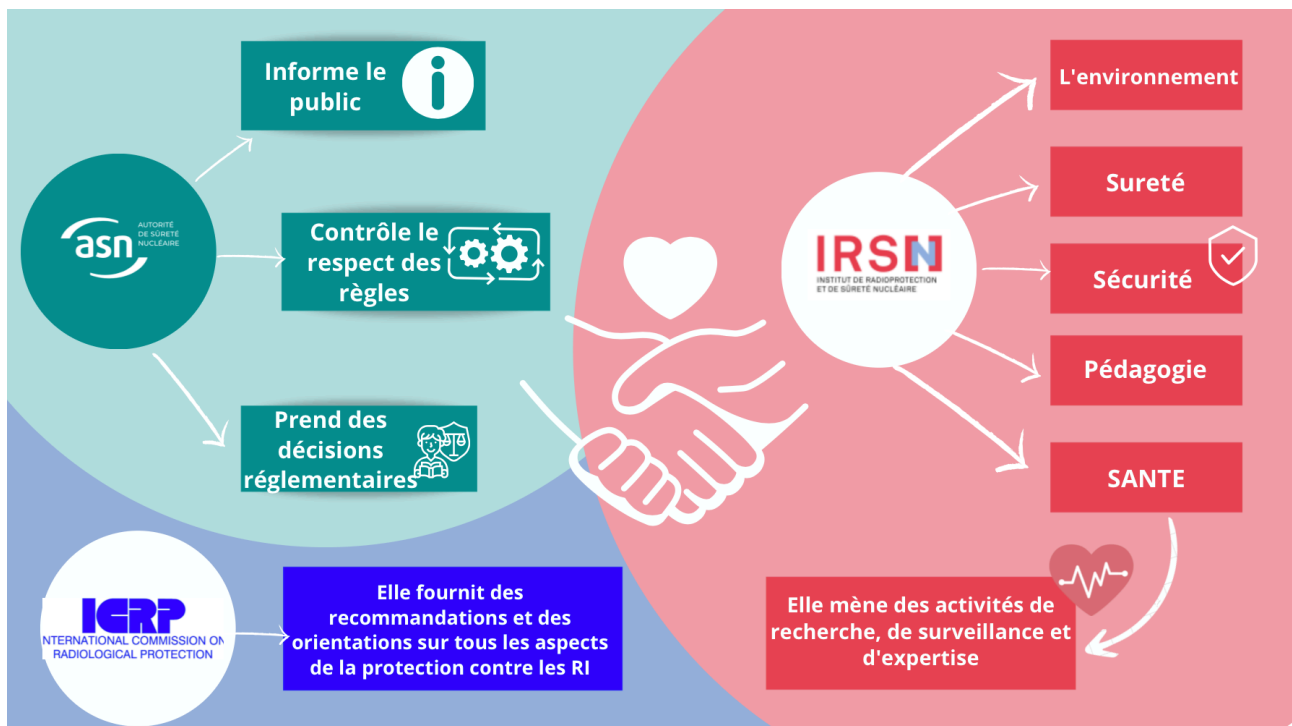


Figure 9 : Rôle des différents organismes de la radioprotection : IRSN, ASN et ICRP

Ainsi, tous ces organismes de radioprotection jouent un rôle crucial dans la mise en place et l'application de normes et réglementations de radioprotection.

## b. Généralité sur les normes et réglementations en matière de radioprotection

Des normes et des réglementations sont à respecter pour assurer une radioprotection de l'ensemble du personnel exposé. Le code de la santé publique ainsi que le code du travail a contribué à cette réglementation.

### ⇒ **Le code de la santé publique**

Il y a tout d'abord le chapitre III (article R1333-1 à R1333-175) du code de la santé publique qui traite des rayonnements ionisants.

Il vise à établir des normes de protection contre les effets des rayonnements ionisants sur la santé humaine et l'environnement et à prévenir les effets nocifs des rayonnements ionisants.

En particulier, elle régleme la surveillance des sources radioactives, la notification des incidents et des accidents, la formation et la certification des personnes travaillant avec des sources radioactives et la notification publique des risques radiologiques. Ce chapitre établit également des réglementations pour le contrôle de la qualité des installations de radiologie diagnostique et de radiothérapie et des réglementations pour la gestion des déchets radioactifs. Enfin, elle impose aux employeurs des obligations de protection de la santé des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants et clarifie les règles relatives aux examens médicaux obligatoires des travailleurs exposés aux rayonnements. [34]

Il y a ensuite le Décret n° 2001-1154 du 5 décembre 2001 relatif à l'obligation de maintenance et au contrôle de qualité des dispositifs médicaux prévus à l'article L. 5212-1 du code de la santé publique. [35]

### ⇒ ***Le code du travail***

Puis le chapitre 1<sup>er</sup> (article R4451-1 à R4451-137) du code du travail qui aborde la prévention des risques d'expositions aux rayonnements ionisants.

Ce chapitre établit les obligations des employeurs en matière de prévention des risques liés aux rayonnements ionisants, notamment la mise en place de mesures de protection collectives et individuelles, la délimitation des zones surveillées et contrôlées, la formation et l'information des travailleurs. Elle établit également les règles de radioprotection applicables aux salariés, notamment les règles pour éviter et limiter la dose de rayonnement reçue et les mesures de surveillance médicale.

Enfin, le chapitre prévoit des sanctions en cas de non-respect des obligations de prévention des risques liés aux rayonnements ionisants et contient des dispositions spécifiques pour les travailleurs travaillant dans les zones à risques. [36]

Ci-dessous un schéma qui récapitule les différents codes impliqués dans la radioprotection expliqués précédemment :



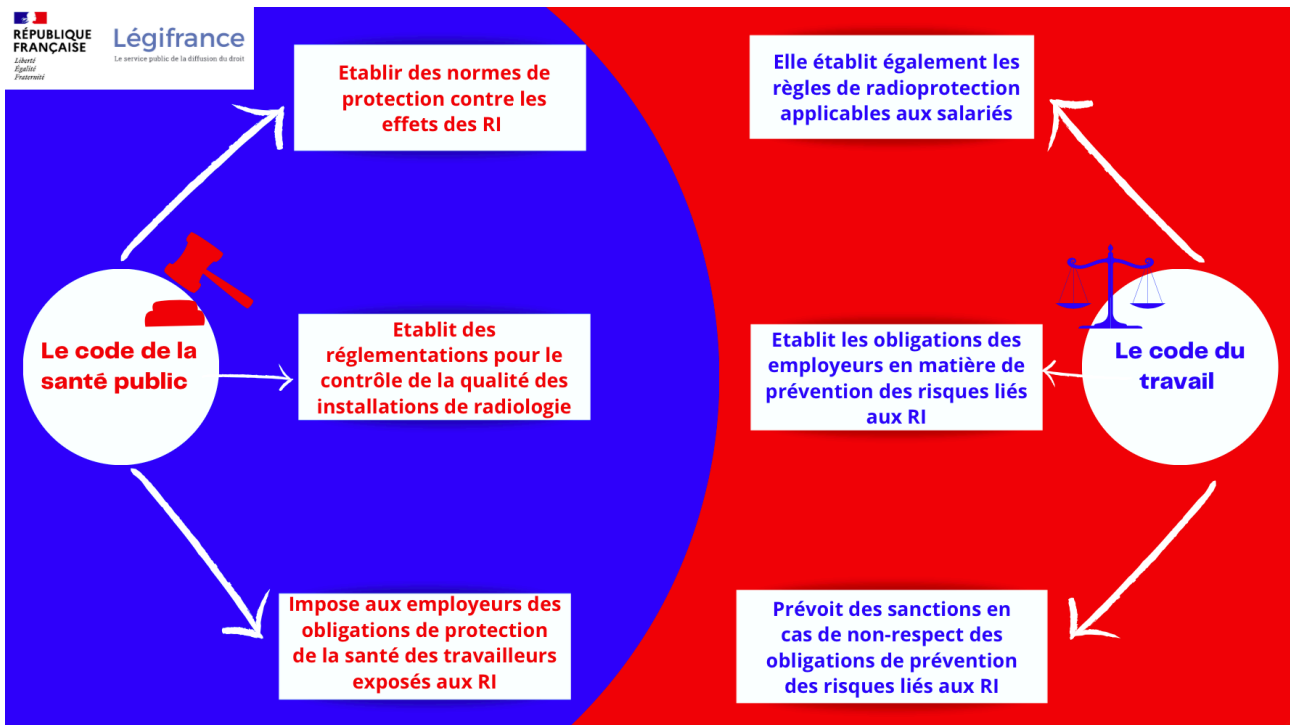


Figure 10 : : Généralité réglementaire en termes de radioprotection

Ainsi, une réglementation complète existe pour protéger et prévenir les risques de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants.

Des principes concrets sont mis en place tel que le principe JOLI (Justification, Optimisation, Limitation), le principe ALARA (As Low As Reasonably Achieve) le principe TED (Temps, Écran distance) mais aussi le zonage. Nous allons pouvoir étudier ses principes plus en détails.

### c. Les principes de base de la radioprotection : des principes toujours respectés ?

#### 1. Le principe JOLI [37]

⇒ Justification

Les activités susceptibles d'exposer une personne à des rayonnements ionisants ne peuvent être entreprises ou réalisées que lorsque cela est justifié par ses avantages sanitaires, sociaux, économiques ou scientifiques par rapport aux risques associés à cette exposition.

Toute conduite inappropriée est interdite. Si plusieurs techniques produisent les mêmes résultats, la technique avec la « dose » de rayonnement ionisant la plus faible et l'évaluation des risques la plus favorable est sélectionnée.

⇒ *Optimisation*

L'exposition du grand public aux rayonnements ionisants doit être maintenue au niveau le plus bas, raisonnablement possible.

Pour optimiser cette exposition, il est possible d'intervenir sur :

- La Source de rayonnement : en utilisant des écrans, des contenants de protection qui absorbent les rayonnements ionisants et d'autres systèmes de sécurité (serrures, ventilation, etc.) pour réduire l'intensité de la source.
- Les conditions de travail : en augmentant un maximum la distance avec les sources de rayonnement, en réduisant le temps d'exposition, en utilisation des vêtements et des accessoires de protection et en appliquant des protocoles d'intervention de suivi pour réduire l'exposition externe.

⇒ *Limitation*

Les réglementations nationales en matière de santé et de travail fixent des limites aux doses annuelles cumulées uniques autorisées pour le public et les travailleurs.

La limite de dose efficace pour le grand public a été fixée à 1 mSv/an.

Pour les salariés, cette limite est de 20 mSv/an ou 6mSv/an selon sa catégorisation.

Si l'exposition est à des fins médicales, le principe de limitation de dose ne s'applique pas au patient. Seuls les principes de justification et d'optimisation sont pris en compte. La chose la plus importante en médecine est que la dose d'exposition soit suffisante pour obtenir les informations diagnostiques souhaitées ou les objectifs thérapeutiques souhaités. Par mesure de précaution, des limites de dose annuelles légales ont été fixées bien en de là des niveaux de risques avérés pour la santé identifiés par diverses études épidémiologiques au niveau international.

Le respect de ces restrictions comprend un contrôle régulier de la radioactivité ambiante et un contrôle dosimétrique individuel des travailleurs utilisant des sources de rayonnement ionisant.

Le suivi des travailleurs repose, entre autres, sur l'analyse régulière des dosimètres personnels qu'ils doivent porter dans l'exercice de leur travail.

## 2. Le principe ALARA [38]

Cette expression, qui veut dire « *aussi bas qu'il est raisonnablement possible* », est apparue pour la première fois dans la publication 26 de 1977 de la CIPR.

Ce principe rejoint l'optimisation du principe JOLI. Il consiste à mettre en œuvre les mesures de protection les plus efficaces, jugées « appropriées », quel que soit le niveau d'exposition. L'application de ce principe nécessite une approche qui équilibre les ressources protégées d'une part et les



Figure 11 : Procédure d'optimisation de la radioprotection [38]

niveaux de protection d'autre part afin d'obtenir la meilleure protection possible, en tenant compte des conditions économiques et sociales. Cela revient à identifier, évaluer et sélectionner les mesures de radioprotection qui peuvent minimiser l'exposition des travailleurs et du public aux niveaux les plus bas possibles.

## 3. Le principe TED [39]

⇒ Temps

Le niveau d'exposition aux rayonnements est directement (linéairement) lié au temps que les gens passent près de la source de rayonnement. La dose peut être réduite en limitant le temps d'exposition.

⇒ *Écran*

Il est possible d'utiliser un écran de protection entre la source et la personne exposée. Ces écrans sont choisis en fonction des propriétés des rayonnements ionisants émis. Pour les RX, il y a par exemple les murs en béton, les murs en plomb et verre spécial plombé. Il est également fortement recommandé de porter des équipements de protection individuelle (EPI) tels que des gants, des tabliers, etc. pour réduire le risque d'exposition et se protéger.

⇒ *Distance*

Elle correspond à la distance source-utilisateur. Une formule permet de démontrer que la dose est considérablement réduite lorsque l'exposé est à distance  $N+1$  de la source : c'est la relation inverse carrée de la distance.

C'est exactement le même principe que pour la chaleur d'un feu, si nous sommes trop près du feu nous pouvons

nous nous éloignons suffisamment, nous pouvons y rester sur une plus longue durée sans se brûler (=utilisation de la loi inverse carré avec une diminution des risques).

Après avoir examiné les principes fondamentaux de la radioprotection, nous allons maintenant nous pencher sur une autre composante importante de la sécurité radiologique : le zonage et la signalisation des rayonnements X.

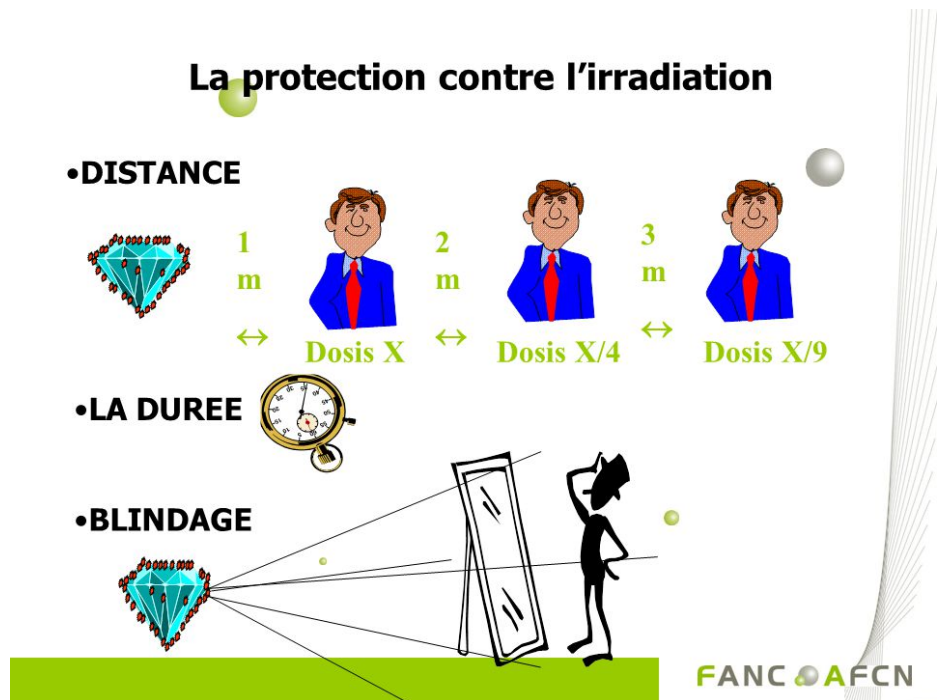


Figure 12 : Récapitulatif du TED

#### 4. Intégrer un environnement sécurisant en amont : Le zonage et la signalisation

##### ⇒ **Le zonage** [40]

Le zonage consiste en des limites de zones réglementées et des signalisations qui permettent d'identifier les dangers. Le zonage est de la responsabilité du chef de service qui s'appuie sur le personnel de radioprotection pour évaluer la nature et l'étendue du risque. Cette délimitation est basée sur une analyse de risque antérieure qui est, elle-même basée sur :

- Les caractéristiques de la source et de l'installation.
- Les résultats des contrôles de radioprotection et du contrôle de l'environnement.
- Les types d'intervention exécutés à proximité de sources de rayonnement.

Cette analyse est réalisée sur la base des conditions normales de travail (les conditions les plus défavorables correspondant au type de travail entraînant la dose la plus élevée), en tenant compte de la présence d'équipements de protection collective et des dangers (raisonnablement) prévisibles mis en place. Le temps réel que les personnes passent dans la zone et leurs équipements de protection individuelle ne sont pas pris en compte. Les résultats obtenus sont comparés aux limites et à la signalisation fixées par l'arrêté du 15 mai 2006, dit « arrêté de zonage ».

Le schéma ci-dessous traduit les différentes zones d'exposition aux RX :

- Zone non réglementée : Pas de réglementation, zone en dehors de salle radiologique.
- **Zone surveillée bleue** : Correspond à un accès permanent pour tous les travailleurs (Exemple : la salle de commande) de l'établissement.
- **Zone contrôlée verte** : >
- **Zone contrôlée jaune** : >
- **Zone contrôlée orange** : >
- **Zone contrôlée rouge** : Correspond aux zones qui ne doivent pas être fréquentées lors de l'émission de rayonnements (Exemple : la salle de radiothérapie).

Signale les zones de travail où des habitudes particulières sont requises avec une surveillance du personnel accentuée (ex : zone autour d'un scanner)
--

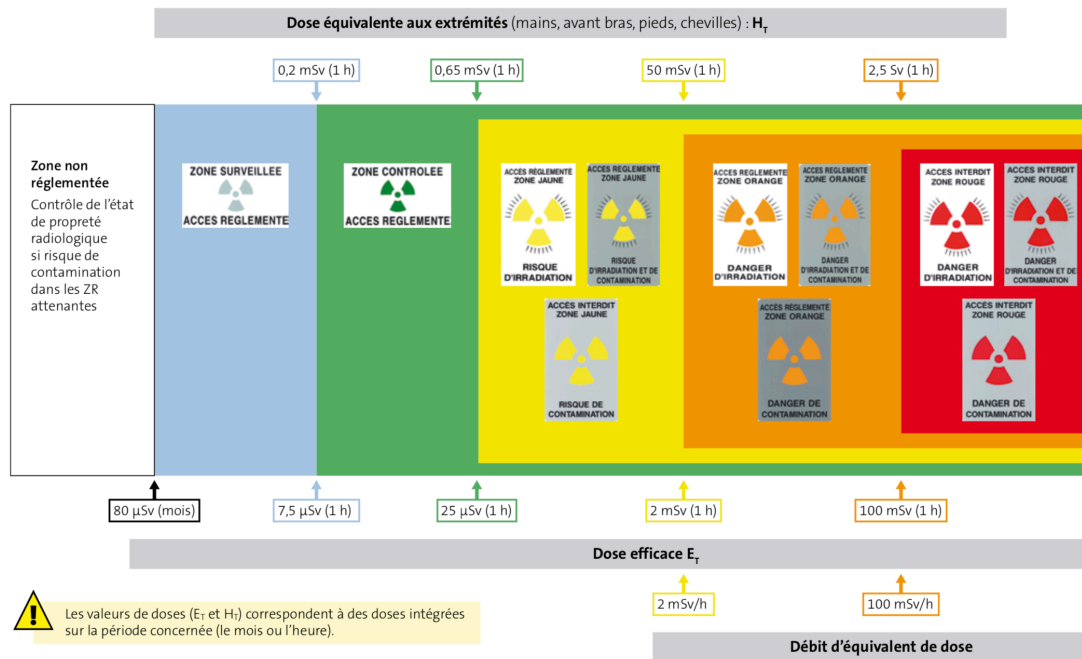


Figure 13 : Le zonage [40]

### ⇒ La signalisation

L'arrêté du 28 janvier 2020 modifie l'article R. 4451-29 du Code du travail [41] relatif à la signalisation en radioprotection. Il s'applique aux entreprises utilisant des sources de rayonnement ionisant pour des activités de travail.

L'arrêté précise que la signalisation doit être placée de manière à avertir les personnes présentes dans la zone de la présence de sources de rayonnement, ainsi que de l'existence d'un risque radiologique potentiel. La signalisation doit être claire et visible, et comporter des symboles normalisés tels que le pictogramme de rayonnement ionisant. (Cf Figure 13 : le zonage)

En outre, l'arrêté exige que la signalisation soit mise en place dans les zones de travail où la dose de rayonnement est susceptible de dépasser le seuil réglementaire. Il est également spécifié que la signalisation doit être mise en place dès le début des travaux et retirée lorsque le travail est terminé.

En somme, cet arrêté renforce la réglementation en matière de signalisation en radioprotection, avec pour objectif de mieux protéger les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

Selon la réglementation, lors de chaque accès au local de travail, une signalisation fixe doit être automatiquement mise en place lorsque l'appareil émetteur de rayonnements X est sous tension. Elle exige une signalisation claire et visible pour prévenir les risques d'exposition aux rayonnements X dans le cadre des activités professionnelles. [42]



Figure 14 : Signalisation de prévention lorsque le générateur est sous tension

Maintenant, que nous avons exploré les éléments essentiels du zonage et de la signalisation des RX, il est temps de se concentrer sur la manière dont les travailleurs exposés sont catégorisés. Nous allons ainsi aborder la valeur limite d'exposition aux RX et les différentes catégories de travailleurs en fonction de leur niveau d'exposition potentiel.

