

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ ABOU BEKR BELKAÏD

FACULTÉ DE MÉDECINE

DR. B. BENZERDJEB - TLEMCEM



وزارة التعليم العالي

والبحث العلمي

جامعة أبو بكر بلقايد

كلية الطب

د. ب. بن زرجب - تلمسان

DEPARTEMENT DE PHARMACIE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR

L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTEUR EN PHARMACIE

THÈME :

Observance de la radioprotection chez le personnel de santé exposé aux radiations ionisantes au niveau des établissements de santé publique dans la région de Tlemcen 2019-2020.

Présenté par :

MEZIANE KHADIDJA ET FAREDHEB NADIA

Soutenu le 13/10/2020

Le Jury

Président :

Pr. HENAOUI. L

Membres :

Dr. AZMANI. N

Dr. TCHENAR. S

Encadreur :

Dr. SEDJELMACI. N

**Maitre de conférences A en Epidémiologie et médecine préventive.
Faculté de médecine de Tlemcen.**

Assistante en Biochimie. CHU Tlemcen.

Assistante en Médecine de travail. CHU Tlemcen.

Maitre assistante en Toxicologie. Faculté de médecine de Tlemcen.

*LOUANGE À
ALLAH*

*Le tout puissant, le miséricordieux
Le clément de nous avoir accordé la vie, la
santé, la force, et la patience d'aller
Jusqu'au bout du rêve.*

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A ma chère mère,

A mon cher père,

Qui m'ont arrosé de tendresse, d'amour et de soutien inconditionnel, qui m'ont épaulé et poussé pour que je puisse atteindre mes objectifs ; que dieu les protègent.

A mon mari chéri,

Qui a été mon support durant toute cette période, un grand merci à lui pour le précieux temps qu'il a consacré pour m'amener aux différents établissements de santé afin de contribuer à la réalisation de la partie pratique de ce mémoire.

A toute ma famille,

A ma belle-famille,

Et surtout à **ma belle-sœur Dr. Wassila Brixi Bouabdellah**, pour sa précieuse aide et ses conseils.

A mes frères, sœurs et belles-sœurs,

A mes meilleures amies,

A toute personne ayant participé à ce travail.

NADIA

D’abord et avant tout, je remercie dieu, le tout puissant, de m’avoir donné tant de force et de courage pour réaliser mes rêves et arriver là où je suis aujourd’hui.

Je dédie ce travail de dur labeur à toutes les personnes chères à mon cœur :

A mes parents adorés, à qui je serais éternellement reconnaissante, pour votre amour, votre dévotion, votre profond soutien et vos encouragements qui m’ont guidé durant tout le parcours de mes études.

Surtout à mon cher papa, sans qui ce travail n’aurait pas abouti, pour sa patience et son temps.

A mes sœurs chéries Batoul et Hidayat, qui m’ont aidé et encouragé à donner le meilleur de moi-même et à qui je souhaite tout le bonheur du monde.

A mes beaux-frères, plein de santé et de prospérité dans votre vie.

Mes adorables neveux et nièces, que j’aime par-dessus tout, à qui je souhaite un avenir radieux.

A toute ma famille réunie, grands et petits.

A Nadia, mon binôme pour ses efforts tout au long de notre travail.

A tous mes collègues, et mes amis avec qui j’ai passé d’agréables moments surtout Meriem, Sarah, Jojo, Djihane, Téma, Mounia, Soumia, Salima, Sanaa, Imad sans oublier Fati, Soraya, Amina et Khawla.

KHADIDJA

Remerciements

Au terme de ce travail, nous tenons tout particulièrement à remercier notre encadreur

Dr. SEDJELMACI. N

pour les conseils et les connaissances qu'elle a su nous transmettre ainsi que pour son suivi, sa patience, sa disponibilité et son intérêt porté à notre étude.

Nous adressons aussi notre profonde reconnaissance et gratitude

A la Présidente du jury

Pr. L. HENAOUI

Vous nous faites l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse, nous vous en remercions et vous témoignons notre profonde et respectueuse reconnaissance.

Et aux membres de notre jury,

Dr. N. AZMANI

Dr. S. TCHENAR

Pour nous avoir fait l'honneur de juger et évaluer notre modeste travail.