## 5. Catégorisation et valeurs limites d'expositions professionnelles

### ⇒ Catégorisation [43]

Les travailleurs exposés aux RX se répartissent en deux catégories : A et B.

Ce classement est effectué par les employeurs sur la base d'une étude de poste qui est effectué sur la base d'une estimation prévisionnelle des doses susceptibles d'être reçues.

Selon l'article R. 4451-57 du code du travail, les travailleurs ayant reçu sur 12 mois consécutifs une dose efficace supérieurs à 6 mSv, et/ou dose équivalente >150 mSv à la peau et/ou aux extrémités sont classés en **catégorie A**.

Tous les autres travailleurs qui ont reçu sur 12 mois consécutifs une dose efficace supérieure à 1 milli sievert, et/ou un équivalent de dose >15 mSv au cristallin et/ou un équivalent de dose >50 mSv à la peau et/ou aux extrémités sont classés en **catégorie B**.

Les employeurs doivent systématiquement recueillir l'avis du médecin du travail sur la classification du poste, notamment en ce qui concerne les évaluations de la santé des travailleurs, les conditions de travail et les résultats de la surveillance de l'exposition des travailleurs, en l'actualiser si nécessaire.

Les femmes enceintes et les jeunes travailleurs âgés de 16 à 18 ans sont exclus du travail de catégorie A étant donné que le risque est plus significatif.

⇒ **Récapitulatif des valeurs limites d'expositions**

Afin de prévenir l'apparition d'effets déterministes et de limiter le risque d'apparition d'effets stochastiques, des limites réglementaires d'exposition des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants ont été fixées dans le Code du travail Articles R. 4451-6 à R. 4451.

[44]

Ces valeurs "absolues" sont des limites à ne pas dépasser en toutes circonstances.

	<b>Catégorie A</b>	<b>Catégorie B et jeunes travailleurs</b>	<b>Population générale</b>
<b>Corps entier</b> (dose efficace)	20mSv	6mSv	1mSv
<b>Peau</b> (dose équivalente sur tout cm <sup>2</sup> )	500mSv	150mSv	50mSv
<b>Cristallin</b> (dose équivalente)	50 mSv (20mSv à partir de juillet 2023)*	15mSv	15mSv
<b>Extrémités</b> (dose équivalente)	500mSv	150mSv	Non existante

\*Par disposition transitoire, la limite est fixée à 50 mSv sur douze mois consécutifs jusqu'au 1<sup>er</sup> juillet 2023 et 100 mSv sur la période comprise entre le 1<sup>er</sup> juillet 2018 et le 1<sup>er</sup> juillet 2023.

Figure 15 : Récapitulatif des limitations des doses en fonction des catégories [43]

Si les travailleurs sont exposés à des expositions dépassant les limites légales, les employeurs, avec l'aide des consultants en radioprotection et des médecins du travail, doivent cesser immédiatement les expositions et appliquer toutes les règles de contrôle. (une obligation de déclaration à l'ASN, une analyse des causes, un suivi médical renforcé).

[42]



Pour éviter le dépassement des doses limites de chaque individu, différents équipements de protections sont utilisés par les travailleurs exposés. Il en existe plusieurs qui sont adaptés selon la zone à protéger. Ils peuvent être individuels (utilisé par 1 seule personne à la fois) et collectifs. (utilisé par plusieurs personnes en même temps)

## B. Des équipements de radioprotection toujours utilisés ?

En effet, chaque employeur doit mettre à disposition du travailleur exposé différents **EPI** (Équipement de Protection Individuelle) et **EPC** (Équipement de Protection Collectif) pour se protéger contre les RX.

Plusieurs praticiens sont amenés à utiliser les EPI et les EPC :

### ⇒ **Les médecins interventionnels**

Un médecin interventionnel est un médecin spécialisé dans les procédures d'intervention, c'est-à-dire des techniques qui permettent d'effectuer des interventions médicales sans avoir à réaliser une opération chirurgicale invasive. Les médecins interventionnels sont spécialisés dans l'utilisation d'outils d'imagerie, tels que les rayons X, pour guider leurs gestes thérapeutiques. [45]

### ⇒ **Les manipulateurs/rices en électroradiologie médicale**

D'après santé Gouv c'est « *Un soignant qui met les nouvelles technologies (scanner, IRM, imagerie interventionnelle, etc.) au service de **tous les patients**. Il intervient à toutes les phases de la prise en soin du patient, du diagnostic au traitement.* » [46]

### ⇒ **Les infirmier(e)s interventionnels**

Les infirmiers interventionnels sont des infirmiers spécialisés dans la réalisation de procédures d'intervention, sous la supervision d'un médecin interventionnel. Ils sont amenés à travailler avec les rayonnements X. [47]

### ⇒ **Les ingénieurs interventionnels**

D'après l'ONISEP (Office national d'information sur les enseignements et les professions) « l'ingénieur d'application travail dans le secteur industriel de la santé, pour un fabricant de matériels et d'équipements médicaux (tels les scanners ou les échographes). C'est un spécialiste du dispositif médical. »

Il peut être amené à assister le médecin lors d'actes interventionnels au bloc opératoire comme pour la pose de pacemaker par exemple. [48]

## a. Les EPI : Équipements de Protection Individuelle

### 1. Protection du corps

Il y a tout d'abord la protection du corps. En fonction des procédures médicales effectuées, les praticiens disposent de plusieurs options d'équipements de protection du corps pour se protéger des rayonnements ionisants : [49]

- Le tablier chasuble qui est un équipement offrant une protection intégrale avant et arrière, avec une ceinture pour mieux répartir le poids.
- Le tablier demi-chasuble qui protège uniquement la partie frontale du corps et est utilisé pour les courtes expositions.
- L'ensemble veste et jupe qui est un équipement de protection qui offre une protection intégrale tout en répartissant le poids entre le haut et le bas du corps. Cela permet de soulager la colonne vertébrale, les épaules, le dos et les articulations du praticien.
- Enfin, le tablier chirurgical qui est spécialement conçu pour les blocs opératoires et peut être rapidement détaché pour permettre à l'utilisateur de gagner du temps.



Figure 16 : Tablier plombé et ensemble plombé [50]

Sur la base des résultats obtenus par un logiciel [51], la protection en plomb de 0,25 mm d'épaisseur réduit la dose d'au moins 86,82 %, atteignant jusqu'à 99,06 % à des énergies plus faibles.

## 2. Protection de la thyroïde

L'organe de la thyroïde est extrêmement sensible aux radiations, ce qui peut entraîner un risque de cancer s'il y a une exposition forte aux rayonnements X (Cf partie « *les effets stochastiques* » p16). De ce fait, pour se protéger, un protecteur thyroïdien, souvent fait de 0,35 mm ou 0,50 mm de plomb, est fortement recommandé. [48]



Figure 17 : Cache thyroïde plombé

## 3. Protection des mains, de la tête et du cristallin

Le tablier plombé ainsi que le cache thyroïde sont les 2 EPI les plus utilisés au quotidien lors d'une exposition aux rayonnements X. Cependant, il en existe d'autres :

### ⇒ *La protection des mains*

Il y a 2 types de gants : les gants anti-X qui sont conçus pour être utilisés lors de la prise d'images radiographiques. Ils sont épais et souples, et sont conçus pour protéger les mains des professionnels de santé qui sont à proximité directes du faisceau de rayons X. Et les gants radio-atténuateurs qui sont plus adaptés à des procédures telles que l'angiographie, la radiologie interventionnelle et l'urologie. Ils sont élastiques et résistants, ce qui permet aux professionnels de santé de réaliser des gestes précis tout en étant protégés des rayonnements. [52]



Figure 18 : Gants plombés et gants radio-atténuants

### ⇒ *Protection de la tête*

La boîte crânienne est particulièrement sensible aux radiations, et une exposition excessive peut entraîner des problèmes de santé tels que des cancers cérébraux. (Cf partie « *L'étude ORICAMs et BECOME* » p 21.)



Figure 19 : Calot plombé

Pour se protéger, les professionnels de santé peuvent utiliser un calot ajustable et léger, qui est généralement composé de 0,25 mm à 0,50 mm de plomb. [49]

⇒ **Protection des yeux**

Une exposition excessive des rayonnements ionisants sur le cristallin peut causer une cataracte précoce. En effet, comme nous avons pu le voir la dose pour le cristallin va passer de 100mSv à 20mSv à partir du 1<sup>er</sup> juillet 2023 (Cf partie « Récapitulatifs des valeurs d'exposition » p 40.)




Figure 20 : Lunette et lisière plombé

Pour se protéger contre ce risque, il est recommandé de porter des équipements de protection individuelle spécifiques, tels que des lunettes ou des visières plombées. [49]

En plus des EPI, il existe aussi des EPC qui vont permettre d'apporter une protection supplémentaire aux travailleurs exposés.

**b. Les EPC : Équipements de Protection Collectifs**

Il en existe aussi plusieurs tout comme les EPI :

NOM	PHOTO	DESCRIPTION
<p>Une « jupe » plombé</p>		<p>Elle est accrochée à la table et est utilisée par l'opérateur.</p>




<p><b>Le paravent plombé</b></p>		<p>Il est mobile et permet aux personnes présentes dans la salle de se positionner derrière lorsque des rayonnements sont émis.</p>
<p><b>Le paravent suspendu en verre plombé</b></p>		<p>Il est accroché au plafond et est déplaçable. Il peut être utilisé par l'opérateur, mais aussi les autres intervenant de la salle en se positionnant derrière. Une utilisation correcte de ces écrans pourrait réduire la dose de cristallin de 90 à 98 %.</p> <p>[53]</p>
<p><b>Les champs opératoires anti-X</b></p>		<p>Ils sont à usage unique et sans plomb, ils réduisent jusqu'à 90 % le rayonnement diffusé provenant du patient.</p> <p>[54]</p>

Figure 21 : Les EPI présents en salle d'interventionnelle

Ainsi, comme nous avons pu le voir de nombreux équipements sont mis à disposition aux personnes exposées aux rayonnements X pour s'en protéger. Cependant, sont-ils toujours portés par le personnel médical ?

### c. Des protections toujours en vigueur ?

En 1993, Niklason et ses collègues ont observé qu'environ 70 % des opérateurs ne portaient jamais de lunettes de protection, et que seulement 10 % les portaient toujours. En ce qui concerne le cache thyroïdien, environ 27 % des opérateurs ne le portaient jamais, tandis que moins de la moitié (47 %) le portaient systématiquement. [53]

Une étude plus récente datant de 2012 [55], a montré que l'utilisation des EPI contre les rayonnements s'est améliorée. Cependant, elle montre que les EPC ne sont presque pas utilisés pour certains :

	Tabliers plombés	Caches Thyroïdes	Lunettes plombées	Gants chirurgicaux	Paravents au sol	Paravents suspendus	Champs stériles
Utilisation à hauteur de :	99 %	94 %	54 %	1 %	12 %	44 %	4 %

Figure 22 : Étude illustrant le % d'utilisation des équipements de protection contre les RX

Les raisons couramment invoquées pour ne pas utiliser certains de ces dispositifs sont le manque de confort (pour les lunettes), et le manque de disponibilité (pour les écrans roulants/suspendus).

Les tabliers plombés sont utilisés à 99% mais ils ne sont pas toujours adaptés à la morphologie de chacun. En effet, une étude a été réalisée en 2014 [56] dans 14 hôpitaux d'Irlande démontrant qu'il y a un manque de diversité en termes de taille pour les tabliers plombés.

Selon les résultats de l'enquête, les centres disposaient en moyenne de 18,4 tabliers ou vestes de protection, la plupart d'entre eux (72 %) étant de taille moyenne ou grande. Les experts cliniques de trois centres ont signalé un manque de tabliers ou vestes de taille extra-

petite ou extra-large dans leurs services, tandis qu'un seul centre avait instauré une politique d'achat attribuant un tablier plombé individuel à chaque membre du personnel.

L'utilisation de EPI mal ajustés peut entraîner une exposition inutile aux rayonnements en laissant des zones importantes exposées.

Bien que les tabliers plombés soient systématiquement portés, leur poids et leur coupe peuvent causer des douleurs et des lésions musculo-squelettiques, en particulier au niveau de la colonne vertébrale. Selon une étude citée dans une enquête menée en 2004 par la Society for Cardiac Angiography and Interventions, il a été révélé que près de 50 % des personnes interrogées ont signalé des problèmes de colonne vertébrale, soit presque le double de la proportion observée chez les adultes américains en général (27,4 %).

Les douleurs dorsales ont entraîné une absence du travail pour 33 % des personnes interrogées, et 25 % ont signalé des problèmes avec d'autres articulations, comme les hanches, les genoux ou les chevilles. Environ la moitié des utilisateurs de vêtements radiologiques les trouvent inconfortables. [53]

Par conséquent, les équipements de protection individuelle et collective jouent un rôle crucial dans la réduction de l'exposition aux rayonnements ionisants.

Cependant, malgré leur utilisation systématique, ces dispositifs peuvent entraîner des douleurs et des lésions musculo-squelettiques, décourageant ainsi leur utilisation correcte.

Afin de garantir une protection maximale et optimale, il est donc nécessaire d'adopter des mesures de prévention complémentaires.

### **C. Les moyens de prévention contre les RX : une prévention efficace ?**

En effet, en plus des protocoles de sécurité et des normes réglementaires, il existe plusieurs mesures de prévention importantes pour réduire l'exposition aux rayons X et protéger les travailleurs de la santé. L'une de ces mesures est la dosimétrie, elle est cruciale, car elle permet de surveiller l'exposition aux rayonnements et de détecter tout dépassement des limites de dose autorisées.

Des suivis médicaux plus rigoureux sont également importants pour détecter tout effet néfaste sur la santé des travailleurs de la santé. Enfin, la formation à la radioprotection est essentielle pour assurer une utilisation sûre et efficace des équipements de radiographie et

pour sensibiliser les travailleurs de la santé aux risques potentiels liés à l'exposition aux rayons X.

### a. La dosimétrie passive et active

Un dosimètre pour les rayons X est un appareil qui sert à mesurer la quantité de rayonnement ionisant absorbée par une personne. Il est particulièrement utile pour mesurer la dose de rayonnement que les travailleurs peuvent recevoir pendant qu'ils travaillent, afin de s'assurer qu'ils ne dépassent pas les limites de doses établies (Cf *Figure 15 : Récapitulatif des limitations des doses en fonction des catégories* p40.)

L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire est le principal organisme de suivi dosimétrique des travailleurs en France. Avec plus de 50 ans d'expérience dans le domaine, il assure la surveillance dosimétrique pour divers secteurs, dont le secteur médical.

Chaque année, l'IRSN gère environ 1,3 million de dosimètres pour surveiller près de 170 000 travailleurs dans 23 000 établissements en France et à l'étranger. [57]

Il existe 2 types de dosimétrie :

#### 1. La dosimétrie passif

Tous les travailleurs exposés (en catégorie A et B) qui pénètrent en zone surveillée ou contrôlée (Cf partie « le zonage » p37.) sont tenus de porter un dosimètre passif pour l'évaluation de l'exposition du corps entier.

En fonction de l'activité des porteurs, il peut y avoir une exposition plus élevée dans une zone spécifique du corps. Dans ce cas, des dosimètres passifs adaptés, tels que ceux pour le cristallin ou encore les doigts, peuvent être utilisés en complément pour mesurer cette exposition particulière. [57]



Figure 23 : Dosimètre passif





Figure 24 : Dosimètre bague [58]

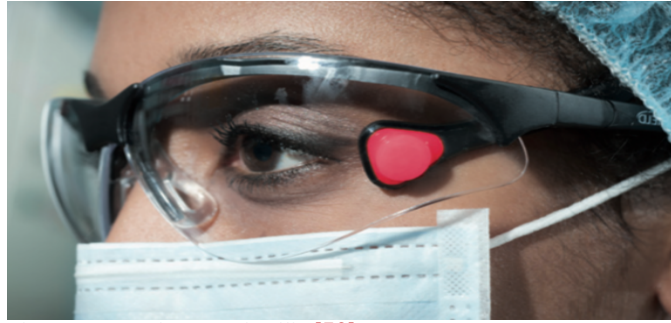


Figure 25 : Dosimètre cristallin [59]

De plus, les organismes de dosimétrie passive (par exemple l'IRSN) doivent être agréés par l'Autorité de sûreté nucléaire.

## 2. La dosimétrie active ou opérationnelle

En plus de la dosimétrie passive, il est obligatoire d'utiliser une dosimétrie active ou opérationnelle pour les personnes qui accèdent aux zones contrôlées pendant les examens (Exemple : radiologie en interventionnel).

Cette méthode utilise des dosimètres électroniques qui fournissent des informations en temps réel sur la dose intégrée et le débit de dose. Ces informations sont affichées directement sur le dosimètre et une alarme sonore se déclenche si le seuil de dose autorisé est dépassé.



Figure 26 : Dosimètre actif ou opérationnel

Les dosimètres sont des dispositifs nominatifs, c'est-à-dire qu'ils doivent être utilisés uniquement par la personne dont le nom figure sur le dosimètre.

Ils doivent être portés à la poitrine pendant les heures de travail.

En-dehors des heures de travail, les dosimètres doivent être rangés sur un tableau en ordre alphabétique.

Enfin, la fréquence de lecture du dosimètre dépend de la catégorie du personnel :

- Pour la catégorie A, la lecture est mensuelle.
- Pour la catégorie B, elle est trimestrielle.

Ces appareils sont essentiels pour la mesure de dose individuelle de chaque exposé aux rayonnements X. Cependant, leur utilisation n'est pas toujours respectée. [60]

### 3. Une utilisation dosimétrique erronée ?

Selon l'étude de Niklason et al. réalisée en 1993, près de la moitié des opérateurs de fluoroscopie (soit 43 %) ne portaient jamais de dosimètres de rayonnement. [53]

Selon une étude menée par Venisse-Boulay en 2001 sur les risques des rayonnements ionisants dans le milieu médical, il a été constaté que le pourcentage de dosimètres non portés malgré leur attribution n'excède pas 10 %. Cependant, dans certains établissements, ce taux peut atteindre jusqu'à 50 %. [20]

De plus, selon les résultats de l'étude RIMED (Rayonnements Ionisants en Milieu Médical), il a été constaté que dans certains cas, les dosimètres n'étaient pas rendus dans les délais impartis. Par exemple, dans un grand CHU, ce pourcentage a été évalué à 15 % avec un retard allant de 1 à 12 mois. Ce retard peut avoir un impact important sur les résultats de la mesure, d'une part en raison du bruit de fond naturel qui continue d'être enregistré en dehors de la période de port, et d'autre part, en raison des conditions plus ou moins correctes de stockage des dosimètres. [20]

Une autre étude réalisée en 2006 sur une cohorte de cardiologues interventionnels a montré que 30 % d'entre eux ne soumettaient pas leurs dosimètres à des fins de traitement. Bien que cette proportion ait diminué à 10 % en 2013, seuls 40 % d'entre eux portaient régulièrement des dosimètres. Un suivi incohérent des dosimètres entraîne une sous-estimation de l'exposition aux rayonnements du personnel et pourrait propager une certaine complaisance à l'égard de la radioprotection. [53]

C-dessous, un tableau récapitulatif des études précédentes :

Les études	Année	% de personnes qui ne portent pas leurs dosimètres	% du retard du rendu des dosimètres
Niklason et al, 1993	1993	43 %	
Venisse-Boulay	2001	Entre 10 % et 50 %	
Étude RIMED	2008		15 %

Occupational radiation doses in interventional cardiology	2006		30 %
Radiation associated lens opacities in catheterization personnel	2013	60 %	

Figure 25 : Tableau récapitulatif des études sur le port des dosimètres

Nous pouvons constater qu'entre 1993 et 2013, il y a une dégradation de 17 % du port des dosimètres.

Malgré une négligence du port du dosimètre, il reste tout de même un élément clé de la radioprotection du personnel exposé aux rayonnements ionisants. Cependant, il est important de noter que la question de l'exposition aux rayonnements ionisants est également étudiée dans le domaine de la médecine du travail, où la surveillance de l'exposition professionnelle est l'une des préoccupations majeures.

#### b. La médecine du travail

Les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants bénéficient d'un suivi individuel renforcé de leur état de santé, comprenant un examen médical d'aptitude effectué par le médecin du travail avant leur affectation sur le poste. Le médecin du travail évalue l'aptitude du travailleur à occuper le poste et délivre un avis d'aptitude conformément au modèle fixé par un arrêté de 2017.

Les travailleurs de catégorie A doivent subir une visite médicale annuelle, tandis que la périodicité de renouvellement de la visite pour les travailleurs de catégorie B ne peut être supérieure à quatre ans, avec une visite intermédiaire effectuée par un professionnel de santé au plus tard deux ans après la visite avec le médecin du travail. Les missions des services de santé au travail interentreprises et les actions et moyens des différents membres de l'équipe pluridisciplinaire sont précisés dans les articles R. 4623-1 et suivants du Code du travail. [42]

Malgré la sensibilisation des travailleurs par la médecine du travail, des formations officielles et plus complètes doivent être réalisées par tout employé qui est en contact avec les rayonnements X.

### c. Formation et sensibilisation des travailleurs

En effet, selon l'article R. 4451-59 du Code du Travail, tout employé qui travaille dans des zones surveillées ou contrôlées, y compris les travailleurs non classés, doit recevoir une information appropriée à son poste de travail. Les travailleurs classés doivent suivre une formation en fonction des résultats de l'évaluation des risques, qui doit être renouvelée au moins tous les trois ans et chaque fois que nécessaire, par exemple en cas de nouvelle affectation ou de mise en œuvre de nouvelles techniques. [42]

C'est à la PCR (Personne Compétente en Radioprotection) de s'assurer que les formations des employés ont bien été renouvelés.

La PCR est chargée, sous la supervision de l'employeur et en coordination avec le médecin du travail, de mettre en place des mesures de prévention et de protection pour les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. La PCR joue un rôle essentiel dans la mise en place de mesures d'optimisation de la radioprotection, visant à réduire les expositions. Elle est en contact quotidien avec les travailleurs exposés et réalise régulièrement des études de poste pour évaluer leur exposition aux rayonnements ionisants. [61]

Cependant, il n'y a pas toujours un suivi optimisé dans les hôpitaux.

En effet, d'après une étude menée au Maroc en 2022 dans plusieurs centres hospitaliers, tous les participants ont déclaré l'absence de référent en radioprotection (équivalent de PCR en France), et n'ont pas utilisé de guide de procédures écrites pour les examens radiologiques les plus courants en imagerie interventionnelle. [62]

## Conclusion de la revue de la littérature

En conclusion, la radioprotection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants est un enjeu crucial pour garantir leur santé et leur sécurité au travail. Les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants sont importants et peuvent avoir des conséquences graves pour la santé, notamment le risque de cancer.

Il est donc essentiel que les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants reçoivent une formation appropriée et soient équipés d'EPI et d'EPC adaptés. Cependant, il est important de noter que les EPI ne sont pas toujours utilisés correctement, ce qui peut mettre en danger la santé des travailleurs.

Il est donc nécessaire de sensibiliser les travailleurs et les employeurs sur l'importance de la radioprotection, ainsi que de renforcer la formation et la supervision des travailleurs pour assurer une utilisation adéquate des EPI et EPC.

Ainsi, j'ai mené une étude pour essayer de mieux comprendre les comportements des travailleurs exposés aux RX et savoir s'ils respectent les concepts généraux de radioprotection en répondant à la problématique suivante :

**Quels sont les facteurs qui influencent les comportements des travailleurs en milieu hospitalier face aux rayonnements X ?**

## PARTIE 2 : METHODOLOGIE

### I. **Objet de l'étude**

Pendant mes études supérieures en tant que MERM, j'ai été exposé aux rayonnements ionisants. Actuellement en alternance chez Microport CRM, j'interviens au bloc opératoire en présence de rayonnements X. C'est lors de cette expérience professionnelle que j'ai eu l'idée de mener mon étude sur les pratiques de radioprotection au bloc opératoire, étant donné que j'avais déjà une expérience préalable avec les RX.

Au cours de mes observations, j'ai constaté que certains de mes collègues ne respectaient pas les pratiques de radioprotection, comme ne pas porter de dosimètre actif ou de cache thyroïde, ou encore ne pas porter de tabliers plombés en salle, même après des années d'expérience.

De plus, j'ai été surprise de constater que la formation en radioprotection offerte aux employés ingénieurs était très courte, seulement 30 minutes, ce qui soulève des questions quant aux connaissances assimilées liées à la radioprotection.

J'ai également remarqué une différence significative de pratiques de radioprotection entre les MERM et les ingénieurs / les infirmiers.

Les MERM semblaient être plus engagés dans la pratique de la radioprotection que leurs collègues. À partir de mes observations personnelles, j'ai formulé plusieurs hypothèses que je pourrai vérifier dans le cadre de mon étude :

Hypothèse 1 : Les ingénieurs d'application interventionnels peuvent manquer de formation adéquate en matière de radioprotection, ce qui peut entraîner une mauvaise pratique dans ce domaine.

Hypothèse 2 : L'expérience en matière d'exposition aux rayonnements x peut conduire à une attitude de relâchement et de passivité envers la radioprotection.

Dans le cadre de cette étude, j'ai souhaité confirmer mes observations en recueillant des données auprès d'un échantillon plus important de travailleurs.

Mon objectif était de comprendre les comportements des travailleurs en matière de radioprotection, tels que leur éventuelle omission de porter un cache thyroïde, afin de déterminer les raisons sous-jacentes à ces comportements.

J'ai également voulu recueillir les besoins des travailleurs en matière de radioprotection en les laissant s'exprimer librement, de manière à trouver des solutions pratiques et à agir en conséquence.

## **II. Choix de la méthodologie**

Dans le cadre de cette étude visant à comprendre les comportements des personnes exposées aux rayonnements X, j'ai décidé de réaliser un questionnaire en première intention.

Cette méthode permet de collecter un grand nombre de données auprès d'une population représentative de mon étude.

Une étude quantitative peut se dérouler de plusieurs manières :

- sous forme de sondages (pour poser une seule question)
- sous forme de questionnaire (pour poser plusieurs questions)

De ce fait, il m'a semblé judicieux d'adopter une méthode quantitative en première intention, permettant de mettre en avant une certaine représentativité de la population quant au contexte de mon étude.

En effet, avec un nombre conséquent de réponses, les résultats pourront être généralisés à une population plus large. Cela renforcera la validité externe de l'étude et fournira des conclusions applicables à une plus grande échelle.

Le questionnaire me permettra aussi d'étudier des variables multiples en les d'explorant de manière simultanée et en les croisant. Cela offre la possibilité d'analyser les relations et les associations entre ces variables comme par exemple la durée d'expérience ou encore la profession, fournissant ainsi une vision globale du sujet étudié.

Dans un second temps, j'ai jugé pertinent de faire également des entretiens. Cette méthode complémentaire me permettra d'explorer en profondeur les réponses des participants, de comprendre leurs perceptions et leurs expériences de manière plus détaillée. Cela peut

contribuer à une meilleure interprétation des résultats et à une compréhension plus nuancée de mon étude.

Selon Blanchet et Gotman, « *L'entretien est une démarche paradoxale qui consiste à provoquer un discours sans énoncer les questions qui président à l'enquête* ». [63]

De plus, en utilisant une approche mixte, il est possible de comparer les résultats obtenus à partir des deux méthodes. Cela me permettra de vérifier la cohérence et la fiabilité des données recueillies, renforçant ainsi la validité et la crédibilité de mon étude.

### **III. Population étudiée**

Mon étude était destinée à toutes les personnes intervenant en milieu hospitalier et qui sont en contact avec les rayonnements ionisants. Mais plus particulièrement, les personnes qui étaient amenées à être présentes dans la salle d'examen lorsque les rayonnements X étaient en cours. Cela pouvait inclure :

- ⇒ Les médecins
- ⇒ Les infirmiers(ères)
- ⇒ Les manipulateurs(trices) en radiologie médicale
- ⇒ Les ingénieurs(es) interventionnels

Concernant les MERM ainsi que les ingénieurs, il m'a été facile de les cibler. En effet, étant anciennement MERM, j'ai pu facilement prendre contact avec d'anciens collègues. De même pour les ingénieurs, tous mes collègues de France ont pu y répondre.

Cependant, concernant les médecins, étant une population assez difficile d'accès, je n'ai pu récolter aucune réponse. Enfin, pour la population d'infirmier(e)s, j'ai également eu des difficultés. Ayant eu plusieurs retours négatifs, je me suis de ce fait consacrée aux deux populations principales : Les ingénieur(e)s et les MERM.

Concernant les entretiens, j'ai mené un total de trois entretiens, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :



Identité	Fonction	Établissement	Durée de l'entretien
Mr J-L	Ingénieur interventionnel	Microport CRM	23min
Mr J	MERM et PCR	Hôpital privé Le Bois	30min
Mme S	Ingénieure interventionnelle	Microport CRM	25min

Figure 26 : Récapitulatif des entretiens

J'ai choisi d'interviewer au moins un MERM et un ingénieur car ils étaient les populations les plus représentées dans les réponses de mon questionnaire. Cela me permettra d'approfondir les réponses et d'obtenir des perspectives plus détaillées. J'avais également l'intention d'interviewer au moins une infirmière, mais en raison du manque de temps et d'un manque de disponibilité des infirmiers, je n'ai pas pu le faire.

## IV. Recueil des données

Pour la collecte des données de mon étude, j'ai utilisé Google Form. J'ai employé plusieurs méthodes pour diffuser mon questionnaire :

- ⇒ Publier plusieurs messages sur des pages Facebook destinées aux manipulateurs(trices) et infirmiers(ères) interventionnels(lles).
- ⇒ Publier un message sur LinkedIn.
- ⇒ Prendre contact avec mes anciens collègues MERM pour qu'ils puissent partager mon questionnaire au sein du service.
- ⇒ Envoyer mon questionnaire par e-mail à mes collègues ingénieurs(es).
- ⇒ Demander directement lors de mes déplacements au bloc opératoire.

Obtenir toutes les réponses sur Google Form m'a permis de traiter plus facilement les données recueillies.

## V. Méthode d'analyse des données

Afin d'analyser les réponses à mon questionnaire de manière rigoureuse, j'ai effectué une analyse statistique approfondie. J'ai étudié chaque réponse avec attention pour m'assurer de sa pertinence par rapport au sujet étudié et pour vérifier que le répondant faisait partie du public cible.

J'ai ensuite extrait les données correspondantes et les ai enregistrées dans un tableau Excel. Je vous présente ci-dessous un extrait de ce tableau :

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	1. Quel métier exercez-vous ?	2. Exercez-vous dans le	3. Dans quelle structure	4. Depuis combien de te	5. Etes-vous en contact	6. Si oui, à quelle fréquence	7. Connaissez-vous les	8. Si oui, quels sont les	9. Savez-vous à quoi co	10.
2	infirmier(e)	Privé	Clinique privé	Plus de 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Cancer radio induits	Non	Nor
3	Ingénieur(e) intervencionn	Privé	Laboratoire	Moins de 5ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Risques notamment en c	Non	Oui
4	Ingénieur(e) intervencionn	Privé	Laboratoire	Moins de 5ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	brulure, cancer, dérèglem	Oui	Oui
5	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHR	Moins de 5ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Tous dépend de la dose a	Oui	Oui
6	Manipulateur(rice) en radi	Public	CH périphérique	Entre 10 et 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Stochastiques déterminist	Oui	Oui
7	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHU	Moins de 5ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Nécrose de la peau, déve	Oui	Oui
8	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHR	Plus de 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Effet déterministe effet alé	Oui	Oui
9	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHU	Plus de 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Effets immédiats comme	Oui	Oui
10	Manipulateur(rice) en radi	Privé	CHU	Plus de 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Les effets stochastiques c	Oui	Oui
11	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHR	Plus de 20ans	Oui	Hebdomadaire (moins 2/	Oui	Cancer , lymphome, catar	Oui	Oui
12	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHR	Entre 5 et 10ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui		Oui	Oui
13	Ingénieur(e) intervencionn	Public	Hôpitaux publics et privés	Moins de 5ans	Oui	Mensuelle (moins de 10 fi	Oui	Cancers ?	Non	Nor
14	Manipulateur(rice) en radi	Privé	Clinique privé	Moins de 5ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Pour le personnel : Perte	Oui	Oui
15	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHU	Entre 10 et 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Alopécie cancer	Oui	Oui
16	Manipulateur(rice) en radi	Privé	CLCC	Plus de 20ans	Oui	Hebdomadaire (moins 2/	Oui	Dermite anémie	Oui	Oui
17	Manipulatrice en radiologi	Privé	CLCC	Entre 5 et 10ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Dermatite, cancer radioind	Oui	Oui
18	Manipulateur(rice) en radi	Privé	Clcc	Entre 10 et 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Effets stochastiques et de	Oui	Oui
19	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHR	Plus de 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Effets stochastiques et de	Oui	Oui
20	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHU	Plus de 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui		Oui	Oui
21	Ingénieur(e) intervencionn	Public	Tous	Entre 5 et 10ans	Oui	Hebdomadaire (moins 2/	Pas tous		Non	Oui
22	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHU	Plus de 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Effets stochastiques et de	Oui	Oui
23	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHU	Moins de 5ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui		Oui	Oui
24	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHU	Moins de 5ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Cancer radio induits, stéri	Oui	Oui
25	Manipulateur(rice) en radi	Public	CHU	Plus de 20ans	Oui	Hebdomadaire (moins 2/	Oui	Effets stochastiques	Oui	Oui
26	Manipulateur(rice) en radi	Privé	Clinique privé	Entre 10 et 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Effets stochastiques et efi	Oui	Oui
27	infirmier(e)	Privé	Clinique privé	Moins de 5ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Impacts sur les cellules /	Oui	Oui
28	infirmier(e)	Privé	Clinique privé	Plus de 20ans	Oui	Quotidienne (tous les jour	Oui	Irradiation	Oui	Oui

Figure 27 : Échantillon des réponses du questionnaire

Après avoir enregistré les entretiens, j'ai procédé à leur retranscription écrite. Ensuite, j'ai analysé les réponses en fonction des différentes thématiques abordées lors des entretiens. J'ai ensuite intégré ces réponses aux résultats préalablement obtenus à partir du questionnaire.

Suite à la collecte des données, la prochaine étape a été d'effectuer une analyse détaillée de ces dernières en les regroupant en différentes catégories selon des critères tels que la profession ou l'expérience. Cette analyse a permis de créer plusieurs graphiques qui ont contribué à une meilleure compréhension des résultats obtenus.

## PARTIE 3 : RESULTATS

Grâce à la diffusion de mon questionnaire, j'ai récolté au total 62 réponses dont :

- 37 MERM
- 19 Ingénieurs / commerciaux
- 6 infirmiers

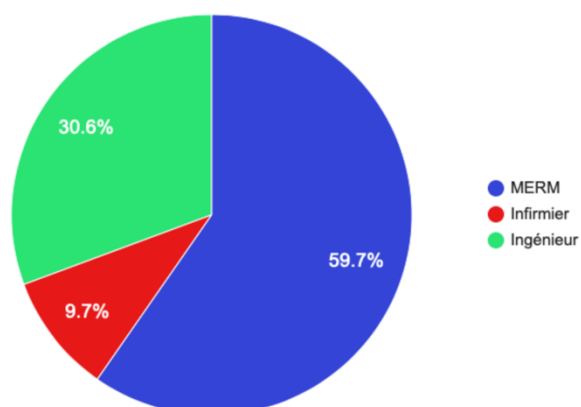


Figure 28 : Répartition des répondants en fonction de la profession

J'ai effectué 3 entretiens (1 MERM et 2 ingénieurs) pour approfondir et compléter certaines thématiques.

En croisant les réponses des deux sources de données en fonction des caractéristiques des différentes populations, j'ai pu tirer plusieurs conclusions.

### **I. Comparaison des connaissances et des pratiques de la radioprotection des MERM et des ingénieurs interventionnels**

Dans un premier temps, j'ai jugé pertinent de comparer les pratiques des MERM avec celles des ingénieurs présents au bloc opératoire. Étant donné que j'ai obtenu la majorité des réponses de ces deux catégories de population, j'ai considéré qu'une comparaison était possible. En revanche, je n'ai pas obtenu de réponses des médecins, qui constituent une population difficile d'accès, et les 6 réponses des infirmiers ne sont pas exploitables à l'échelle des autres réponses obtenues.

## A. Un manque de formation pour les ingénieurs et une formation pas forcément adaptée pour les MERM

Sur les 19 ingénieurs interrogés, 12 ont indiqué ne pas connaître le principe ALARA (Cf p 35 « *Le principe ALARA.* »), qui est un principe fondamental de la radioprotection. Cette observation suggère que ce principe n'a peut-être pas été abordé pendant leur formation ou qu'ils l'ont oublié en raison d'un manque de formation récurrent.

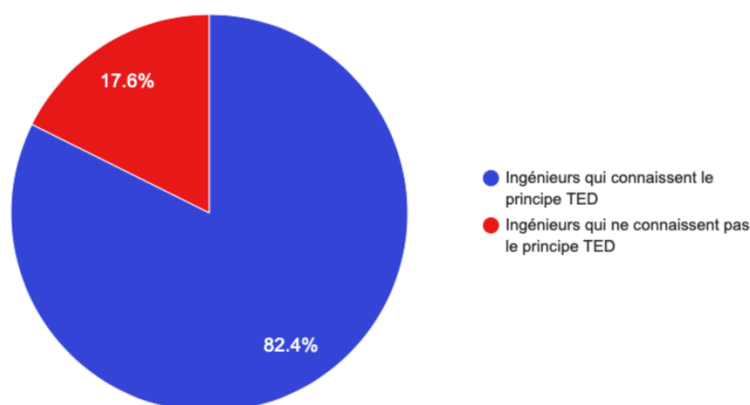


Figure 29 : répartition des ingénieurs en fonction de leurs connaissances sur le principe TED

En revanche, il est intéressant de noter que 14 des 19 ingénieurs interrogés sont familiers avec le principe TED (Cf p 35 « *Le principe TED* »), qui est utilisé régulièrement lors d'expositions aux rayonnements X. Cela représente un point positif pour leurs connaissances en radioprotection.

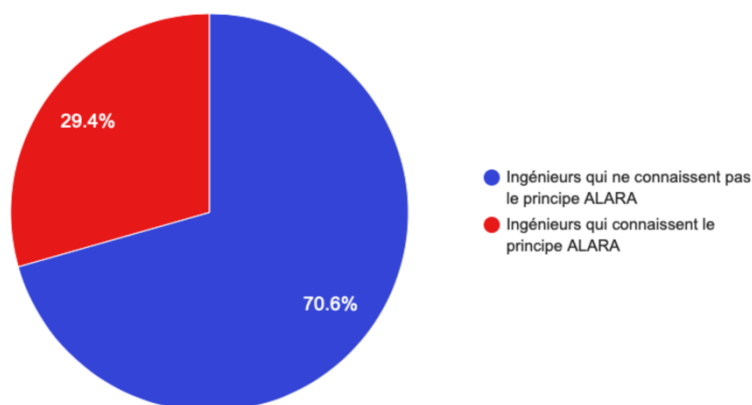


Figure 30 : Répartition des ingénieurs qui ne connaissent pas le principe ALARA

En comparant les connaissances des MERM avec celles des ingénieurs au bloc opératoire, on observe que tous les MERM ont une connaissance du principe ALARA et du principe TED.

En revanche, les ingénieurs présentent une différence de connaissance, notamment avec seulement 7 sur 19 connaissant le principe ALARA. Cette disparité peut être expliquée par un manque de formation.

En effet, sur les 19 ingénieurs, 4 exerçant depuis moins de 5 ans n'ont pas bénéficié de formation.

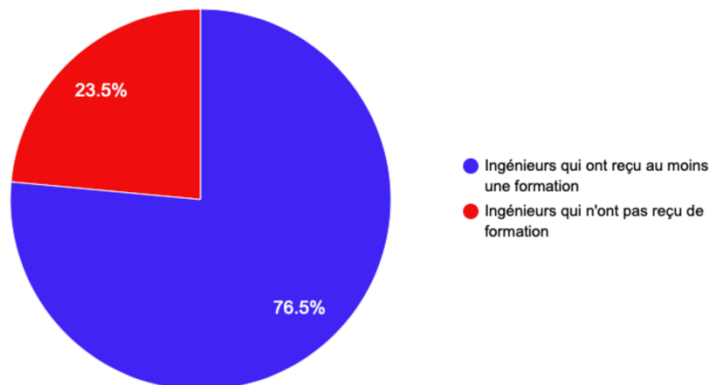


Figure 31 : Répartition des ingénieurs qui ont reçu de formation

Parmi les 19 ingénieurs interrogés, seuls 2 ont bénéficié de deux formations en radioprotection, bien qu'ils exercent depuis plus de 10 ans. Les autres ont seulement suivi une formation depuis leur entrée en poste, dont 7 exercent depuis moins de 5 ans.

Notamment, toutes les réponses des ingénieurs interrogés proviennent de la même entreprise, ce qui laisse supposer un problème d'organisation concernant la radioprotection au sein de cette entreprise. Il se pourrait que les mesures mises en place pour les employés n'aient pas été les mêmes pour tous, peut-être en raison d'un manque de formation durant la période de COVID.

De plus, parmi les entretiens effectués, une ingénieure ayant moins de 5 ans d'expérience a dit à propos de sa formation :

*« Je l'ai trouvée complète à mon niveau euhh la seule chose qui manque par rapport à cette formation c'est d'avoir des rappels. Remettre un peu ce qu'il en est et qu'on évite d'oublier. En tout cas moi je sais que j'ai oublié...euhh les souvenirs de cette formation sont lointains à part ce qu'on pratique tous les jours. J'ai oublié une grande partie. »*

Parmi les MERM, 6 sur 37 n'ont pas bénéficié de formation en radioprotection. Toutefois, il est important de noter que ces 6 individus sont tous des nouveaux arrivants dans l'hôpital, ayant moins de 5 ans d'expérience professionnelle.

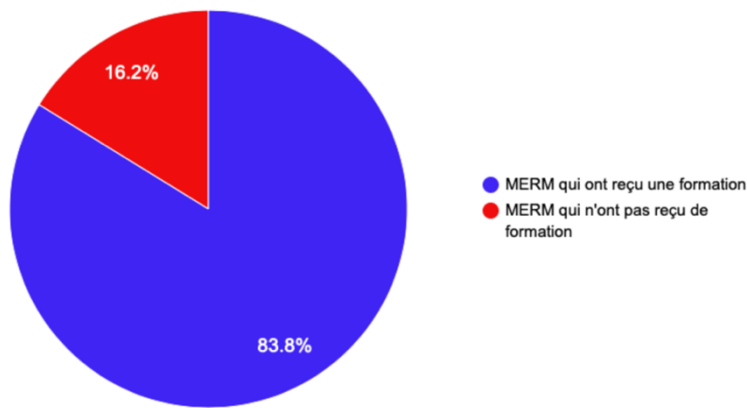


Figure 32 : Répartition des MERM qui ont reçu une formation

Les ingénieurs ont reçu en majorité une ou deux formations en radioprotection, tandis que la plupart des MERM ont répondu qu'ils étaient formés tous les 3 ans pour les travailleurs et tous les 7 ans pour les patients. Certains MERM ont déclaré suivre des formations tous les 2 ans.