Soyez assurés de notre respectueuse considération.

Nous remercions également toute l'équipe pédagogique de la faculté de Médecine et du département de Pharmacie, nos chers professeurs pour la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont prodigué, leur soutien et dévouement durant ces six dernières années.

Aux chefs de services et directeurs des établissements de santé publique pour leur accueil, leur hospitalité et leur patience.

A l'ensemble du personnel de santé ayant consentis à notre étude, nos vifs remerciements pour votre collaboration, votre gentillesse et vos précieuses remarques qui ont permis d'enrichir notre recherche.

Enfin, merci à nos familles qui nous ont supporté et encouragé durant les durs moments.

Ainsi qu'à tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

TABLE DES MATIERES

Dédicaces	i
Remerciements	ii
Table des matières	1
Liste des abréviations	4
Liste des figures	7
Liste des tableaux	9
Introduction	10
Chapitre I : Radiations ionisantes.....	13
I.1. Histoire de la découverte des rayonnements ionisants:.....	14
I.2. Définition de la radioactivité :.....	14
I.2.1. Rayonnements corpusculaires :.....	15
I.2.2. Rayonnement électromagnétique :.....	15
I.3. Mesure de la radioactivité:.....	17
I.3.1. Activité :.....	17
I.3.2. Grandeurs dosimétriques :.....	17
I.4. Modes d'exposition :.....	18
I.4.1. Exposition externe :.....	18
I.4.2. Exposition externe au contact :.....	18
I.4.3. Exposition interne :.....	19
I.5. Sources d'exposition :.....	19
I.5.1. Exposition naturelle :.....	19
a) Rayons cosmiques :.....	20
b) Rayons terrestres :.....	20
c) Exposition par inhalation :.....	20
d) Exposition par ingestion :.....	21
I.5.2. Exposition artificielle:.....	21
I.6. Mécanisme d'action des rayonnements ionisants :.....	29
I.6.1. Action directe :.....	30
I.6.2. Action indirecte :.....	30

I.7. Effets biologiques des radiations ionisantes:.....	31
I.7.1. Effets stochastiques :.....	32
I.7.2. Effets déterministes :.....	33
I.7.3. Facteurs influençant les effets biologiques :.....	34
Chapitre II : RADIOPROTECTION	36
II.1. Définition :	37
II.2. Principes de la radioprotection :.....	37
II.2.1. Principe de justification :.....	37
II.2.2. Principe d'optimisation :	37
II.2.3. Limitation des doses individuelles :	38
II.3. Personnes concernées par la radioprotection :	38
II.3.1. Personnel de santé:	39
II.3.2. Patients :	39
II.3.3. Grand public :.....	39
II.4. Réglementation de la radioprotection :	39
II.4.1. Textes réglementaires Algériens :	39
II.4.2. Réglementation Française et Européenne :	41
II.4.3. Réglementation aux Etats Unis :	42
II.5. Organismes de gestion de la radioprotection :	42
II.5.1. Organismes internationaux :.....	42
II.5.2. Organismes communautaires européens (Euratom) :.....	45
II.5.3. Instances nationales algériennes :.....	46
II.6. Organisation et mesures de la radioprotection :	46
II.6.1. Mesures techniques de protection du personnel :.....	47
II.6.2. Surveillance médicale et suivi de l'exposition:	57
II.6.3. Formation et information sur la radioprotection :	60
Chapitre III : Matériels et méthodes	65
III.1. Type d'étude :	66
III.2. Population de l'étude :	66
III.2.1. Critères d'inclusion :.....	66