Selon le Code du travail, la formation doit être renouvelée tous les 3 ans au minimum, ou autant de fois que nécessaire en fonction de l'exposition aux rayonnements (Cf p 52 « *Formation et sensibilisation des travailleurs.* »)

Cependant les formations ne sont pas forcément adaptés. J'ai interrogé un MERM qui venait de faire sa formation PCR, j'ai d'abord voulu savoir comment se passait leurs formations travailleurs :

*« La formation travailleur se fait sur PowerPoint sur un ordinateur et il y a un intervenant qui peut être disponible si jamais on a des questions mais souvent voilà c'est plus une révision en face d'un écran. »*

Puis j'ai essayé de comprendre s'il était satisfait de sa formation, en lui demandant si en tant que PCR, il allait reproduire la même organisation, il m'a répondu :

*« Je suis en train de voir pour modifier et franchement accès plus, parce qu'il y a beaucoup de théorie et on n'axe pas toujours sur les points importants, c'est vite balayé par exemple comme la notamment, sur tes questions, il y a des questions sur les organismes, c'est important pour la PCR, mais pour les travailleurs, on nous demande des définitions alors que sur les moyens de radioprotection, sur les distances, ne sont beaucoup abordés. Je trouve que les formations ne sont pas assez spécifiques et on devrait les adapter aux postes et aux services où on exerce. »*

Pour ce qui est des risques liés à la radioprotection, tous les MERM et les ingénieurs au bloc opératoire ont une connaissance adéquate, à l'exception d'un ingénieur qui a indiqué ne pas tous les connaître.

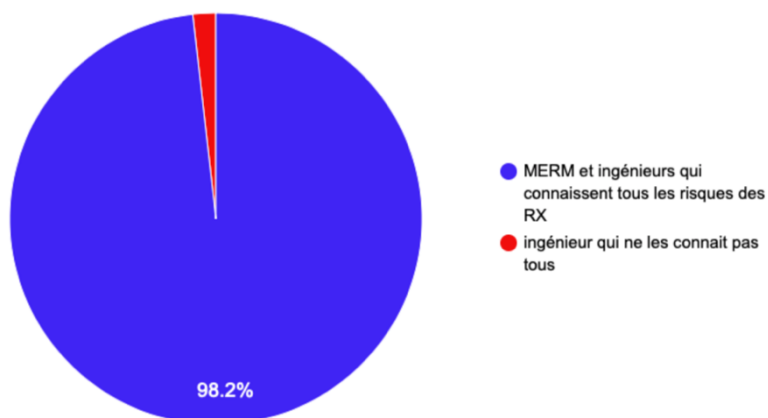


Figure 33 : Répartition de la connaissance des risques

Parmi les entretiens effectués, un ingénieur ne connaissait plus les risques :  
« Alors j'ai connu les risques. Je sais qu'effectivement, il faut éviter après en détail, je ne les connais pas... »

Malgré le fait que les ingénieurs aient reçu moins de formation que les MERM, ils ont majoritairement une connaissance des risques et des conséquences liées à une exposition aux rayonnements X. Néanmoins, le manque de formation peut avoir des conséquences sur les pratiques de radioprotection.

## B. Des ingénieurs plus passifs face à la radioprotection et des améliorations à apporter pour les MERM

La plupart des MERM et ingénieurs utilisent quotidiennement le tablier plombé lorsqu'ils sont exposés aux rayonnements X, sauf une personne qui le trouve trop lourd et ne l'utilise pas tous les jours, je cite « beaucoup trop lourd (charge sur le dos+++) ».

Le tablier plombé est efficace pour protéger le torse et les gonades si celui-ci est bien ajusté à la bonne taille et en bon état.

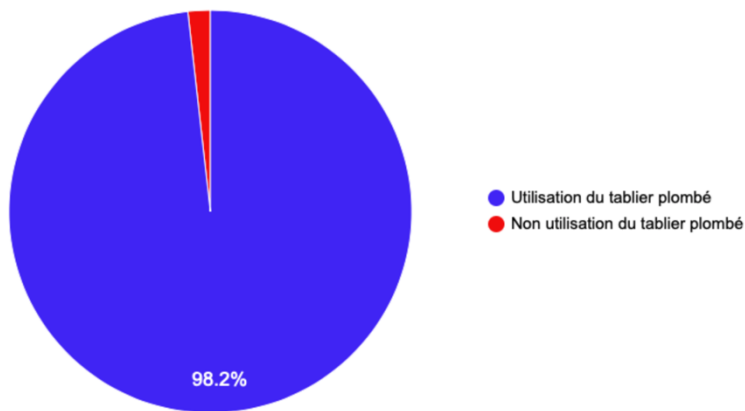


Figure 34 : Répartition de l'utilisation du tablier plombé

Lors d'un entretien, une ingénieure à mentionner à propos du port du tablier plombé par les infirmiers :

*« Je mets toujours mon tablier de plomb mais je sais qu'il y a des infirmiers qui ne les mettent pas en prétextant qu'ils sont assez loin et que ça sert à rien j'en suis jamais arrivée là euh non je fais attention. »*

Parmi les MERM, 11 sur 37 n'utilisent pas le cache thyroïde pour diverses raisons telles que je cite :

*« mauvaise pratique », « ils ne sont pas en bon état », « gêne et sentiment d'inutilité », « trop lourd ».*

Du côté des ingénieurs, 9 sur 19 ne l'utilisent pas pour les raisons suivantes, je cite :

*« le peu de temps d'exposition », « pas nécessaire, pas près de la source, Je me tiens à distance du foyer », « des fois je l'oublie et il n'y en a pas au bloc opératoire », « j'ai perdu mon propre cache thyroïde et si il y a des caches thyroïdectomie disponible dans les hôpitaux je l'utilise sinon non », « Cache thyroïde trop encombrant » et « caches thyroïdes disponibles dans les blocs en mauvais état ou absents ».*

Mais aussi par soucis de logistique d'après les deux ingénieurs que j'ai interrogés :

*« Je ne l'utilise jamais...par soucis de ... logistique en tant que nomade, je me balade pas avec alors c'est pas si lourd que ça mais ça prend de la place alors j'en ai pas avec moi. »*



« Et le cache thyroïde ... j'avoue que je le mets pas souvent car ce n'est pas pratique je finis toujours par l'oublier dans un centre ou dans ma voiture. Même quand il y en a je le mets pas souvent, plutôt par confort j'avoue. »

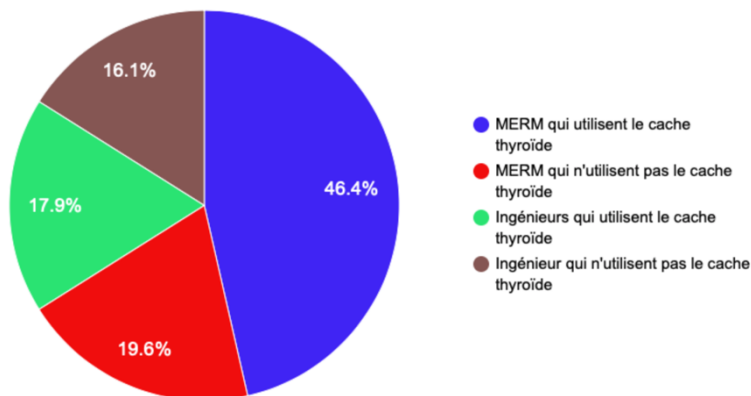


Figure 35 : Répartition de l'utilisation du cache thyroïde

En résumé, les raisons invoquées pour expliquer le non-port du cache thyroïde sont multiples, notamment l'état du cache, son poids, sa non-disponibilité dans les hôpitaux, le choix personnel de l'exposé, ou encore le fait qu'il ne soit pas mis à disposition. Ces raisons peuvent dépendre à la fois d'une négligence des hôpitaux et d'une décision personnelle de l'exposé.

Ainsi, des améliorations pourraient être envisagées sur ces deux axes pour optimiser le port du cache thyroïde par les travailleurs exposés aux rayonnements X.

A propos de l'utilisation des dosimètres, il y a une grande différence d'utilisation des dosimètres entre les manipulateurs et les ingénieurs. En effet, tous les manipulateurs utilisent leur dosimètre passif, tandis que seulement 31 sur 37 utilisent leur dosimètre actif.

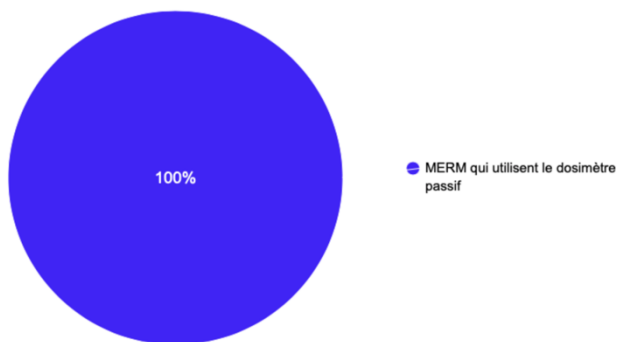


Figure 37 : Répartition de l'utilisation du dosimètre passif par les MERM

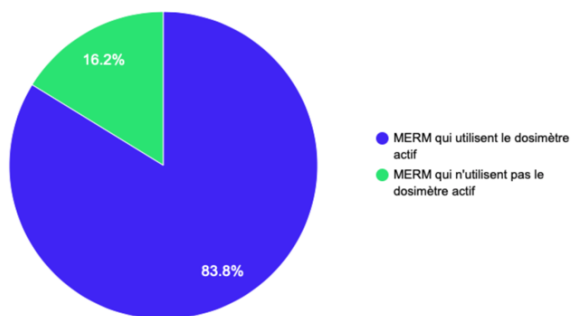


Figure 36 : Répartition de l'utilisation du dosimètre actif par les MERM

En revanche, en ce qui concerne les ingénieurs, plus de la moitié des répondants (11 sur 19) n'utilisent pas de dosimètre. Les raisons invoquées sont les suivantes :

« Oublie.. et au final pas vraiment tracé donc je n'y vois pas grande utilité », « Oublie, ou pas toujours avec moi à disposition », « Trop de contrainte ultérieure ( envoi du dosimètre etc ) », « manque de temps », « il ne se trouve pas dans le bon sac ».

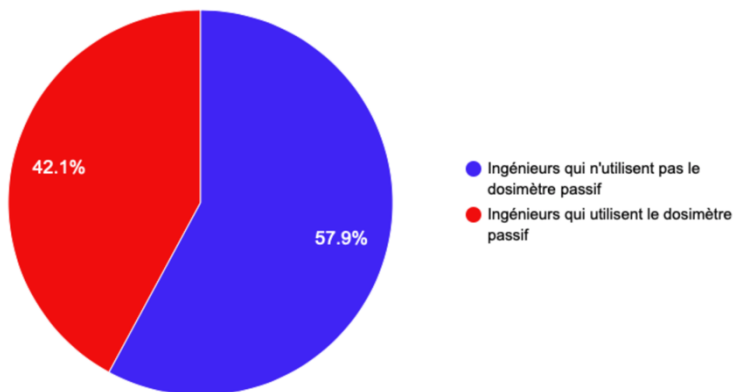


Figure 38 : Répartition de l'utilisation du dosimètre passif par les ingénieurs

Plusieurs notions se dégagent :

- La notion de praticité
- La notion de temps
- La notion d'oubli

L'utilisation adéquate des dosimètres dépend entièrement des utilisateurs. En effet, ces dispositifs sont mis à disposition de tous les travailleurs, mais c'est à eux de les utiliser correctement, notamment en les portant régulièrement au bloc opératoire. Il est donc possible d'améliorer la gestion des dosimètres en proposant des recommandations aux utilisateurs et en mettant en place des procédures de remplacement et d'envoi des dispositifs. Si les travailleurs ne portent pas leur dosimètre passif, la mesure de dose ne pourra pas être effectuée en cas de surexposition, et aucune mesure ne pourra être prise pour protéger les travailleurs. Il est donc crucial d'encourager une utilisation adéquate des dosimètres pour assurer la sécurité des travailleurs exposés aux rayonnements X.

Pour le dosimètre actif, il n'est utilisé par aucun travailleur ingénieur pour les raisons suivantes, je cite :

« Nécessitent des procédures administratives à chaque fois et dans chaque centre », « pas mis à notre disposition », « Ça dépend des centres, s'ils sont à disposition ou non »

« Seul l'exposition du patient est mesurée activement, puisque l'ensemble du personnel autour est plombé et sensé porter un dosimètre passif ».

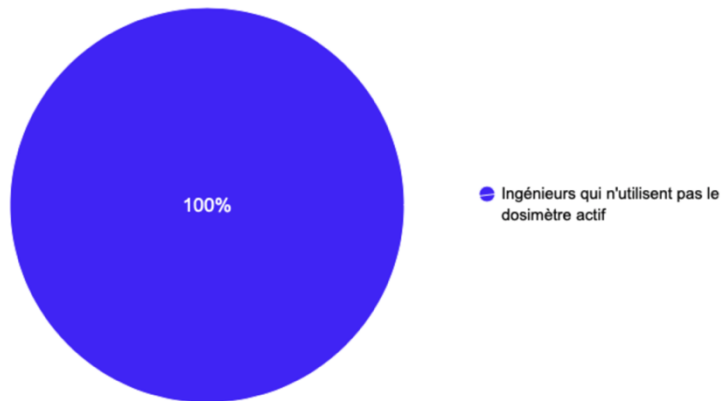


Figure 39 : Répartition de l'utilisation du dosimètre actif par les ingénieurs

La raison principale invoquée pour expliquer le non-port du dosimètre actif est le manque de disponibilité de celui-ci.

En tant qu'ingénieure en rythmologie cardiaque en alternance, je n'ai jamais été invité à porter le dosimètre actif.

Cependant une ingénieure a été amenée à la porter, mais dans une situation particulière : lors d'un audit de radioprotection :

« On m'a déjà proposé de le faire oui... En l'occurrence, c'était un audit de RP, ce jour-là alors on m'a dit voilà il faudra le mettre... Oui c'était un cas exceptionnel euuuuh ils sont souvent disponibles alors peut-être pas toujours mais il y en a quand même très souvent dans les blocs après j'avoue m'y être jamais intéressée en soit on va droit au but. »

De plus, en tant que MERM diplômée, j'effectue des radiographies thoraciques au lit, pour lesquelles je devrais porter à la fois un dosimètre passif et actif, mais je ne porte aucun des deux car aucun dosimètre ne m'a été fourni lors de ma prise de poste. Cela peut indiquer une négligence du PCR en matière de gestion de la radioprotection dans le service.

Malgré ces pratiques négligentes, il semble y avoir un manque de remise en question de ces pratiques.

### C. Une non remise en question de la majorité des ingénieurs vis-à-vis de leurs pratiques et des MERM plus consciencieux

Parmi les personnes interrogées, pour la majorité ils accordent une importance à la radioprotection (sauf deux personnes). Ils ont donc conscience des risques liés aux rayonnements X.

Cependant, certains ne portent pas toujours les équipements de protection individuelle ou les dosimètres pour diverses raisons.

Il serait donc important que les personnes exposées remettent en question leurs pratiques pour améliorer la radioprotection.

Toutefois, environ 41 % des ingénieurs ne souhaitent pas ajouter de mesures de radioprotection supplémentaires, comme mentionné dans les réponses ci-dessous :

« je trouve que nous sommes déjà bien surveillés », « Ceux mis en place sont déjà bons », « ras ».

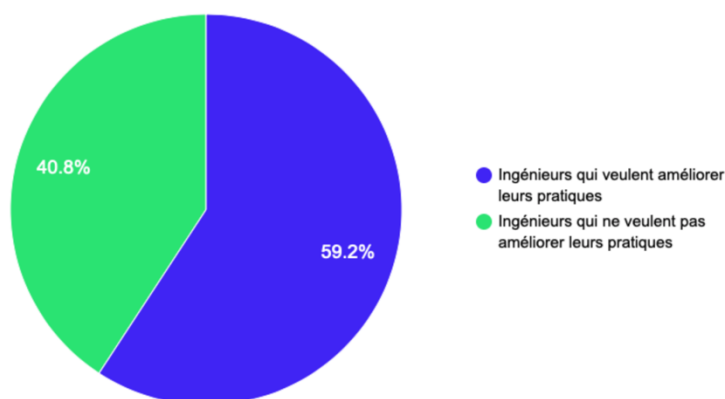


Figure 40 : Répartition du souhait de vouloir améliorer les pratiques des ingénieurs

Parmi les MERM, 27 % estiment qu'ils n'ont pas besoin d'amélioration en termes de pratique de la radioprotection.

De plus, certains adoptent une réflexion personnelle sans preuve concrète, sans conseil de professionnels pour justifier leur comportement du non-port de certains EPI :

« Euhh bah euhh peut-être que je m'estime assez loin, j'imagine que le risque est moins important pour moi que pour les médecins qui pratiquent. Il y a peut-être de ça dans ma réflexion. »

Tout en sachant que cette même personne m'a bien confirmé qu'elle pouvait être amenée à être près de la source lorsque c'était nécessaire :

« Mais il y a des moments où effectivement, je suis vraiment juste à côté parce qu'il faut que je fasse quelque chose au moment où l'on tire. »

Un autre ingénieur m'a répondu :

« J'estime qu'il y a moins de risque que quand j'étais infirmier parce que quand j'étais infirmier j'étais vraiment à côté de la source habillé avec le médecin alors que là je laisse des infirmiers faire. Je ne suis pas à côté de la source, c'est pour ça que je ne porte plus le cache thyroïde alors qu'avant quand j'étais infirmier, je le portais tous les jours. »

Puis j'ai questionné un ingénieur pour savoir s'il sollicitait la personne responsable de la radioprotection :

« Euuuh non non même si j'ai oublié des choses, c'est pas important au point de la solliciter même si je suis consciente des risques. »

Concernant les MERM, même s'ils ont une pratique plus assidue de la radioprotection que les ingénieurs, ils sont plus enclins à se remettre en question et à chercher à améliorer leurs pratiques.

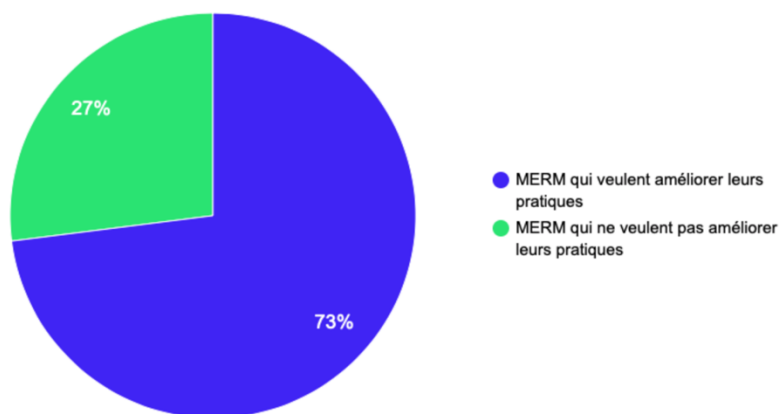


Figure 41 : Répartition du souhait de vouloir améliorer les pratiques des MERM

L'âge des travailleurs peut également influencer leur comportement en matière de radioprotection lorsqu'ils sont exposés aux rayonnements X.

## II. L'expérience en matière d'exposition aux rayonnements X influence les pratiques de radioprotection

En effet, j'ai formulé l'hypothèse selon laquelle « *Les personnes ayant plus d'expérience en matière d'exposition aux rayonnements ionisants ont tendance à être moins vigilantes et à relâcher leur attention en matière de radioprotection* ». Nous allons maintenant examiner si cette hypothèse est confirmée ou réfutée.

### A. Le manque de formation des moins de 10ans d'expérience

30% des travailleurs exposés depuis 0 à 10 ans n'ont pas reçu de formation en radioprotection depuis le début de leur exercice. De plus, ces travailleurs ont exprimé leur manque d'information sur la radioprotection.

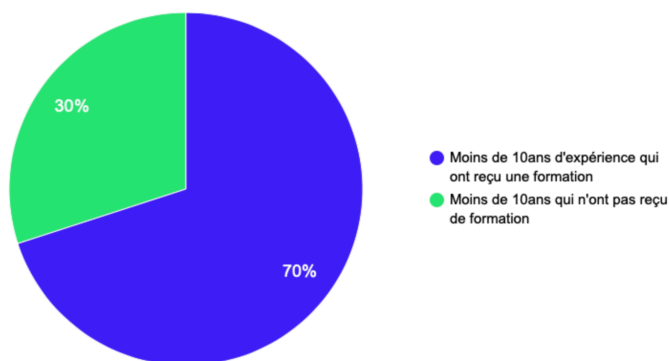


Figure 42 : Répartition des moins de 10 ans d'expérience ayant reçu une formation

Les travailleurs exposés ayant plus de 10 ans d'expérience ont tous suivi au moins 2 formations en radioprotection depuis le début de leur exercice. Toutefois, même avec cette

formation, 19% estiment ne pas être suffisamment informés sur la radioprotection.

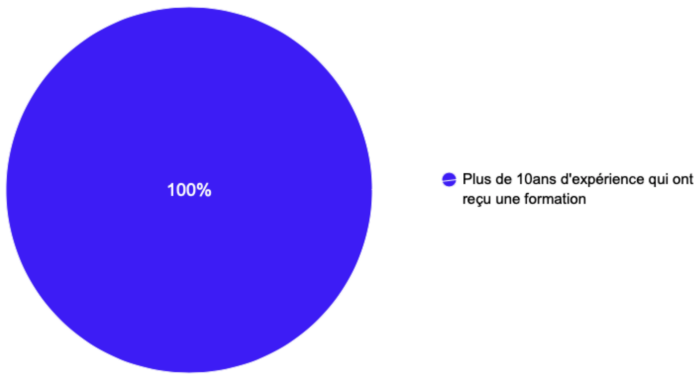


Figure 43 : Répartition des moins de 10 ans d'expérience ayant reçu une formation

Le pourcentage de travailleurs exposés ayant moins de 10 ans d'expérience et qui estiment ne pas avoir reçu suffisamment de formation sur la radioprotection est supérieur de 11 % par rapport à ceux ayant plus de 10 ans d'expérience.

Ce manque de formation peut avoir un impact direct sur les pratiques, en entraînant notamment une négligence du port des équipements de protection individuelle.

### B. Des équipements de protection individuels moins utilisés pour les moins de 10 ans d'expérience

Effectivement, il a été constaté que 40% des travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience n'utilisent pas leur cache-tyroïde, tandis que 19% des travailleurs ayant plus de 10 ans d'expérience ne l'utilisent pas non plus.

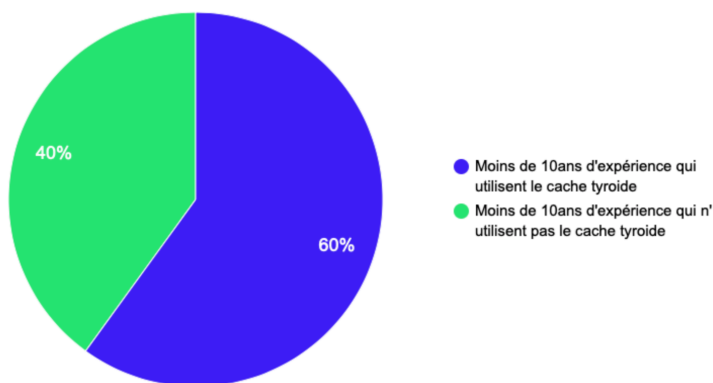


Figure 44 : Répartition des moins de 10ans d'expérience sur le port du cache thyroïde

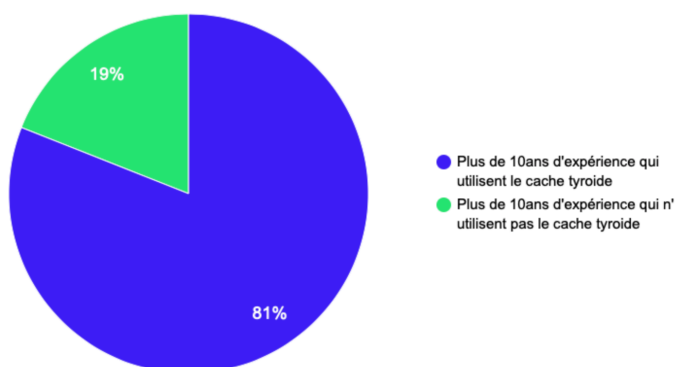


Figure 45 : Répartition des plus de 10ans d'expérience sur le port du cache thyroïde

Chez les travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience, la pratique du port du cache thyroïde est moins respectée de 21% par rapport à ceux ayant plus de 10 ans d'expérience.

De plus, environ 27% des travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience ne portent pas leur dosimètre, tandis que chez ceux ayant plus de 10 ans d'expérience, ce taux est de 13%, soit plus du double.

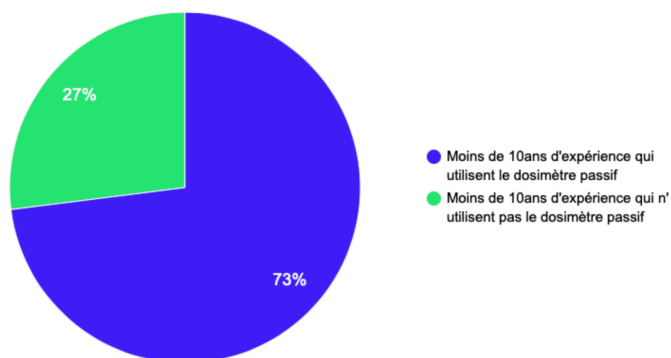


Figure 46 : Répartition des moins de 10ans d'expérience sur le port du dosimètre passif

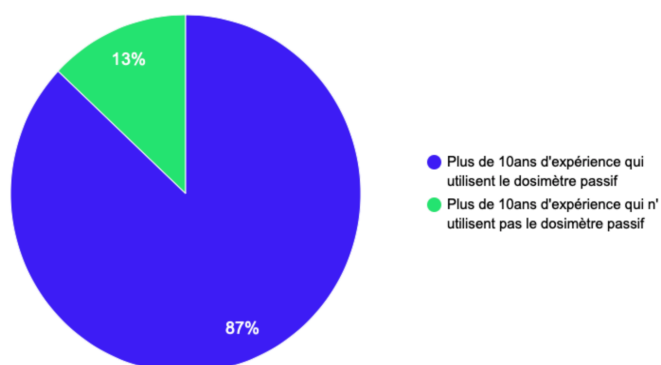


Figure 47 : Répartition des plus de 10ans d'expérience sur le port du dosimètre passif



En somme, les travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience ont généralement des pratiques de radioprotection moins bonnes que ceux ayant plus de 20 ans d'expérience. Cet écart pourrait être lié à un manque de formation dispensée aux travailleurs lorsqu'ils prennent un nouveau poste.

Toutefois, bien que ces travailleurs aient des pratiques négligentes, ils sont enclins à remettre en question leurs pratiques de radioprotection.

### C. Une meilleure remise en question des pratiques de radioprotection pour les moins de 10 ans d'expérience

En effet, seuls 13% des travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience ne souhaitent rien améliorer en termes de pratiques de radioprotection. Cela signifie que 87% d'entre eux ont conscience de la nécessité d'améliorer certaines pratiques et sont prêts à le faire, je cite :

« Tablier à notre taille », « plus de formations sur la radioprotection en nous sensibilisant plus sur les risques et nous montrer l'importance de tous ces moyens de protections », « Plus de formation. De communication. Un PCR investit », « Des dosimètres actifs », « Protéger les manips enceintes des rayonnements ionisants (postes adaptés par exemple). Porter un tablier plombé au quotidien enceinte n'est pas de tout repos », « J'aimerais peut-être connaître la dose de mon dosimètre à la fin de chaque mois. Sinon je pense que rien ne peut être rajouter pour notre prévention »

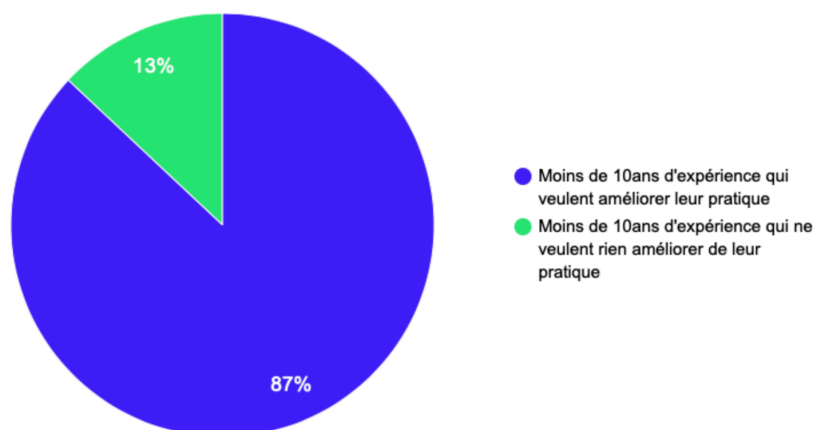


Figure 48 : Répartition des moins de 10 ans d'expérience sur l'amélioration des pratiques

Parmi les réponses fournies par les travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience, 30% souhaitent recevoir davantage de formations (9/30).

De plus lors de mes entretiens une ingénieure a confirmé la nécessité d'avoir plus de formation mais aussi le renouvellement des tabliers plombés dans les structures :

*« Oui, je pense qu'il y a un travail à faire sur les centres sur les plombs. Pour certains on a l'impression qu'ils ont 20ans , qui ne tiennent plus leurs formes. Pourquoi pas les remplacer de manière plus régulière. Il doit y avoir les règles la dessus mais je ne sais pas si elle sont toujours respectées. Et également augmenter le nombre de formation pour les personnes qui aimerait en faire plus. »*

En résumé, leurs demandes sont les suivantes :

- ⇒ Obtenir plus de formations
- ⇒ Avoir un PCR impliqué
- ⇒ Adapter le poste pour les femmes enceintes
- ⇒ Adapter les EPI
- ⇒ Mettre à disposition des dosimètres actifs
- ⇒ Communiquer sur la dose individuelle des travailleurs exposés

En revanche, les travailleurs ayant plus de 10 ans d'expérience sont plus nombreux à ne pas vouloir améliorer leurs pratiques, soit environ 45%. Cette différence peut être expliquée par une formation plus complète que les travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience.

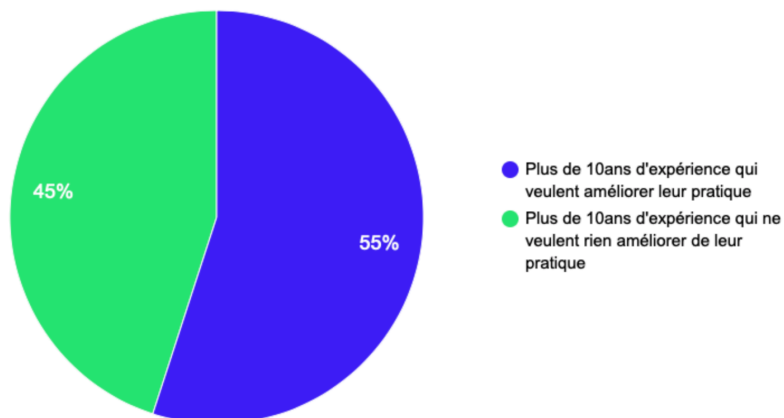


Figure 49 : Répartition des plus de 10 ans d'expérience sur l'amélioration des pratiques

En dépit d'un pourcentage plus élevé (45%) de travailleurs ayant plus de 10 ans d'expérience qui ne veulent pas améliorer leurs pratiques, 55% d'entre eux souhaitent quand même optimiser leurs pratiques et leurs demandes sont similaires à celles des travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience.

Par exemple, un travailleur ayant plus de 20 ans d'expérience a souligné la nécessité :

*« D'une formation annuelle et systématique pour les nouveaux arrivants. »*

Ce qui montre que même les travailleurs ayant une grande expérience reconnaissent l'importance de la formation régulière et de l'organisation interne de la structure.

Il apparaît que mon hypothèse, selon laquelle les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants ayant plus d'expérience sont plus enclins à négliger la radioprotection, est fausse. En effet, les pratiques des travailleurs ayant plus de 10 ans d'expérience sont mieux respectées que celles des travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience. Cela ne signifie pas que les travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience appliquent mal la radioprotection, mais plutôt qu'il y a des lacunes en matière de formation qui ont un impact direct sur leurs pratiques lorsqu'ils sont exposés aux rayonnements X.

## CONCLUSION DES ENQUETES

Grâce aux réponses obtenues du questionnaire et des entretiens, j'ai analysé et mieux compris certains comportements observés dans mon travail. Parmi toutes les réponses, il est clair que les pratiques de radioprotection ne sont pas irréprochables, et il y a encore beaucoup de choses à améliorer, tant en termes de connaissances que dans la mise en pratique de la radioprotection. Cependant, j'ai identifié certains facteurs spécifiques qui influencent les travailleurs et les poussent à adopter de moins bonnes pratiques de radioprotection.

Parmi ces facteurs, la profession joue un rôle important. En effet, les pratiques de radioprotection varient selon qu'il s'agisse d'un MERM ou d'un ingénieur. Les ingénieurs semblent être plus négligents dans leur approche de la radioprotection, accordant moins d'importance à celle-ci, probablement parce qu'ils sont moins nombreux à chercher à améliorer leurs pratiques. Ils sont également moins enclins à porter un dosimètre en raison de contraintes pratiques. Il est possible que le manque de formation spécifique à la radioprotection soit l'une des raisons pour lesquelles les ingénieurs se comportent moins bien que les MERM dans ce domaine.

En effet, certains ingénieurs n'ont reçu aucune formation, et même ceux qui en ont bénéficié n'ont suivi que deux formations au maximum tout au long de leur expérience, ce qui semble insuffisant. Il est donc pertinent de souligner le besoin de dispenser davantage de formations en radioprotection, en particulier pour les nouveaux MERM lorsqu'ils occupent un nouveau poste.

Ainsi, ma première hypothèse selon laquelle *"Les ingénieurs d'application interventionnels peuvent manquer de formation adéquate en matière de radioprotection, ce qui peut entraîner une mauvaise pratique dans ce domaine"* s'est avérée vraie.

Par ailleurs, j'ai remarqué que l'expérience en matière d'exposition aux rayonnements X peut influencer les pratiques de radioprotection. Les personnes ayant plus de 10 ans d'expérience semblent adopter de meilleures pratiques et s'impliquer davantage que celles ayant moins de 10 ans d'expérience.

Par exemple, l'utilisation du cache thyroïde est deux fois moins fréquente chez les moins de 10 ans d'expérience par rapport aux plus de 10 ans. Une corrélation similaire a été observée pour le port du dosimètre passif. Cependant, cette disparité de pratiques pourrait être due

au manque de formation chez les moins de 10 ans d'expérience, car 30% d'entre eux n'ont pas reçu de formation à la radioprotection depuis le début de leur emploi exposé aux rayonnements X.

Ainsi, ma deuxième hypothèse selon laquelle *"L'expérience en matière d'exposition aux rayonnements X peut conduire à une attitude de relâchement et de passivité envers la radioprotection"* s'est avérée fautive. J'avais fondé cette hypothèse sur des observations personnelles, soulignant ainsi l'importance de prendre en compte un grand nombre de réponses pour éviter de généraliser à partir d'un cas isolé.

Enfin, il est important de souligner le rôle significatif du manque de formation et de l'insuffisance de matériel mis à disposition des travailleurs exposés aux rayonnements X dans leurs pratiques de radioprotection. Comme mentionné précédemment, le manque de formation est particulièrement présent chez les ingénieurs, mais également chez les MERM ayant moins de 10 ans d'expérience. Ce déficit de formation peut contribuer au manque d'assiduité dans le respect des règles de radioprotection.

De plus, le manque de matériel adéquat, tels que les cache-thyroïdes ou les dosimètres actifs, pour les ingénieurs peut inciter à ne pas respecter certaines règles.

Cependant, il est essentiel de souligner que les travailleurs exposés doivent également faire des efforts pour améliorer leurs pratiques au quotidien. Même en mettant en place toutes les mesures nécessaires pour favoriser une bonne radioprotection, si les travailleurs ne font pas d'effort de leur côté, il ne peut y avoir d'amélioration significative.

Ainsi, des recommandations spécifiques doivent être formulées en tenant compte de la profession des travailleurs afin que chacun puisse améliorer ses pratiques de radioprotection.

## **PARTIE 4 : RECOMMANDATIONS**

Les résultats obtenus dans cette étude offrent des bases solides pour formuler des recommandations à la fois à l'attention des personnes exposées aux rayonnements et des structures de santé. Ces recommandations ont pour objectif d'optimiser le respect des règles de la radioprotection. En prenant en compte les besoins et les défis spécifiques des individus ainsi que les aspects organisationnels, ces recommandations visent à promouvoir une culture de la radioprotection solide et durable. Elles offrent des orientations pratiques et stratégiques pour améliorer les pratiques individuelles et collectives en matière de radioprotection, contribuant ainsi à réduire les risques associés aux rayonnements et à garantir un environnement de travail plus sûr pour tous les professionnels de santé concernés.

### **I. Recommandations destinées aux personnes exposées**

Selon les résultats obtenus, il est possible de formuler des recommandations directement à l'attention des personnes exposées. En effet, il a été constaté que le port du dosimètre n'est pas toujours respecté par les ingénieurs, de même que pour les équipements de protection individuelle.

#### **A. Le port du dosimètre passif et actif**

Le port quotidien du dosimètre est essentiel pour évaluer l'exposition aux rayonnements ionisants tout au long de la journée de travail. Les travailleurs peuvent ainsi connaître leur niveau d'exposition et prendre les mesures de radioprotection appropriées pour minimiser leur exposition future.

Cependant, d'après les résultats obtenus, les ingénieurs ne portent pas leur dosimètre passif quotidiennement à hauteur de 57,9 %. Il est donc crucial de les sensibiliser à l'importance du port du dosimètre, avec des formations à la radioprotection. De plus, même si les MERM portent leur dosimètre passif quotidiennement, il convient de vérifier s'ils le portent correctement.

En ce qui concerne le dosimètre actif, 16,2 % des MERM ne l'utilisent pas. Il est donc nécessaire de renforcer la formation et la sensibilisation à ce sujet, avec des efforts personnels pour améliorer les pratiques.

Nous pouvons également impliquer le personnel soignant dans l'élaboration des politiques et des procédures liées à l'utilisation des dosimètres ce qui favorisera un sentiment de responsabilité.

De plus, reconnaître et célébrer les membres du personnel soignant qui portent régulièrement leurs dosimètres, par le biais de systèmes de reconnaissance, comme des bonus sous forme de primes qui pourrait grandement motiver les équipes.

Quant aux ingénieurs, l'utilisation du dosimètre actif est plus difficile, car ils ne sont pas fournis par l'entreprise, mais par les hôpitaux.

Il est donc important de collaborer avec les personnes en charge de la radioprotection dans l'entreprise et les PCR des hôpitaux pour mettre à disposition des dosimètres actifs aux ingénieurs.

Pour faciliter l'accès autonome du personnel aux bornes de dosimètres actifs sans devoir solliciter le personnel, le responsable de la radioprotection devrait contacter les Personnes Compétentes en Radioprotection (PCR) de chaque hôpital partenaire. Ils pourront collaborer pour mettre en place une fiche employé permettant aux membres du personnel d'accéder facilement aux dosimètres. Cela permettra d'encourager l'autonomie et la responsabilisation individuelle.

Afin de motiver les ingénieurs à porter les dosimètres, une possibilité serait de proposer un bonus salarial. Ce bonus pourrait être lié à leur assiduité et à leur respect des directives de port du dosimètre. Les PCR pourront fournir un rapport annuel à la responsable de la radioprotection, permettant ainsi d'évaluer l'utilisation des dosimètres par les ingénieurs et d'ajuster le bonus en conséquence.

En résumé, en établissant une communication proactive avec les PCR, en facilitant l'accès autonome aux dosimètres actifs et en offrant des avantages incitatifs tels qu'un bonus salarial, il est possible de motiver le personnel soignant et les ingénieurs à porter régulièrement les dosimètres, renforçant ainsi la culture de radioprotection au sein de l'établissement.

## B. Le port des équipements de protection individuels

Les équipements de protection individuelle sont également essentiels pour la pratique de la radioprotection. Comme nous l'avons vu précédemment, 40 % des travailleurs ayant moins de 10 ans d'expérience ne portent pas leur cache-thyroïde, contre 19 % pour ceux ayant plus de 10 ans d'expérience. Étant donné que la thyroïde est un organe radiosensible, il est important de respecter le port de ces EPI pour se protéger au maximum des rayonnements ionisants et optimiser son exposition.

Il est donc nécessaire que les structures mettent à disposition des équipements adaptés et de bonne qualité pour les travailleurs (comme mentionné dans la partie p 86 « *Mettre à disposition des EPI adaptés à chaque travailleur.* »)

Cependant, il est également crucial que les travailleurs soient engagés dans leur pratique et souhaitent améliorer leurs pratiques de radioprotection. Avoir tous les équipements à disposition ne suffit pas si les travailleurs ne les utilisent pas régulièrement. C'est pourquoi il est important de se tenir informé et de continuer à s'améliorer dans ses pratiques, tout comme avec les dosimètres.

## C. S'informer sur la radioprotection en général

En guise de conclusion, les recommandations à l'attention des travailleurs exposés aux rayonnements X soulignent l'importance de la prise de conscience des risques associés à ces rayonnements et de la connaissance des mesures de protection nécessaires pour minimiser leur exposition.

Il est crucial pour les travailleurs de se renseigner et de rester curieux sur la radioprotection pour mieux comprendre les effets des rayonnements X sur la santé et être en mesure de mettre en pratique les procédures de sécurité appropriées. Cette démarche contribue également à prévenir les erreurs et les accidents liés à l'exposition aux rayonnements X.

Pour ce faire, il est possible de mettre en place plusieurs actions pour donner un accès plus facile à l'information en :

- Proposant des formations sur la radioprotection adaptées au personnel soignant, en mettant l'accent sur les connaissances de base, les bonnes pratiques et les mesures de sécurité à prendre.