III.2.2. Critères de non-inclusion :	66
III.3. Ethique :	66
III.4. Recueil des données :	67
III.5. Analyse statistique :	67
Chapitre IV : Résultats	68
IV.1. Répartition de la population selon l'âge :	69
IV.2. Répartition de la population selon le sexe :	69
IV.3. Répartition de la population selon la profession :	70
IV.4. Répartition selon l'ancienneté de l'exposition aux RI :	70
IV.5. Répartition de la population dans les différents services:	71
IV.6. Répartition selon le nombre moyen des examens journaliers réalisés :	71
IV.7. Répartition selon la fréquence de l'exposition :	72
IV.8. Répartition selon les moyens de la radioprotection :	72
IV.9. Répartition selon le port et la fréquence d'échange des dosimètres :	74
IV.10. Répartition selon la surveillance médicale et le suivi du personnel :	75
IV.11. Attitude à l'égard des personnels de santé lors de grossesse :	76
IV.12. Connaissances, information et formation à la radioprotection :	76
IV.13. Répartition des locaux selon les mesures techniques et la protection collective :	78
IV.13.1. Structure des locaux :	78
IV.13.2. Gestion des déchets :	79
IV.13.3. Signalisation des zones d'exposition aux RI :	79
IV.13.4. Age et maintenance des appareils :	80
IV.13.5. Application des principes de la radioprotection :	81
IV.13.6. Niveau de radioprotection dans les établissements de santé publique :	82
IV.13.7. Respect de la réglementation en vigueur par les établissements :	82
Chapitre V : Discussion.....	83
Conclusion	92
Annexes	93
Bibliographie	103

LISTE DES ABREVIATIONS

4-HNE	4-hydroxynonanal
8-oxoGua	8-hydroxyguanine
ADN	Acide désoxyribonucléique
AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ARN	Acide ribonucléique
ASN	Autorité de Sûreté Nucléaire
BIT	Bureau international du Travail
Bq	Becquerel
BSS	Basic Safety's Standard
CBCT	Cone Beam Computed Tomography (Téléradiographie crânienne)
CCEA=Euratom	Communauté européenne de l'énergie atomique
CFR	Code of Federal Regulations (Code des règlements fédéraux)
CHU	Centre hospitalo-universitaire
CIPR	Commission internationale de protection radiologique
CLHP-EC	Chromatographie liquide haute performance couplée à un détecteur électrochimique
COMENA	Commissariat à l'Energie Atomique
CRNA	Centre de recherche nucléaire d'Alger
CRNB	Centre de recherche nucléaire de Birine
CRND	Centre de recherche nucléaire de Draria
CRNT	Centre de recherche nucléaire de Tamanrasset
CSN	Centre de Formation et d'Appui à la Sécurité Nucléaire
CSP	Code de la santé publique
CT	Code du travail
DGSNR	Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection
DOE	Département de l'énergie

EFR	Exploration fonctionnelle respiratoire
EPH	Etablissement public hospitalier
EPI	Equipement de protection individuelle
EPSP	Etablissement public de santé de proximité
ERO (ROS)	Espèces réactives d'oxygène
eV	Electron volt
Gy	Gray
IAGN	Institut Algérien de Formation en Génie Nucléaire
ICRU	Commission internationale des unités et des mesures des rayonnements
IRM	Imagerie par résonance magnétique
IRSN	Institut de recherche et de sûreté nucléaire
ISO	Organisation internationale de normalisation
IXRPC	Comité international de protection contre les rayons X et le radium
MDA	Malondialdéhyde
Min	Minute
MN	Micronoyaux
mSv	Milli-sievert
NF	Norme française
NFS	Numération de la formule sanguine
NRC	Nuclear Regulatory Commission (la commission de réglementation nucléaire)
OIT	Organisation Mondiale du Travail
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONU	Organisation des Nations Unis
OPG	Orthopantomogramme ou radiographie panoramique dentaire
ORL	Oto-rhino-laryngologie
PCR	Personne compétente en radioprotection
PSRPM	Personne spécialisée en radio-physique médicale

RI	Rayonnements ionisants
RIA	Radio Immunology Assay
RL	Radicaux libres
SNC	Système Nerveux Central
Sv	Sievert
Système SISERI	Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants
TBA	Thio-barbiturique
UMC	Urgences médico-chirurgicales
UNSCEAR	Comité scientifique des Nations Unis pour l'étude des effets de rayonnements ionisants
URDIN	Unité de Recherche et Développement en Ingénierie nucléaire
USC	Code des Etats-Unis
WR	Facteur de pondération du rayonnement