- Mettant à disposition des ressources éducatives telles que des documents, des guides, des vidéos et des sites web spécialisés, afin de permettre au personnel soignant d'approfondir ses connaissances à tout moment.
- Mettant en place un système d'accès facile à l'information sur la radioprotection, en créant une bibliothèque numérique ou un intranet dédié.
- Assurant la disponibilité de documents, de guides et de procédures sur la radioprotection dans les espaces de travail du personnel soignant, tels que les salles de pause ou les vestiaires.
- Encourageant le partage d'expériences et de bonnes pratiques entre les membres du personnel soignant, en organisant des séances de discussion ou des groupes de travail.
- Mettant en avant les initiatives individuelles ou collectives visant à promouvoir la radioprotection et à réduire les risques d'exposition.

En définitive, une meilleure sensibilisation, une formation continue et la mise en place de documentation à la radioprotection sont indispensables pour sensibiliser le personnel soignant et donc réduire l'exposition aux rayonnements X.

## **II. Recommandations destinées aux structures**

Les résultats obtenus ont mis en évidence la nécessité pour les structures de mettre en place des recommandations importantes.

Tout d'abord, il convient d'augmenter le nombre de formations dispensées aux travailleurs, car les lacunes à ce niveau peuvent entraîner des lacunes dans la pratique de la radioprotection. Pour ce faire, il est nécessaire d'avoir une PCR impliquée et qui suit de près ses travailleurs.

Ensuite, il est essentiel de mettre à disposition des équipements de protection individuelle en bon état et adaptés aux travailleurs. La communication des doses d'exposition aux travailleurs pourrait également influencer leurs pratiques.

Enfin, il est important d'adapter le poste de travail des femmes enceintes exposées aux rayonnements X quotidiennement.

## A. Augmenter le nombre de formations

Il est nécessaire de réorganiser les formations en radioprotection, car d'après la partie précédente, il a été constaté que 30 % des travailleurs exposés qui exercent depuis 0 à 10 ans n'ont pas reçu de formation sur la radioprotection pendant leur exercice professionnel. En outre, sur 19 ingénieurs ayant exercé pendant moins de 5 ans, 4 n'ont pas reçu de formation du tout, tandis que les autres ont reçu au maximum 2 formations, ce qui est très peu. Cette lacune en formation se manifeste par le fait que parmi tous les ingénieurs, 17,6 % ne connaissent pas le principe ALARA et 70,6 % ne connaissent pas le principe TED.

Il est essentiel que les professionnels de la santé prennent conscience de l'importance de minimiser autant que possible les doses de rayonnement lors des procédures d'imagerie et de n'utiliser que la dose minimale nécessaire pour obtenir des images diagnostiques adéquates. Ils doivent également être familiers avec les équipements de protection individuelle, tels que les tabliers de plomb et les caches thyroïdes, et savoir comment les utiliser correctement pour réduire leur propre exposition aux rayonnements. Cependant, sans une formation régulière, il est facile d'oublier ou de ne pas connaître certaines recommandations de bonnes pratiques.

C'est pour cela qu'il est crucial d'améliorer la sensibilisation des travailleurs exposés aux rayonnements, en les informant sur la dose de rayonnement, les risques liés à l'exposition, les mesures pour minimiser l'exposition, l'utilisation des équipements de protection individuelle et la réglementation en vigueur.

Par exemple, lorsqu'un travailleur commence un nouveau poste, il devrait suivre une formation complète sur la radioprotection, même s'il a déjà plusieurs années d'expérience dans ce domaine. Ensuite, il devrait y avoir une meilleure sensibilisation quant au fait que si le travailleur exposé a besoin d'une formation, il pourra en bénéficier aussi régulièrement que nécessaire. (Cf p 52 partie « *Formation et sensibilisation des travailleurs* »).

Enfin, il est important de prendre en compte les ingénieurs qui sont exposés aux rayonnements X, car ils devraient recevoir un nombre bien plus important de formations pour leur propre sécurité.

En tant qu'alternante chez Microport Cardiac Rythm Management (CRM), je suis impliquée dans des interventions de pacemaker et de défibrillateur et donc en contact avec des rayonnements X au quotidien.

Malheureusement, la formation à la radioprotection que j'ai reçue à mon arrivée dans l'entreprise était limitée à une session de 30 minutes en e-learning, avec seulement cinq questions à la fin pour vérifier les connaissances acquises.

À mon avis, cela était loin d'être suffisant, car la formation ne couvrait pas tous les aspects de la radioprotection et l'apprentissage individuel ne garantissait pas un niveau d'investissement maximal. Par conséquent, il est essentiel de revoir les formations proposées aux ingénieurs pour leur assurer des formations plus complètes et plus régulières afin d'assurer de bonnes pratiques en matière de radioprotection.

Il est nécessaire que les PCR (Personnes Compétentes en Radioprotection) s'investissent davantage dans la formation des travailleurs exposés aux rayonnements X, étant donné que c'est leur responsabilité dans les structures hospitalières.

## **B. Avoir une personne compétente en radioprotection investie**

La PCR est une experte en radioprotection, chargée de veiller à la sécurité et à la protection de la santé des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

La PCR est responsable de la mise en place et de la mise en œuvre de mesures de radioprotection appropriées pour minimiser l'exposition aux rayonnements ionisants. Il s'assure que les travailleurs sont informés des risques liés à leur travail, de la manière de minimiser leurs expositions aux rayonnements et des mesures de sécurité à suivre. (Cf p47 « *Formation et sensibilisation des travailleurs* »)

C'est pour cela qu'il est essentiel d'avoir des PCR engagées et impliquées dans leur travail au sein des services où les rayonnements X sont utilisés. Ils doivent communiquer régulièrement avec les travailleurs exposés, essayer d'améliorer les pratiques de radioprotection et comprendre leurs comportements.

Par exemple : si les travailleurs exposés aux rayonnements X n'utilisent pas suffisamment de caches thyroïdes, il est important pour les PCR de comprendre pourquoi. Est-ce, parce qu'il n'y en a pas assez dans le service ? Sont-ils en bon état ? Ou, est-ce que les travailleurs ne sont pas suffisamment sensibilisés aux risques associés à l'exposition aux rayonnements ? Les PCR doivent enquêter sur ces questions et travailler à résoudre les problèmes pour améliorer la radioprotection des travailleurs. Par exemple en faisant un questionnaire sous

forme de sondage pour essayer de comprendre les manquements en termes de matériels dans le service ou encore pour prendre en compte tous les besoins des travailleurs exposés. Ces sondages pourront être mis en place 1 fois par an pour s'aligner à l'évolution des besoins des travailleurs.

En tant que manipulatrice en radiologie médicale, j'ai constaté que certains services ne disposent pas de PCR et qu'il est rare d'avoir des formations ou des dosimètres passifs/actifs à disposition pour les travailleurs exposés aux rayonnements.

Dans mon travail actuel en radiologie interventionnelle en tant de MERM, je suis souvent amenée à effectuer des radiographies de thorax de patients en réanimation sans bénéficier d'un dosimètre actif (ni passif). Cela montre que dans de nombreux services, les PCR ne sont pas suffisamment présents ou attentifs à la radioprotection des travailleurs.

Il serait donc nécessaire d'augmenter le nombre de PCR dans les services ou de les inciter à être plus investis dans leur travail. Pour cela, le cadre du service, devrait instaurer plus de contrôle quant aux missions de la PCR et son implication dans l'amélioration des pratiques des exposés.

Pour les ingénieurs exposés aux rayonnements X, il serait bénéfique d'avoir une personne dans leur service qui joue un rôle similaire à celui d'une personne compétente en radioprotection. Cette personne serait dédiée à la radioprotection et servirait de point de contact pour les ingénieurs, leur fournissant des informations sur l'exposition aux rayonnements et les mesures de protection nécessaires.

Il est essentiel que cette personne soit engagée et accessible, permettant une communication régulière avec le personnel exposé. En étant proactive, elle pourrait s'assurer de connaître les besoins spécifiques des ingénieurs en termes de radioprotection et prendre les mesures appropriées pour y répondre. Cela pourrait inclure la mise en place de procédures de sécurité adaptées, la fourniture d'équipements de protection individuelle appropriés et la mise en œuvre de formations spécifiques pour les ingénieurs.

En établissant cette relation de confiance avec une personne dédiée à la radioprotection, les ingénieurs se sentiront plus soutenus et auront un accès direct à l'expertise et aux conseils nécessaires pour garantir leur sécurité. Cela favorisera une culture de

radioprotection au sein du service et encouragera une communication ouverte sur les préoccupations et les questions liées à l'exposition aux rayonnements X.

### **C. Mettre à disposition des équipements de protection individuels adaptés à chaque travailleur (taille, poids)**

Les EPI, tels que les tabliers de plomb, les lunettes de protection et les gants, sont conçus pour réduire l'exposition aux rayonnements ionisants. Cependant, pour être efficaces, les EPI doivent être correctement sélectionnés, adaptés à la taille et à la morphologie de chaque travailleur et utilisés correctement.

En effet, si les EPI sont mal ajustés ou ne sont pas de qualité suffisante, ils peuvent ne pas fournir une protection adéquate contre les rayonnements ionisants, laissant ainsi les travailleurs exposés à des doses dangereuses de rayonnement.

Il est donc important de fournir des EPI de qualité, adaptés à la morphologie et aux besoins de chaque travailleur. Les EPI doivent également être régulièrement inspectés pour s'assurer qu'ils sont en bon état et qu'ils fonctionnent correctement. (cf p 42 « *Les EPI : Équipements de Protections Individuelle* ».)

Il convient de noter que tous les centres ne fournissent pas des tabliers plombés personnalisés. Cette pratique est généralement réservée aux médecins plutôt qu'au personnel soignant. Dans certains hôpitaux, j'ai observé des portants contenant des tabliers plombés et des protège-thyroïdes pour les travailleurs en cardiologie interventionnelle. Cependant, parmi les hôpitaux de Paris et d'Île-de-France où j'ai travaillé, le CHU de Rouen est l'un des rares à fournir des tabliers plombés personnalisés pour tout le personnel soignant avec le caché thyroïde intégré.

Il est essentiel que les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants puissent bénéficier de tabliers de plomb adaptés à leur morphologie, afin de garantir une protection optimale contre les rayonnements et ainsi réduire les risques pour leur santé.

Pour encourager le personnel soignant à porter régulièrement les tabliers plombés, il serait judicieux de leur offrir la possibilité de choisir le type de tablier qui convient le mieux à leurs préférences individuelles. Cela pourrait inclure des options telles que la couleur, la forme et

autres caractéristiques personnalisées. En leur donnant ce choix, les soignants se sentiront plus motivés à porter leur tablier et à en prendre soin, car il sera unique et spécifiquement adapté à leurs besoins.

De plus, pour faciliter le port du cache-thyroïde, il serait avantageux de l'intégrer directement dans le tablier plombé. En le fixant de manière permanente, le soignant n'oubliera pas de le mettre et le portera instinctivement à chaque fois qu'il enfilera son tablier. Cette solution pratique élimine la possibilité d'oubli ou de négligence concernant le port du cache-thyroïde, renforçant ainsi la conformité et la sécurité en matière de radioprotection.

#### **D. Transmettre la dose individuelle aux travailleurs**

Transmettre la dose aux travailleurs n'est pas la recommandation la plus importante mais elle trouve sa place puisqu'une personne a répondu vouloir connaître sa dose : *« J'aimerais peut-être connaître la dose de mon dosimètre à la fin de chaque mois. Sinon je pense que rien ne peut être rajouter pour notre prévention »*.

En effet, la connaissance de la dose reçue est essentielle pour permettre aux travailleurs de comprendre l'importance de la radioprotection et de prendre des mesures pour minimiser leur exposition aux rayonnements ionisants.

Si les travailleurs n'ont pas notion de la dose qu'ils reçoivent, ils peuvent penser qu'il n'y en a pas alors qu'elle est toujours présente aussi minime soit-elle.

Les rayonnements X n'étant pas visible, nous pouvons avoir l'impression ne rien recevoir alors que les conséquences peuvent être délétère sur notre santé lorsque nous sommes exposées aux quotidiens.

C'est pour cela que la PCR avec l'employeur devrait prendre l'initiative de communiquer la dose aux travailleurs exposées pour qu'ils puissent être dans une optique d'amélioration continue en terme de dose reçu.

Cela nécessite du temps et de l'organisation pour transmettre ces données à tous les travailleurs, tous les trimestres. Mais ce n'est pas impossible et si cela permet aux travailleurs exposées d'améliorer leurs pratiques, cela peut être une bonne chose.

## E. Adapter le poste des femmes enceintes

Le cas de la femme enceinte est à prendre en considération. En effet, les rayonnements ionisants peuvent présenter un risque pour la santé du fœtus en développement, en particulier pendant les premiers stades de la grossesse. (Cf p 25 partie « *Cas particulier de la femme enceinte.* »)

Dans mon enquête, deux personnes ont relevé ce cas particulier en admettant qu'il n'y avait pas toujours de poste adapté. Et que le port du tablier plombé était difficile tout au long de la journée.

Il est important d'adapter les mesures en fonction des souhaits de la femme.

Par exemple, lorsqu'une femme est affectée à un poste nécessitant une exposition aux rayonnements X, il est important de lui fournir des informations claires sur les possibilités d'évolution de son poste et les mesures mises en place pour garantir sa sécurité. Elle devrait également bénéficier d'une formation approfondie, compte tenu des risques importants pour le fœtus en cas d'exposition aux rayonnements X.

Il est essentiel de communiquer de manière transparente avec la femme concernée, en lui fournissant des informations sur les éventuels changements de poste qui pourraient réduire ou éliminer son exposition aux rayonnements X. Cela permet de lui offrir des opportunités d'évolution de carrière tout en garantissant sa sécurité et celle de son fœtus.

En outre, la femme devrait bénéficier d'une formation plus approfondie sur la radioprotection, en mettant l'accent sur les risques potentiels pour le fœtus et les mesures de protection spécifiques à prendre pendant la grossesse. Cette formation renforcée permettra à la femme de comprendre les précautions à prendre, de connaître les bonnes pratiques en matière de radioprotection et d'adopter des comportements responsables pour minimiser les risques d'exposition.

J'ai remarqué pendant mon stage qu'une médecin enceinte portait deux tabliers plombés pour se protéger des rayonnements X pendant les interventions, ce qui doit être très lourd, car un seul tablier est déjà assez pesant. Cela indique clairement que l'EPI n'était pas adapté aux besoins de la femme enceinte, qui se sentait obligée de prendre des mesures supplémentaires pour protéger son bébé.

Il est donc essentiel que l'employeur, en collaboration avec la PCR et la médecine du travail, offre plusieurs solutions à la femme enceinte pour qu'elle puisse choisir celle qui convient le mieux à sa situation et à son état.



## CONCLUSION

Ce mémoire de Master 2 s'est concentré sur la radioprotection du personnel soignant en milieu hospitalier, mettant en évidence certaines lacunes dans les pratiques. Il a été démontré que les pratiques de radioprotection varient en fonction de la profession et de l'expérience des individus face à l'exposition aux rayonnements X.

De plus, il est apparu clairement que les moyens mis à disposition par les structures hospitalières pour permettre au personnel soignant de pratiquer une radioprotection adéquate sont insuffisants.

En effet, l'étude a permis d'identifier des facteurs clés contribuant aux pratiques moins satisfaisantes, tels que le manque de formation spécifique en radioprotection, notamment chez les ingénieurs d'application interventionnels. Il est essentiel de reconnaître que la formation régulière et adaptée est un élément crucial pour favoriser de bonnes pratiques de radioprotection.

De plus, l'expérience en matière d'exposition aux rayonnements X a été mise en évidence comme un facteur qui influe sur les attitudes et les comportements des travailleurs, soulignant la nécessité d'accorder de l'importance à la radioprotection peu importe le nombre d'année d'expérience.

En outre, cette recherche a également souligné les défis rencontrés par le personnel soignant en raison du manque de moyens mis à leur disposition dans les structures hospitalières. L'absence de matériel adéquat, comme les cache-thyroïdes et les dosimètres actifs, limite leur capacité à se protéger efficacement contre les rayonnements X.

Il est essentiel que les structures hospitalières prennent des mesures pour fournir aux travailleurs exposés les outils et les équipements nécessaires à une radioprotection optimale.

Dans cette perspective, ce mémoire a permis de mettre en évidence les problématiques liées à la radioprotection du personnel soignant et de proposer des pistes de solutions concrètes adéquates. Cependant, il reste beaucoup à faire pour améliorer les pratiques de radioprotection dans les milieux hospitaliers.

En poursuivant les recherches dans ce domaine, il serait intéressant de mener des études complémentaires afin d'évaluer plus en détail l'impact des formations régulières et adaptées sur les pratiques de radioprotection du personnel soignant en milieu hospitalier.

Cela permettrait de mesurer de manière précise l'efficacité de ces formations dans l'amélioration des connaissances et des comportements en matière de radioprotection.

Il serait également intéressant d'évaluer l'efficacité des mesures prises par les structures hospitalières pour fournir les moyens nécessaires à une radioprotection adéquate. Cela pourrait inclure l'évaluation de l'accessibilité, de la disponibilité et de l'état des équipements de protection individuelle, tels que les cache-thyroïdes et les dosimètres actifs par exemple, dans les différentes unités de soins.

Il conviendrait également d'évaluer l'adéquation des ressources allouées aux services de radiologie et d'interventionnel en termes de formation, de personnel et de matériel.

Ainsi, la radioprotection du personnel soignant en milieu hospitalier est un enjeu crucial qu'il convient de prendre au sérieux. Il est impératif d'améliorer les pratiques de radioprotection en fournissant une formation adéquate, en offrant un soutien matériel adéquat et en favorisant une culture de vigilance et de responsabilité chez les travailleurs exposés aux rayonnements X. Ce domaine nécessite une attention continue et une collaboration entre les professionnels de la santé, les gestionnaires des structures hospitalières et les autorités compétentes pour garantir la sécurité et le bien-être du personnel soignant.

## **SOMMAIRE DETAILLE**

REMERCIEMENTS.....	p2
SOMMAIRE.....	p3
TABLE DES FIGURES.....	p4
TABLES DES ANNEXES.....	p6
GLOSSAIRE.....	p7
INTRODUCTION.....	p8
<b>PARTIE 1 : REVUE DE LA LITTERATURE .....</b>	<b>p10</b>
<b>I. Les rayonnements X : Un risque avéré pour la population et les professionnels de santé.....</b>	<b>p10</b>
<b>A. Les différents types de rayonnements ionisants.....</b>	<b>p10</b>
a. Rayonnement alpha , Rayonnement beta , Rayonnement gamma, Rayonnement X.....	p11
b. Les rayonnements X : De la découverte d'un phénomène physique à son application médicale.....	p12
<b>B. Les différentes technologies d'imagerie médicale qui utilisent les rayonnements x.....</b>	<b>p13</b>
a. La radiologie conventionnelle.....	p13
b. Les scanner.....	p14
c. La radiologie interventionnelle.....	p14
<b>C. Les risques des rayonnements x : Une réalité sous-estimée ?.....</b>	<b>p14</b>
a. Le principe de dose.....	p15
b. Les effets à court termes.....	p16
c. Les effets à long terme.....	p18
d. Plusieurs études démontrant les risques à l'exposition des RX.....	p20
e. La femme enceinte et les rayons X : Une menace pour l'embryon.....	p25
<b>Conclusion intermédiaire de la revue de la littérature.....</b>	<b>p27</b>
<b>II. La radioprotection : un enjeu de santé publique .....</b>	<b>p28</b>
<b>A. Une réglementation connue par tous ?.....</b>	<b>p28</b>
a. Les organismes de radioprotectons.....	p28
b. Généralité sur les normes et réglementations en matière de radioprotection.....	p31
c. Les principe de base de la radioprotection : des principes toujours respectés.....	p33
<b>B. Des équipements de radioprotection toujours utilisés ?.....</b>	<b>p41</b>

a. Les EPI : Équipements de protections individuelle.....	p42
b. Les EPC : Équipements de protections collectifs.....	p44
c. Des protections toujours en vigueur ?.....	p46
C. Les moyens de préventions contre les RX : une prévention efficace ?.....	p47
a. La dosimétrie passive et active.....	p48
b. La médecine du travail.....	p51
c. Formation et sensibilisation des travailleurs.....	p52
 Conclusion de la revue de la littérature.....	 p53
 <b>PARTIE 2 : METHODOLOGIE</b> .....	 <b>p54</b>
I.    Objet de l'étude .....	p54
II.   Choix de la méthodologie .....	p55
III.  Population étudiée .....	p56
IV.   Recueil des données .....	p57
V.   Méthode d'analyse des données .....	p58
 <b>PARTIE 3 : RESULTATS</b> .....	 <b>p59</b>
I.    Comparaison des connaissances et des pratiques de la radioprotection des MERM et des ingénieurs interventionnels .....	p59
A. Un manque de formation pour les ingénieurs et une formation pas forcément pas adaptée pour les MERM.....	p60
B. Des ingénieurs plus passifs face à la radioprotection et des améliorations à apporter pour les MERM.....	p63
C. Une non remise en question de la majorité des ingénieurs vis-à-vis de leurs pratiques et des MERM plus consciencieux.....	p68
II.   L'expérience en matière d'exposition aux rayonnements x influence les pratiques de radioprotection.....	p70
A. Le manque de formation des moins de 10ans d'expérience.....	p71
B. Des équipements de protections individuels moins utilisés pour les moins de 10 ans d'expérience.....	p72
C. Une meilleure remise en question pour des pratiques de radioprotection pour les moins de 10ans d'expérience.....	p73
 CONCLUSION DES ENQUETES.....	 p77
 <b>PARTIE 4 : RECOMMANDATIONS</b> .....	 <b>p78</b>
I.    Recommandations destinées aux personnes exposées.....	p78
A. Le port du dosimètre passif et actif.....	p78
B. Le port des équipements de protection individuels.....	p80

C.	S'informer sur la radioprotection en générale.....	p80
II.	Recommandations destinées aux structures.....	p81
A.	Augmenter le nombre de formations.....	p82
B.	Avoir une personne compétente en radioprotection investie.....	p83
C.	Mettre à disposition des équipements de protection individuels adaptés à chaque travailleur (taille, poids).....	p85
D.	Transmettre la dose individuelle aux travailleurs.....	p86
E.	Adapter le poste des femmes enceintes.....	p87
	CONCLUSION.....	p89
	BIBLIOGRAPHIE.....	p94
	ANNEXES.....	p100

## **BIBLIOGRAPHIE**

**[1]** Organisation Internationale du travail (2022) « *L'exposition aux rayonnements ionisants dans un contexte professionnel touche plus de 24 millions de travailleurs dans le monde.* » 3e Conférence internationale sur la radioprotection professionnelle. Consulté le 13/05/2023

Disponible sur : [https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS\\_854879/lang-fr/index.htm#:~:text=la%20radioprotection%20professionnelle-L%27exposition%20aux%20rayonnements%20ionisants%20dans%20un%20contexte%20professionnel%20touche,de%20travailleurs%20dans%20le%20monde](https://www.ilo.org/global/about-the-ilo/newsroom/news/WCMS_854879/lang-fr/index.htm#:~:text=la%20radioprotection%20professionnelle-L%27exposition%20aux%20rayonnements%20ionisants%20dans%20un%20contexte%20professionnel%20touche,de%20travailleurs%20dans%20le%20monde)

**[2]** IRSN (2021) « *Bilan 2020 des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants en France* ». Consulté le 13/05/2023.