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Le pouvoir de pénétration des différents types de rayonnements(22).....	16
Figure 2: Modes d'exposition aux radiations ionisantes(22).....	19
Figure 3: Appareil de radiologie conventionnelle(39).	22
Figure 4: Installation de radiologie au bloc opératoire(39).....	23
Figure 5: Appareil de mammographie(39).....	24
Figure 6: Scanographe (Tomodensitomètre)(39).	25
Figure 7: Radiographie rétro alvéolaire(39).....	26
Figure 8: Appareil de télé gammathérapie(39).....	27
Figure 9: Accélérateurs de particules en radiothérapie(39).....	27
Figure 10: Action des rayonnements ionisants sur l'ADN cellulaire(27).....	29
Figure 11: Conséquences cellulaires de l'irradiation(47).....	31
Figure 12: Effets biologiques et pathologiques des radiations ionisantes(48).	32
Figure 13 : Organisation de la radioprotection (26, 74).	43
Figure 14: Valeurs opérationnelle de délimitation des installations fixe (21, 26).....	48
Figure 15 : Quelques panneaux de signalisation du zonage radiologique (21).....	49
Figure 16: Quelques équipements de protection collective au sein des salles d'examens et d'intervention(90).....	50
Figure 17: Les équipements utilisés en médecine nucléaire(91).....	51
Figure 18: les équipements de protection individuelle(90).....	54
Figure 19: Les différents types de dosimètres(22, 90, 93).	56
Figure 20 : Répartition du personnel de santé selon les tranches d'âge.	69
Figure 21: Répartition des travailleurs exposés aux radiations ionisantes selon le sexe. ..	69
Figure 22: Répartition du personnel de santé selon leur catégorie professionnelle.	70
Figure 23: Répartition du personnel de santé selon l'ancienneté de l'exposition aux RI. .	70
Figure 24: Répartition de la population dans les différents services.....	71
Figure 25: Estimation de l'exposition par le personnel de santé.....	72
Figure 26: Autres mesures de protection suivies par le personnel de santé.	73
Figure 27: Fréquence et durée du congé de désintoxication chez le personnel de santé....	73
Figure 28: Le port des dosimètres chez le personnel de santé.	74
Figure 29 : Fréquence d'échange des dosimètres chez le personnel de santé.	74

Figure 30 : Types d'examens de surveillance médicale.	75
Figure 31 : Mesures suivies chez le personnel féminin lors d'une grossesse.	76
Figure 32 : Formation du personnel à la radioprotection.	77
Figure 33 : Présence de la personne compétente en radioprotection au sein des services.	77
Figure 34 : Les équipements de protection collective présents dans les structures de santé.	78
Figure 35 : Présence d'une signalisation et d'un affichage des dangers dans les locaux....	79
Figure 36 : Types de signalisations présentes dans les établissements concernés.....	80
Figure 37 : Age des appareils utilisés dans les établissements de santé concernés par l'étude.	80
Figure 38 : Maintenance et contrôle de qualité de l'appareillage.	81
Figure 39 : Estimation du niveau de radioprotection dans les services selon le personnel de santé.....	82
Figure 40 : Niveau de respect de la réglementation en radioprotection dans les services. .	82

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Effets in utero en fonction de nombre de semaine post-conception après exposition aux RI (49)	33
Tableau II : Doses maximales admissibles professionnellement par exposition externe et interne sur 12 mois consécutifs(56).....	38
Tableau III : Nombre moyens des examens réalisés dans les services.....	71
Tableau IV : Disponibilité, port et contrôle des équipements de protection individuelle (EPI) dans les structures de santé publique.	72
Tableau V : Surveillance médicale du personnel de santé.	75
Tableau VI : Connaissances du personnel de santé en radioprotection.	76
Tableau VII : Normes et structure des locaux des services concernés par l'étude.....	78
Tableau VIII : Application des principes de la radioprotection dans les établissements de santé concernés par l'étude.....	81

INTRODUCTION

Depuis la découverte de la radioactivité en 1896 par H.Becquerel (1), l'utilisation des rayonnements ionisants a envahi tous les domaines principalement celui de la médecine humaine.

En effet, durant les dernières décennies et suite aux avancées technologiques et au développement des pratiques médicales, les radiations ionisantes sont devenues une partie intégrante et indispensable du diagnostic, de la thérapeutique et de l'intervention en matière de santé(2), et le recours aux méthodes d'imagerie médicale nouvelles et conventionnelles de plus en plus fréquent(3) ; faisant des rayonnements ionisants la source principale d'exposition artificielle chez les travailleurs de la santé(4).