Disponible sur <https://www.irsn.fr/actualites/bilan-2020-expositions-professionnelles-rayonnements-ionisants-france>

**[3]** IRSN (2012). « *Différents rayonnements ionisants : alpha, bêta, gamma* ». Consulté le 15/01/2023.

Disponible sur <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/sante/differents-rayonnements-ionisants-alpha-beta-gamma?dId=b58d9f9a-7224-425b-a349-1eccb3166958&dwId=a8593a58-4f24-4ffe-859f-89528a4e1579#.Y9eH1C3pNQI>

**[4]** Landauer « *Quels sont les différents rayonnements ionisants ?* ». Rubrique médiathèque > base des connaissances. Consulté le 14/05/2023.

Disponible sur <https://www.landauer-fr.com/mediatheque/base-de-connaissance/quels-sont-les-differents-rayonnements-ionisants/>

**[5]** Röntgen, W. C. (1896). Ueber eine neue Art von Strahlen. Sitzungsberichte der Physikalisch-Medicinischen Gesellschaft zu Würzburg,

Disponible sur <https://archive.org/details/27Rntgen/page/n3/mode/2up>

**[6]** Jean-Jacques Samuëli (2009) « *La découverte des rayons X par Röntgen* », Bibnum, Physique. Consulté le 15/01/2023.

Disponible sur <http://journals.openedition.org/bibnum/714>

**[7]** Debré, P. (2015). « *Avec les rayons X et la radiologie, Röntgen bouscule le monde* ». L'Humanité. Consulté le 15/01/2023.

Disponible sur <https://www.humanite.fr/culture-et-savoirs/sciences/avec-les-rayons-x-et-la-radiologie-rontgen-bouscule-le-monde-588964>

**[8]** J.-F. Chateil, B. Aubert, H. Brisse (2010) « *Ordre de grandeur des doses délivrées en radiodiagnostic* », Journal de radiologie, volume 91, Issue 11, Part 2, Pages 1192-1200.

**[9]** AFCN (2020). « *Applications médicales des rayonnements ionisants* ». Consulté le 15/01/2023.

Disponible sur <https://afcn.fgov.be/fr/dossiers/applications-medicales/applications-medicales-des-rayonnements-ionisants>

**[10]** INRS (2022). Rubrique Rayonnements ionisants « *Effets sur la santé des rayonnements ionisants* ». Consulté le 15/01/2023

Disponible sur <https://www.inrs.fr/risques/rayonnements-ionisants/effets-sur-la-sante.html>

- [11] IRSN (2021). Bilan 2014-2019 « *Exposition de la population française aux rayonnements ionisants* ». p22. Consulté le 15/05/2023.  
Disponible sur [https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/actualites\\_presse/communiqués\\_et\\_dossiers\\_de\\_presse/IRSN\\_Rapport%20EXPOP\\_def.pdf](https://www.irsn.fr/sites/default/files/documents/actualites_presse/communiqués_et_dossiers_de_presse/IRSN_Rapport%20EXPOP_def.pdf)
- [12] Legifrance (2006). « *Arrêté du 22 septembre 2006 relatif aux informations dosimétriques devant figurer dans un compte rendu d'acte utilisant les rayonnements ionisants* ». Consulté le 15/01/2023.  
Disponible sur <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000608231>
- [13] IRSN (2012). « *Les concepts de dose* ». Consulté le 26/01/2023.  
Disponible sur <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/dialogue-pedagogie/concepts-dose#.Y-naRC3pNQI>
- [14] ASN (2020) ; Rapport de l'ASN sur l'état de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France en 2020, Chapitre 01 « *Activités nucléaires : rayonnements ionisants et risques pour la santé et l'environnement* » pages 102-109.
- [15] IRSN (2012) ; Rubrique Santé « *Les conséquences des rayonnements ionisants* ». Consulté le 30/01/2023.  
Disponible sur [https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/sante/consequences-rayonnements-ionisants#.Y\\_R8PC3pNQI](https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/sante/consequences-rayonnements-ionisants#.Y_R8PC3pNQI)
- [16] ASN (2021) ; Rubrique dossier pédagogique « *Les effets des rayonnements ionisants* ». Consulté le 30/01/2023.  
Disponible sur <https://www.asn.fr/l-asn-informe/dossiers-pedagogiques/les-effets-des-rayonnements-ionisants>
- [17] INRS (2006) ED 958 : « *Les rayonnements ionisants. Prévention et maîtrise des risques* ».
- [18] B. Le Guen, R. Masse (2007) « *Effets des faibles doses des rayonnements ionisants* ». EMC (Elsevier Masson SAS, 1466 Paris), Toxicologie - Pathologie professionnelle.
- [19] S. Wassilief publié en ligne par The Cambridge University Press (2009) « *Cataracte et rayonnements ionisants* ». Radioprotection, Volume 44, Issue 4, PP. 505-517.
- [20] Institut de Veille Sanitaire - Étude RIMED (2008) « *Rayonnements ionisants en milieu médical* » Étude de faisabilité - Rapport final, 23 p.  
Disponible sur [www.invs.sante.fr](http://www.invs.sante.fr)
- [21] Denis Bard, Benoît Lévesque, Philippe Pirard, Philippe Hubert, Pierre Verger (2003) « *Rayonnements ionisants* ». Chapitre 17, p. 463-477.
- [22] T. Roué, D. Crescini, H. Baysson, S. Caër-Lorho, P. Scanff, D. Laurier, S. Jacob, M.O. Bernier (2015) « *Étude du risque de cancer radio-induit chez les professionnels de santé : mise en place de la cohorte O'RICAMs* ». Publié par Elsevier Masson SAS.

- [23] IRSN (s.d.) “*BECOME (Brain CancEr risk in joint cOhort of MEdical workers exposed to Ionizing radiation in France, Korea and USA)*”. Publié sur Health Data hub.
- [24] Ariel Roguin, Jacob Goldstein, Olivier Bar, James A Goldstein (2013) “*Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures*”. Publié sur PubMed.
- [25] André Rose, William I De Rae, Margaret A Sweetlove, Lumko Ngetu, Mohamed A Benadjaoud, Wayne Marais (2022) “*Radiation induced cataracts in interventionalists occupationally exposed to ionising radiation*”. Publié sur Pubmed.
- [26] Marie-Odile Bernier, Neige Journy, Daphnee Villoing, Michele M. Doody, Bruce H. Alexander, Martha S. Linet, Cari M. Kitahara (2017) “*Cataract Risk in a Cohort of U.S. Radiologic Technologists Performing Nuclear Medicine Procedures*”. Publié sur Pubmed.
- [27] INRS (2022) « *Suivi de l'état de santé des travailleurs* ». Rubrique Risques > Rayonnements ionisants. Consulté le 23/02/2023.  
 Disponible sur <https://www.inrs.fr/risques/rayonnements-ionisants/suivi-etat-sante-travailleurs.html>
- [28] D. Beninson, J. D. Boice Jr, R. Cox, Didcot, L.-E. Holm, L. A. Ilyin etc... (2000) Annals of the ICRP ; PUBLICATION 84 “*Pregnancy and Medical Radiation*”. Volume 30 No.1.
- [29] IRSN (s.d.) “*Santé et radioprotection*”. Rubrique savoir et comprendre > santé. Consulté le 13/03/2023.  
 Disponible sur <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/sante/sante-radioprotection>
- [30] ASN (2022) « *Les missions de l'ASN* ». Rubrique présentation de l'ASN. Consulté le 23/03/2023.  
 Disponible sur <https://www.asn.fr/tout-sur-l-asn/presentation-de-l-asn/les-missions-de-l-asn>
- [31] IRSN (s.d.) « *Santé* ». Consulté le 23/03/2023.  
 Disponible sur <https://www.irsn.fr/sante>
- [32] IRSN (s.d.) « *Crise* ». Consulté le 23/03/2023.  
 Disponible sur <https://www.irsn.fr/crise>
- [33] ICRP (s.d.) « *Governance* ». Rubrique about ICRP. Consulté le 23/03/2023.  
 Disponible sur <https://www.icrp.org/page.asp?id=3>
- [34] Code de la santé publique (s.d.) « *Section 1 : Mesures générales de protection de la population contre les rayonnements ionisants. (Articles R1333-1 à R1333-27)* ». Consulté le 23/03/2023.  
 Disponible sur [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006072665/LEGISCTA00006178514/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072665/LEGISCTA00006178514/)
- [35] Code de la santé publique (2001) « *Décret n° 2001-1154 du 5 décembre 2001 relatif à l'obligation de maintenance et au contrôle de qualité des dispositifs médicaux prévus à l'article L. 5212-1* ». Consulté le 23/03/2023.  
 Disponible sur <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000222766>



- [36] Code du travail (s.d.) « *Chapitre 1er : Prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants (Articles R4451-1 à R4451-137)* ». Consulté le 23/03/2023.  
Disponible sur [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section\\_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA000018491125/2023-03-23/](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/section_lc/LEGITEXT000006072050/LEGISCTA000018491125/2023-03-23/)
- [37] ASN (2013) – Fiche d'information du public n°2 « *Les principes de la radioprotection* ». Consulté le 23/03/2023.  
Disponible sur <https://www.asn.fr/l-asn-informe/publications/fiches-d-information-du-public/les-principes-de-radioprotection>
- [38] INRS (2007) ; Pratique et déontologie « *Le réseau ALARA européen ; Support et vecteur de l'optimisation de la radioprotection en Europe* ». Documents pour le Médecine du travail N° 111.
- [39] Jean-Pierre Servent, Christine Gauron, Marie-Hélène Boulay (2005) ; INRS « *Les rayonnements ionisants ; Prévention et maîtrise du risque* ». ED 958.
- [40] Centre National de la Recherche Scientifique (s.d.) « *Le zonage* ». Fiche 8. Les Cahiers de préventions. Guide risques radioactifs et radioprotection p. 100-101.
- [41] Journal officiel de la république française (2020) « *Arrêté du 28 janvier 2020 modifiant l'arrêté du 15 mai 2006 modifié relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones surveillées et contrôlées et des zones spécialement réglementées ou interdites compte tenu de l'exposition aux rayonnements ionisants, ainsi qu'aux règles d'hygiène, de sécurité et d'entretien qui y sont imposées* ». Consulté le 04/04/2023  
Disponible sur <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041513554/>
- [42] ASN (2021) « *Principales dispositions réglementaires de radioprotection : Applicables en radiologie médicales et dentaire* ».
- [43] IRSN (2018) « *Modalités de surveillance de l'exposition des travailleurs* ». Savoir comprendre > rubrique santé. Consulté le 04/04/2023.  
Disponible sur <https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/sante/modalites-surveillance-exposition-travailleurs>
- [44] Code du travail (2018) « *Sous-section 1 : Valeurs limites d'exposition (Articles R4451-6 à R4451-9)* ». Consulté le 04/04/2023  
Disponible sur [https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article\\_lc/LEGIARTI000037024991](https://www.legifrance.gouv.fr/codes/article_lc/LEGIARTI000037024991)
- [45] The Radiological Society of North America (2022) « *Professions in Interventional Radiology* ». p.1-3.
- [46] Ministère de la santé et de la prévention (2012) « *Manipulateur en électroradiologie médicale* ». Consulté le 05/04/2023.  
Disponible sur <https://sante.gouv.fr/metiers-et-concours/les-metiers-de-la-sante/les-fiches-metiers/article/manipulateur-en-electroradiologie-medicale>
- [47] Eisenhower health (2022) "*Interventional Radiology RN (Nurse) Job Description*". Consulté le 05/04/2023.

Disponible sur <https://careers.eisenhowerhealth.org/radiology-tech-positions/interventional-radiology-rn-job-description/>

**[48]** ONISEP (s.d.) « Ingénieur / Ingénieur d'application ». Consulté le 05/04/2023.  
Disponible sur <https://www.onisep.fr/ressources/Univers-Metier/Metiers/ingenieur-ingenieure-d-application>

**[49]** EDM : Medical imaging (2018) « Radioprotection : quelles solutions pour éviter une surexposition ? ». Consulté le 10/04/2023.  
Disponible sur <http://www.edm-imaging.com/solutions-pour-eviter-surexposition-en-radioprotection>

**[50]** XRay store (s.d.) « Tabliers plombés pour radiologie ». Consulté le 10/04/2023.  
Disponible sur <https://www.xraystore.fr/594-tabliers-plombes>

**[51]** Flávio Augusto, Penna Soares, Aline Garcia Pereira, Rita de Cássia Flôr (2011) « Utilization of radiation protection gear for absorbed dose reduction: an integrative literature review ».

**[52]** Edm medical imaging (2018) « Pourquoi et comment se protéger les mains des rayons ionisants ? ». Consulté le 10/04/2023.  
Disponible sur <http://www.edm-imaging.com/comment-et-pourquoi-se-protoger-les-mains-des-rayons-ionisants>

**[53]** Quinn C. Meisinger, Cosette M. Stahl, Michael P. Andre, Thomas B. Rinney, Isabel G. Newton (2016) « Radiation protection for the Fluoroscopy operator and staff. Vascular and interventional radiology - Review.

**[54]** OrionFrance (2021) « Champs opératoire anti-X ». Consulté le 15/04/2023.  
Disponible sur [https://www.orion-france.com/medecine\\_nucleaire/radioprotection\\_accessoires\\_champs-operatoire\\_anti-x.html](https://www.orion-france.com/medecine_nucleaire/radioprotection_accessoires_champs-operatoire_anti-x.html)

**[55]** G Emmett Lynskey 3rd, Daniel K Powell, Robert G Dixon, James E Silberzweig (2013) « Radiation protection in interventional radiology: survey results of attitudes and use »

**[56]** S.A. Cremen, J.P. McNulty (2014) « The availability of appropriately fitting personal protective aprons and jackets for angiographic and interventional radiology personnel ». Radiography. Volume 20. Issue 2. P. 126-130.

**[57]** IRSN (2019) « Assurer la surveillance de l'exposition externe des travailleurs ». Consulté le 15/04/2023.  
Disponible sur <https://www.irsn.fr/page/assurer-la-surveillance-de-lexposition-externe-des-travailleurs>

**[58]** IRSN (2020) « Le dosimètre bague TLD ». Consulté le 15/04/2023.  
Disponible sur [https://dosimetrie.irsn.fr/fr-fr/Documents/Fiches%20produits/IRSN\\_Fiche\\_dosimetre\\_bague.pdf](https://dosimetrie.irsn.fr/fr-fr/Documents/Fiches%20produits/IRSN_Fiche_dosimetre_bague.pdf)

**[59]** IRSN (2020) « Le dosimètre cristallin dosiris ». Consulté le 15/04/2023.  
Disponible sur [https://dosimetrie.irsn.fr/fr-fr/Documents/Fiches%20produits/IRSN\\_Fiche\\_dosimetre\\_Cristallin.pdf](https://dosimetrie.irsn.fr/fr-fr/Documents/Fiches%20produits/IRSN_Fiche_dosimetre_Cristallin.pdf)

**[60]** Centre National de la Recherche Scientifique (s.d.) « *La dosimétrie passive et active (opérationnelle)* ». Fiche 11. Les Cahiers de préventions. Guide risques radioactifs et radioprotection p. 104-106.

**[61]** Geneviève Abadia Benoist, Sandy basile, Christine Gauron, NathAlie Guillemy, Patrick Moureaux, Yann Billarand, Alain Rannou, Pascale Scanff, Jean- Pierre Vidal (2014) « *Rôle et missions de la personne compétente en radioprotection (pcr) – accès aux données dosimétriques* ». Hygiène et sécurité du travail – n°235.

**[62]** A. Housni, O. ES-Samssar, B. Saoud, N. El Amrani, M. Malou, K. Amazian, A. Essahlaoui, A. Labzour (2023) « *Radiation protection in the operating room: Need for training, qualification and accompaniment for the professionals* ». Volume 58. No 1. P. 37-42.

**[63]** Blanchet et Gotman (2013) “*L’entretien*” p99-100

## **ANNEXES**

### **Annexe 1 : Questionnaire**

#### **Présentation générale**

1. Quel métier exercez-vous ?
  - Infirmier(e)
  - Médecin
  - Manipulateur(rice) en radiologie médical
  - Ingénieur(e) interventionnel(le)
  
2. Exercez-vous dans le milieu public ou privé ?
  - Public
  - Privé
  
3. Dans quelle structure exercez-vous ?
  - CHU
  - CHR
  - Clinique privé
  - Cabinet privé
  - Laboratoire
  
4. Depuis quand exercez-vous ?
  - Moins de 5 ans
  - Entre 5 ans et 10 ans
  - Entre 10 et 20 ans
  - Plus de 20 ans

#### **Les rayonnements X**

5. Êtes-vous en contact avec les rayonnements X ?
  - Oui
  - Non
  
6. Si oui, à quelle fréquence ?
  - Quotidienne (tous les jours)
  - Hebdomadaire (moins de 2/3 fois par semaine)
  - Mensuelle (moins de 10 fois par mois)
  - Autre
  
7. Connaissez-vous les risques de l'exposition aux rayonnements X ?
  - Oui
  - Non
  
8. Si oui, quels sont les principaux risques liés à une surexposition des rayonnements X ?  
.....

## **La radioprotection**

9. Savez-vous à quoi correspond le principe de radioprotection ALARA ?
- Oui
  - Non
10. Savez-vous à quoi correspond le principe de radioprotection TED (Temps, Écran, Distance) ?
- Oui
  - Non
11. Les appliquez-vous dans votre quotidien ?
- Oui
  - Non
12. Quels moyens sont mis à votre disposition dans votre structure pour vous protéger / en prévention des rayonnements X ?
- Tablier plombé
  - Cache thyroïde
  - Lunette plombé
  - Paravent plombé
  - Dosimètres actif / opérationnel
  - Dosimètre passif
  - Dosimètre bague
  - Autre
13. Avez-vous eu une formation sur la radioprotection depuis que vous exercez ?
- Oui
  - Non
14. Si oui, combien de formation(s) et à quelle fréquence ?
- .....
15. Pensez-vous être assez informé(e) sur la radioprotection et sur les risques liés aux rayonnements X ?
- Oui
  - Non

## **Lorsque vous êtes en salle pendant l'examen**

16. Utilisez-vous le tablier plombé ?

- Oui
- Non

Si non, pourquoi ?

.....

17. Utilisez-vous le cache thyroïde ?

- Oui
- Non

Si non, pourquoi ?

.....

18. Utilisez-vous le dosimètre passif ?

- Oui
- Non

Si non, pourquoi ?

.....

19. Utilisez-vous le dosimètre actif ?

- Oui
- Non

Si non, pourquoi ?

.....

20. Accordez-vous de l'importance à la radioprotection en générale ?

- Oui
- Non
- Autre

21. Quels moyens de préventions / protections aimeriez-vous que votre organisation mette à votre disposition ?

**Si vous avez des recommandations, suggestions, n'hésitez pas.**

.....