Il est estimé que chaque année, plus de 2500 millions d'examens de diagnostic radiologique, 32 millions d'examens en médecine nucléaire et 5,5 millions de séances de radiothérapie sont performés dans le monde(5).

Cette omniprésence des actes ionisants s'explique par le bénéfice sanitaire qu'ils apportent permettant le dépistage et le diagnostic de diverses pathologies, le suivi de leurs évolutions ainsi qu'un avantage thérapeutique(6).

Au-delà de ces avantages, les radiations ionisantes non dénuées de danger peuvent causer des effets délétères chez le personnel de santé exposé aux faibles doses comme aux fortes doses de rayonnements (2, 7) surtout en médecine nucléaire ou en médecine interventionnelle(8) dont des dommages cellulaires, des tumeurs et des cataractes(9) radio-induites mais le plus préoccupant reste l'effet cancérogène des radiations ionisantes abordé dans de nombreuses études(2, 6, 10).

Ce risque sanitaire accru rend nécessaire et même obligatoire l'observance et l'application rigoureuse de certaines règles de protection par le personnel directement affecté aux travaux sous rayonnement(4) ; d'où la notion de radioprotection des travailleurs qui a été initiée par les organismes internationaux leaders dans le domaine de la sécurité et la maîtrise des risques nucléaires (commission internationale de protection radiologique, agence internationale à l'énergie atomique...) et dont les recommandations en matière de moyens, principes et mesures de radioprotection sont retranscrites dans les réglementations nationales des divers pays.

Problématique :

Sur tout le territoire national, les prestataires de santé ont de plus en plus recours aux différentes procédures d'imagerie et sources de rayonnements ionisants dans leur pratique clinique dans un but diagnostique ou thérapeutique. Cette demande grandissante contribue à l'exposition inévitable du personnel aux radiations ionisantes dans la pratique quotidienne de leurs fonctions. Et toute non-observance des mesures de radioprotection suite à la méconnaissance des dangers, l'absence de formation, de sensibilisation ou d'encadrement adéquat conduit à l'augmentation de ce risque.

Il s'avère donc important de mener une étude afin d'évaluer la connaissance des travailleurs en matière d'effets des radiations et de moyens de protection ainsi que les degrés d'exposition. Mais aussi d'estimer l'état de la radioprotection sur le terrain par rapport à la réglementation et aux recommandations requises.

Notre étude va ainsi se centrer sur les établissements de santé publique dans la région de Tlemcen.

Objectif :

L'objectif de notre étude est de décrire la fréquence de l'observance des mesures de radioprotection chez le personnel de santé exposé aux radiations ionisantes dans les établissements de santé publique dans la région de Tlemcen.

Justification :

Notre étude est la première à avoir élargi le périmètre d'enquête au niveau de Tlemcen. Elle s'intéresse à la radioprotection et aux risques de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants.

Elle vise à relever les lacunes du personnel de santé en matière de radiations ionisantes et de radioprotection ainsi que les failles au niveau des structures des établissements de santé.

Et cela afin d'aviser les responsables et les pouvoirs publics à mettre en place tous les moyens nécessaires et à renforcer la protection de cette tranche du personnel.

Notre travail tend aussi vers l'introduction de la gestion individuelle du risque radique dans la routine et une amélioration du background des travailleurs via un manuel ou des brochures sur la radioprotection.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE I : RADIATIONS IONISANTES

I.1. Histoire de la découverte des rayonnements ionisants:

La compréhension moderne des rayonnements ionisants a débuté le 8 novembre 1895 avec **Wilhelm Röntgen** qui a découvert un rayon X capable de traverser la plupart des objets solides, mais pas les os ni le métal, pour exciter les matériaux phosphorescents **(11-14)**. Il les a ainsi nommés car leur nature était inconnue à l'époque**(15)**.

Après la découverte des rayons X, la radioactivité (une autre forme de rayons pénétrants) a été découverte par le scientifique français **Henri Becquerel**. L'un des premiers minéraux avec lesquels il a travaillé était l'uranium capable d'émettre son propre rayonnement qui pouvait être capturé sur un film photographique. Pour cette découverte, il partage la moitié du prix Nobel de physique avec Marie et Pierre Curie en 1903**(12)**.