**Merci pour votre participation.**

## Annexe 2 : Guide d'entretien

RUBRIQUES	QUESTIONS
<b>PRESENTATION</b>	Je m'appelle Madjidi Fatima et je suis en 2 <sup>ème</sup> année de Master Healthcare Business à ILIS à Lille. L'objectif de mon étude est de mieux comprendre les comportements des travailleurs exposés aux rayonnements x en milieu hospitalier, dans le cadre de mon mémoire de fin d'études.
<b>THEME 1 : Connaissances sur les rayonnements X</b>	Pouvez-vous vous présenter ? Quel métier exercez-vous ? Depuis quand exercez-vous ? Dans quelle structure exercez-vous ? Pouvez-vous me parler de votre exposition de votre exposition aux RX. Connaissez-vous les risques des RX ? Pouvez-vous me parler des principaux organismes de radioprotection ? Leurs rôles ? En situation d'urgence, suite à une surexposition des RX, savez-vous la démarche à effectuer ? Avez-vous une idée de la dose maximale de rayonnement X à laquelle vous pouvez être exposé sans risque pour votre santé ? Selon vous, quelles sont les précautions à prendre pour éviter les risques d'exposition aux rayonnements X ? Les mettez-vous en pratique ?
<b>THEME 2 : La perception de la radioprotection</b>	Avez-vous reçu une formation sur la radioprotection ? Comment se passe votre visite chez la médecine du travail ? Avez-vous un retour de votre dose trimestrielle ? Vous intéresse-t-elle ? Quels sont les moyens de protection que vous utilisez quotidiennement pour limiter l'exposition aux rayonnements X ? Comment vous vous comportez lorsque vous êtes en salle en contact avec les rayonnements x ? Si vous avez une question sur la radioprotection en général et les risques, à qui vous vous adressez ? Comparé à votre début de carrière, est ce que vous vous comportez de la même manière face à une exposition aux RX ?
<b>THEME 3 : Axes d'amélioration</b>	Avez-vous des recommandations à faire pour améliorer la sécurité et la radioprotection dans votre environnement de travail ?

	Avez-vous des changements / améliorations que vous aimeriez que votre établissement fasse pour améliorer votre sécurité face aux RX ?
--	---



### **Annexe 3 : Entretien de Mme S retranscrit**

**Pouvez-vous vous présenter ?**

*« Je m'appelle Mme S, je suis ingénieure CRM chez Microport depuis 4ans. Et je fais beaucoup de bloc, un petit peu de consult mais beaucoup de bloc. »*

**A peu près combien de bloc par semaine ?**

*« 1 à 2 fois par jour en moyenne du bloc. »*

**Les blocs durent à peu près combien de temps ?**

*« Les blocs ils durent entre 1h et 3h pour les plus complexes avec effectivement des rayons ou pas en fonction des procédures. »*

**Quand tu es au bloc opératoire, tu es en contact avec les RX ou tu es derrière le paravent ?**

*« Non on est au contact avec les patients. On est plutôt au niveau des pieds. On n'est pas forcément très proche de la source mais on est quand même à proximité, oui. »*

**Connais-tu les risques des RX ?**

*« Alors j'ai connu les risques. Je sais qu'effectivement il faut éviter après en détail je ne les connais pas. »*

**Est-ce que tu peux me parler des principaux organismes de radioprotection ? Si tu en connais ?**

*« Les principaux ? »*

**Oui les principaux organismes qui s'occupent de la radioprotection ?**

*« Non, non. »*

**Tu n'as pas du tout cette notion-là ?**

*« Non pas du tout. »*

**On ne te les a jamais appris ?**

*« Non. »*

**En situation d'urgence, suite à une surexposition des RX, sais-tu la démarche à effectuer ?**

*« Non aucune idée. »*

**Est-ce que tu as une idée de la dose maximale de rayonnement X à laquelle tu peux être exposé sans risque pour ta santé ?**

*« Alors c'est ..... 1msV/an .... Micro. » (moment d'hésitation)*

**Je pense qu'on est considéré comme étant dans la catégorie B, et c'est donc 6msv. 1msv c'est pour la femme enceinte.**

*« D'accord, j'avais ce souvenir là de la formation d'il y a 4ans. »*

**Du coup, tu ne connais pas la dose au cristallin, aux extrémités, etc. ?**

*« Non. »*

**Tu savais qu'il y avait cette notion de**

*« Une dose cumulée par oui. »*

**Une dose pour certaine partie du corps ?**

*« J'avais en général mais pas en détaillé. »*

**Selon toi, quelles sont les précautions à prendre pour éviter les risques d'exposition aux rayonnements X ?**

*« Tablier de plomb, lunette plombé, euhhhh distance. »*

**C'est pas forcément ce que toi tu utilises c'est ce dont tu as connaissance.**

*« Euhh il y a des vitres aussi, il y a des systèmes qui existent pour éviter d'avoir un tablier plombé euuuuh. »*

**Elle sont faites en quoi les vitres ?**

....

**Tu as cette notion en tête ?**

*« Non non je ne sais pas et sinon s'éloigner un maximum de la source oui quand il y a des tirs. Le temps d'exposition qui doit également jouer euh voilà dans la pratique. »*

**Est-ce que tu mets en pratique tout ce que tu viens de me citer ?**

*« Alors je ne mets pas les lunettes, il y a le cache thyroïde que j'ai oublié. »*

**Tu l'utilises ou pas ?**

*« Que je n'utilise pas. »*

**Jamais ?**

*« Non mais ça par soucis de ... logistique en tant que nomade, je me balade pas avec alors c'est pas si lourd que ça mais ça prend de la place alors j'en ai pas avec moi. J'utilise les tabliers plombés qui sont dans les centres. »*

**Tu penses quoi des tabliers plombés présents dans les centres ?**

*« Ca dépend, il y a des tablier qui sont dans un état .... Qui sont très froissés. On a pas l'impression encore que ce soit très opaque et d'autres qui sont en bon état après ça dépend ce qu'il y a, on fait avec. »*

**Et en termes de taille aussi, je suppose que c'est la même chose ?**

*« Il y a souvent des grands pour essayer de pallier à toutes les corpulences bon après c'est une question de poids. »*

**Donc t'y penses mais c'est que tu n'as pas envie de le mettre ?**

*« Euhh bah euhh peut-être que je m'estime assez loin, j' imagine que le risque est moins important pour moi que pour les médecins qui pratiquent. Il y a peut-être de ça dans ma réflexion. »*

**Comment tu te comportes lorsque tu es en salle en contact avec les rayonnements x ?**

*« Quand je peux être loin, je suis assez loin. Je dois être à ..... au quotidien quand j'ai pas besoin d'être à la tête du patient je peux être à 1m/2m. Mais il y a des moments où effectivement, je suis vraiment juste à côté parce qu'il faut que je fasse quelque chose au moment où l'on tire mais globalement je suis quand même assez loin. »*

**Tu y penses à tout ça quand t'es au bloc opératoire ?**

*« J'essaie. Quand je suis pas en train de faire autre chose et que je peux me rendre compte qu'ils sont en train de tirer j'essaie de m'éloigner un petit peu oui. »*

**Et dans ta profession est-ce que tu peux te permettre de te mettre derrière le paravent plombé ?**

*« Ca dépend des salles. Ca dépend du patient. Ca dépend de la procédure mais il y a quand même certaines salles où on peut s'éloigner. Si vraiment c'est un bloc long et il y a plusieurs tirs et j'ai pas d'intérêt à être près du patient, je vais me mettre derrière les ordinateurs, derrière les vitres ça arrive. Ca dépend des circonstances. »*

**Est-ce que tu connais d'autres moyens de protection qui sont plombés et qui sont présents dans la salle pour te protéger ?**

*« A part les vitres portables que les médecins utilisent parfois pour se protéger sur des procédures longues avec beaucoup de rayons euh dans les salles je vois pas bien, non. »*

**Tu n'as jamais vu par exemple un paravent plombé mobile présent dans la salle ?**

*« Si il y en a quelques-uns oui. Qui sont souvent mis en place devant du personnel vers les anesthésistes ou vers le personnel infirmier s'il est vraiment dans la salle. C'est déjà souvent près d'eux .....ils en profitent. »*

**Est-ce que tu as déjà reçu une formation sur la radioprotection ?**

*« Alors oui j'en ai reçu une à mon arrivée chez Microport. Euh ça fait donc 4 ans et demi donc on nous avait fait une présentation sur les risques, ce qu'on pouvait faire, explication sur le matériel pour nous protéger. Alors on avait passé commande de ce matériel à l'occasion de cette formation. »*

**C'était quoi comme matériel ?**

*« Lunette plombée, dosimètre, et le tablier expliquer qu'il faut le mettre au bloc etc. euh les souvenirs de cette formation sont lointains à part ce qu'on pratique tous les jours. Euhhh j'ai oublié une grande partie. »*

**Tu en as pensé quoi de la formation ?**

*« Je l'ai trouvée complète à mon niveau euh la seule chose qui manque par rapport à cette formation c'est d'avoir des rappels. Remettre un peu ce qu'il en est et qu'on évite d'oublier. En tout cas moi je sais que j'ai oublié. »*

**T'aimerais avoir des formations à quelle fréquence ?**

*« Tous les 2-3ans ça ne me choque pas après on a la médecine du travail qui aborde un peu le sujet mais ça reste très très rapide. »*

**Est-ce qu'il y a une personne dans ton entreprise qui s'occupe de la radioprotection ?**

*« On a un référent radioprotection dans l'entreprise avec notamment ... c'est la personne qui nous faisait la formation quand je suis arrivée, qui gère le matériel, les lunettes plombées, les dosimètres et qui dispensait à l'époque des formations. »*

**Et tu en as déjà discuté avec elle de ton souhait d'avoir plus de formations ?**

*« Non je lui en ai pas parlé parce ce qu'on se croise pas. »*

**En parlant de la médecine du travail, comment tes visites se passent ?**

*« Les risques sont abordés ça fait partie des risques qui sont pris en compte dans notre métier et on fait des examens chez l'ophtalmo pour vérifier le cristallin euh et voir s'il y a évolution. »*

**Est-ce que tu le fais vraiment cet examen ?**

*« Je l'ai fait la première année et non parce que je conduisais après et ils ont pas pu me faire l'examen. Et la seconde fois c'était pareil, je devais conduire après on a pas pu me faire le fond de l'œil. »*

**Tu n'as pas fait cet examen finalement ?**

*« J'ai déjà fait des examens mais sans doute pas assez poussé pour le cristallin car il faut être dans des conditions particulières lors de cette examen et prévoir de ne pas venir en voiture. »*

**Est-ce que la médecine du travail te donne des conduites à tenir lorsque tu es en présence des RX ?**

*« Je pense qu'ils abordent la distance et qu'ils se posent la question si on porte le tablier plombé ou non. Et ça s'arrête là. C'est assez rapide, c'est abordé mais très rapidement je pense. »*

**Est ce qu'elle aborde aussi le fait est que le tablier est lourd et peut causer des problèmes de dos ?**

*« Euh non pas tant que ça, il ne me semble pas. »*

**Tu aimerais bien qu'elle aborde ce sujet ? fin toi le tablier c'est ok c'est pas si lourd que ça, qu'est-ce que tu en penses ?**

*« Alors moi je lui en parle spontanément parce que j'ai des problèmes de dos, mais oui le sujet a finis par être abordé. C'est pas elle qui l'a abordé mais je crois en avoir parlé. Je pense que dans la routine d'eux même ils en parlent pas forcément. »*

**T'aimerais bien qu'ils abordent le sujet spontanément ?**

*« Ca me semble plutôt logique oui. »*

**Et tu penses avoir une différence au niveau de tes douleurs de dos ? Est-ce que tes douleurs ce sont accentuées depuis que tu as pris ce poste chez Microport ?**

*« Euuuuuhh alors au long terme au quotidien je le vois pas par contre, quand je suis au bloc et que je porte le tablier, je le sens. Après ça dépend toujours des jours mais il y a des jours où je sens que ça tire encore plus d'autres où ça va. »*

**Est-ce que tu as un retour de ta dose trimestrielle ?**

*« Non. »*

**Est-ce qu'elle t'intéresse ?**

*« Oui j'aimerais bien l'avoir. Je sais qu'à priori, ça m'est jamais arrivée, mais j'avais entendu qu'on devait être alerté s'il y avait un dépassement de dose mais en tout cas en ce qui me concerne j'ai jamais eu de retour sur les doses qui avaient été enregistrées trimestriellement sur les dosimètres. »*

**En parlant du dosimètre, est ce que tu le portes régulièrement ?**

*« Euuuh alors je l'ai porté quotidiennement au début. »*

**Au début, c'est-à-dire ?**

*« Pendant les 2-3 premières années et là par soucis de logistique oui parce que je récupère le dosimètre, je le mets dans mon sac à main et j'ai pas mon sac à main au bloc donc je me dis tant pis pour cette fois et j'y pense pas la fois suivante. Donc là c'est vrai que ça fait 1ans que je suis moins assidue pour le porter que je dirais plus que je le porte pas que je le porte. Mais c'est juste une question de logistique. Si je l'ai avec moi je le porte c'est pas*

*contraignant pour moi donc je le fais. C'est juste la question de l'avoir au moment où je suis au bloc. »*

**Et si tu avais des formations plus souvent, ça te motiverait à plus le porter ?**

*« Je ne pense pas parce que c'est juste vraiment une question de logistique, je l'ai pas donc je ne le mets pas. Je suis consciente des risques si je l'ai je le mets. Mais c'est juste une belle question de penser à le mettre au bon endroit pour pouvoir l'avoir au moment où il faut. »*

**T'as déjà abordé ce problème pour essayer de trouver une solution ?**

*« Non car c'est juste un problème avec moi-même de me décider à le faire, ce que j'ai toujours pas fait. Là par exemple je ne sais pas où il est si il est dans mon sac à main ou pas. »*

**Est-ce que tu respectes le change du dosimètre trimestriel ?**

*« Alors j'ai changé en février ou mars donc le mien doit plus être valable d'ailleurs. Je ne sais plus. Mais comme je ne sais pas où je l'ai mis, je ne suis pas consciente de la date et du coup je ne vais pas chercher le nouveau. Ce que je faisais beaucoup au début, ponctuelle mais là j'avoue que je ne suis plus trop le timing des dosimètres. »*

**Tu avais la notion des autres types de dosimètre ?**

*« Oui il y a celui qu'on fixe sur les lunettes. Qu'on nous met à notre disposition mais que je n'ai jamais pris car je n'ai pas de lunette et j'aurais peur de le perdre . »*

**Et ils te fournissent les lunettes ?**

*« Oui elles peuvent être fournies ils te les commandent directement. »*

**Tu as notion d'autres dosimètres à part celui que tu viens de me citer ?**

*« Après il y a les dosimètres opérationnels au bloc auxquels on peut accéder. »*

**Ca t'est déjà arrivé de les utiliser ? de te proposer de les utiliser ?**

*« On m'a déjà proposé de le faire oui. »*

**Ca t'arrive souvent ?**

*« En l'occurrence, c'était un audit de RP, ce jour-là alors on m'a dit voilà il faudra le mettre. »*

**Donc c'était un cas exceptionnel ?**

*« Oui c'était un cas exceptionnel euuuuh ils sont souvent disponibles alors peut-être pas toujours mais il y en a quand même très souvent dans les blocs après j'avoue m'y être jamais intéressée en soit on va droit au but. »*

**Question de logistique, de timing ?**

*« Peut-être mais c'est surtout encore une fois une réflexion par rapport on se dit, fin c'est ce que je me dis peut-être mais je suis pas tant à risque que ça avec le tablier, la distance et que ..... oui peut-être m'embêter avec le dosimètre opérationnel c'est pas... »*

**Mais du coup c'est une réflexion personnelle, t'as pas eu de professionnel derrière qui t'as dit voilà c'est pas nécessaire ?**

*« Non, non du tout. »*

**En fait c'est ta vision des choses ?**

*« Non non non de mon souvenir on nous avait dits pendant la formation dans la société avec la référente que c'était disponible et qu'il fallait les mettre mais en pratique on, fin en tout cas moi je le mets pas. J'en ai jamais mis un à part durant l'audit. »*

**Quels sont les moyens de protection que tu utilises quotidiennement pour limiter l'exposition aux rayonnements X ? ça on en a déjà parlé un petit peu avant.**

*« Oui donc tablier de plomb et dosimètre quand je l'ai avec moi. »*

**Pour les protections du corps, tu utilises quel type, le tablier ou jupe + gilet ?**

*« Quand je peux je prends jupette et gilet pour le dos. »*

**Pour quelle raison ?**

*« Parce que ça repartit le poids. Pour pas avoir tout sur les épaules. Pour avoir une partie sur les hanches et une partie sur les épaules. »*

**Et généralement, qu'est-ce qui est disponible dans les hôpitaux ?**

*« Ca dépend, il y a des hôpitaux, où il y a les deux mais les jupettes et les gilets sont nominatifs donc faut qu'on fasse aussi avec ça. »*

**Et est-ce que tu aimerais qu'on te mette à disposition un tablier plombé seulement à toi ?**

*« L'idée elle est séduisante après c'est la question du transport. C'est lourd et on est déjà bien chargé dans notre métier c'est séduisant si je pouvais le téléporter d'un centre à l'autre et ne pas avoir à le porter après en pratique j'ai déjà du mal à avoir mon dosimètre avec moi donc je pense que je n'aurais pas mon tablier, le jour où il faut. »*

**Si tu as une question sur la radioprotection en générale et les risques, à qui tu t'adresses ?**

*« Je pense que je demanderais à la référente de la société. »*

**Et ça t'est déjà arrivé de la solliciter ?**

*« Euuuh non non même si j'ai oublié des choses, c'est pas important au point de la solliciter même si je suis consciente des risques. »*

**Comparé à ton début de carrière, est-ce que tu te comportes de la même manière face à une exposition des RX ? tout à l'heure tu m'as dit que c'était différent.**

*« Effectivement, je porte moins le dosimètre, quasiment plus, je vais peut-être m'y mettre. Après sur l'éloignement que je mets avec la source euh ça j'ai fait attention dès le début et j'ai pas trop changé là-dessus, je mets toujours mon tablier de plomb mais je sais qu'il y a des infirmiers qui ne les mettent pas en prétextant qu'ils sont assez loin et que ça sert à rien j'en suis jamais arrivée là euh non je fais attention. »*

**Est-ce que peux aborder le sujet de la grossesse ?**

*« Oui bien-sûr. »*

**Si tu apprenais que tu étais enceinte, que ferais-tu ?**

*« La référente RP a été très claire à ce sujet, elle nous a beaucoup alertées à ce sujet. En plus, on était que des femmes lorsqu'on a fait la formation alors elle a largement abordé le sujet et donc la procédure c'est que je me dirigerai vers la référente, de lui expliquer ma situation, et si je ne souhaite pas le faire moi-même, elle pourrait s'adresser directement à mon responsable pour lui demander de plus m'adresser au bloc en tout cas les blocs où il y a la scopie. Faire éventuellement des consultations. Personnellement je refuse de prendre un risque là-dessus. Si je suis enceinte j'arrêtera immédiatement les blocs. »*

**Pour conclure est-ce que tu as des recommandations à faire pour améliorer la sécurité et la radioprotection dans ton environnement de travail ?**

*« Oui, je pense qu'il y a un travail à faire sur les centres sur les plombs. Pour certains on a l'impression qu'ils ont 20ans , qui ne tiennent plus leurs formes. Pourquoi pas les remplacer de manière plus régulière. Il doit y avoir les règles la dessus mais je ne sais pas si elles sont toujours respectées. Et également augmenter le nombre de formation pour les personnes qui aimerait en faire plus. »*

La radioprotection en milieu hospitalier : un principe toujours respecté par les professionnels de santé ?

La **radioprotection** du personnel soignant en milieu hospitalier est un enjeu crucial pour garantir la sécurité et la santé des travailleurs exposés aux **rayonnements x**. Cependant, malgré l'importance de ces **mesures de protection**, il est constaté que leur respect et leur application ne sont pas toujours optimaux. Certains professionnels de santé peuvent négliger l'utilisation des équipements de protection individuelle (EPI) tels que les caches thyroïdes et les dosimètres, ou manquer de formations liées à la radioprotection. Ces constats ont été obtenus à l'aide d'un questionnaire à l'encontre du personnel soignant, principalement les ingénieurs interventionnels et les manipulateurs en électroradiologie. Puis de trois entretiens pour enrichir mes réponses. Grâce à ces enquêtes, j'ai pu identifier les facteurs qui peuvent influencer le comportement du **personnel soignant** à l'exposition aux rayonnements X. Comprendre ces facteurs est essentiel pour établir des mesures efficaces de radioprotection.

En identifiant ces **facteurs**, il est possible de développer des **stratégies** ciblées visant à sensibiliser, former et motiver le personnel soignant, à adopter des pratiques sécuritaires et à respecter les règles de la radioprotection. Et aux structures, à mettre en place un environnement propice aux bonnes pratiques.

Mots-clés : **radioprotection, rayonnement x, mesures de protection, personnel soignant, facteurs, stratégies**

---

**Radiation protection** of healthcare workers in hospitals is a crucial issue to ensure the safety and health of workers exposed to **x-rays**. However, despite the importance of these **protective measures**, it has been observed that their respect and application are not always optimal. Some health professionals may neglect the use of personal protective equipment (PPE) such as thyroid shields and dosimeters, or lack training in radiation protection. These findings were obtained by means of a questionnaire to healthcare staff, mainly interventional engineers and electro radiology manipulators. Then three interviews were conducted to enrich my answers. Through these surveys, I was able to identify factors that may influence the behavior of **health care workers** in relation to exposure to X-rays. Understanding these factors is essential for establishing effective radiation protection measures.

By identifying these **factors**, it is possible to develop targeted **strategies** to raise awareness, train and motivate healthcare workers to adopt safe practices and comply with radiation protection regulations. And for facilities to provide an environment conducive to good practice.

Keywords : **radiation protection, x-radiation, protective measures, health care workers, factors, strategies**