Marie Curie soupçonnait qu'il y avait d'autres sources de radioactivité dans le minerai d'uranium. En 1898, les Curies y ont découvert un autre élément radioactif et l'ont nommé polonium d'après la Pologne natale de Marie. Le radium était un élément supplémentaire découvert au cours de cette même période. Le radium et le polonium étaient tous deux plus radioactifs que l'uranium**(12)**. Avec Pierre, elle a reçu la moitié du prix Nobel de physique en 1903 pour leur étude sur le rayonnement spontané découvert par Becquerel. En 1911, elle a reçu un deuxième prix Nobel, cette fois en chimie, en reconnaissance de son travail en radioactivité. En 1921, le président américain Harding lui a remis 1 gramme de rayonnement au nom des femmes américaines en reconnaissance de son service à la science**(12)**.

I.2. Définition de la radioactivité :

La désintégration nucléaire ou la radioactivité est le processus par lequel un noyau d'un atome instable perd de l'énergie en émettant un rayonnement ionisant. Ceci entraîne la formation de deux particules ou ions chargés: la molécule avec une charge positive nette et l'électron libre avec une charge négative**(16)**.

Un matériau est dit radioactif s'il émet spontanément ce type de rayonnement qui comprend l'émission de particules alpha, particules bêta, rayons gamma et électrons de conversion**(16)**.

Ils ont subdivisés en rayonnements corpusculaires et rayonnements électromagnétiques**(17)**.

I.2.1. Rayonnements corpusculaires :

Ce sont les rayonnements alpha, bêta et les neutrons. Ils sont émis lors des transformations nucléaires qui se produisent dans les noyaux instables(18).

I.2.1.1. Rayonnement alpha (α) :

Il s'agit de particules semblables à des noyaux d'hélium (2 protons + 2 neutrons). Très peu pénétrantes et ne traversent pas une feuille de papier. Elles permettent à certains noyaux trop riches en protons et en neutrons d'évacuer une partie de leurs masses et la convertir en énergie cinétique permettant l'expulsion du noyau d'hélium. On utilise par exemple le rayonnement α dans les détecteurs de fumée des systèmes d'alarme incendie automatique(18, 19).

I.2.1.2. Rayonnement bêta (β) :

Il s'agit d'électrons se déplaçant à haute vitesse et qui sont de deux types (β^+ et β^-). Ce rayonnement est arrêté par une plaque de plexiglas de 1 cm d'épaisseur ou par une simple feuille d'aluminium de quelques millimètres(20). Les noyaux contenant un excès de neutrons ou de protons tendent vers la stabilité par le changement d'un de leurs neutrons en un proton supplémentaire (β^-) ou par la transformation d'un proton en neutron (β^+)(18, 19, 21).

I.2.1.3. Rayonnement neutronique :

Il s'agit de neutrons émis lors de la fission de noyaux lourds ou obtenus en bombardant certains noyaux avec des particules α (réaction α -n). L'application la plus courante des sources de neutrons est la mesure de l'humidité des sols(18).

I.2.2. Rayonnement électromagnétique :

Les rayonnements électromagnétiques comprennent la lumière et les rayons X ou γ . Ce sont des rayonnements photoniques. On les distingue par leur origine et leur énergie. Ils ne sont ionisants qu'au-dessus de 10 électron volt (eV), c'est à dire au-delà du spectre de la lumière visible(18).

I.2.2.1. Rayonnement gamma (γ) :

Il s'agit d'ondes électromagnétiques, comme la lumière, mais possédant une très grande énergie. Les rayons γ sont émis par le noyau de l'atome après une émission α ou β , lorsque ce dernier est encore excité. Ici, l'élément chimique concerné n'est pas modifié. Le

rayonnement γ est en général très pénétrant. Ils sont utilisés dans la radiographie de soudures et la radiothérapie médicale(19).

I.2.2.2. Rayonnement X :

C'est une forme de rayonnement électromagnétique de haute énergie généré artificiellement dans un tube de verre sous vide lorsqu'un faisceau d'électrons émis par la cathode est envoyé sur un matériau cible appelé anode.

Le spectre des rayons X dépend du matériau de l'anode et de l'énergie d'accélération du faisceau(12). Ils sont décrits comme étant des paquets d'énergie. Chaque paquet appelé photon est l'équivalent d'un quantum d'énergie ; le faisceau de rayon X utilisé en radiologie diagnostique est constitué de millions de photon individuels(15).

La *radiologie* est fondée sur le principe de l'atténuation différentielle des rayons X dans les organes et tissus du corps humain. Les informations sont recueillies sur des films radiologiques ou, et de plus en plus souvent, sur des supports numériques permettant le traitement informatique des images obtenues(15).

Il est important de noter que les rayons X et les rayons γ sont de même nature et se distinguent par leur origine et non pas par leur énergie : le rayonnement X provient des couches électroniques de l'atome et peut être plus énergétique, donc plus pénétrant, que le rayonnement γ qui provient du noyau(18).

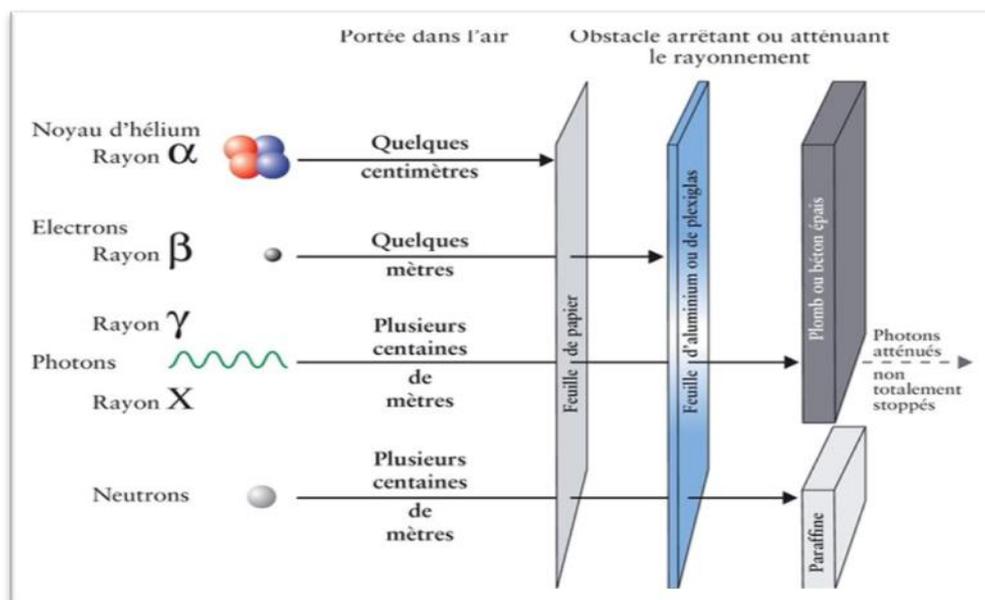


Figure 1: Le pouvoir de pénétration des différents types de rayonnements(22).

I.3. Mesure de la radioactivité:

On ne peut la sentir ni la toucher ni la voir ni l'entendre. La radioactivité ne peut être détectée et mesurée qu'à l'aide d'instruments spécifiques.

I.3.1. Activité :

L'activité d'une source radioactive est le nombre de désintégrations qui se produisent par unité de temps dans une quantité donnée du radionucléide qui la constitue(18). Le becquerel [Bq] est l'unité de mesure de la radioactivité : 1 Bq correspond à une transformation (ou désintégration) par seconde(18).

I.3.2. Grandeurs dosimétriques :

Dans les études sur les effets des rayonnements, il est nécessaire de corréler la probabilité de la réponse ou l'ampleur des effets avec l'estimation de l'exposition aux radiations par ces grandeurs qui s'expriment de différentes manières selon la fraction du corps irradiée, le nombre de personnes exposées et la durée de l'exposition(23).

I.3.2.1. Dose absorbée :

C'est la quantité d'énergie provenant du rayonnement absorbée par kilogramme de tissu exposé, son unité est appelée le gray (Gy) en hommage au physicien anglais pionnier de la radiobiologie, Harold Gray(24). Cette grandeur ne décrit pas complètement la situation (elle ne tient compte ni de la toxicité spécifique des rayonnements ni de la sensibilité des tissus)(25), en effet la même dose absorbée due à des particules alpha peut produire plus de dommages que celle due aux particules bêta et gamma(23, 26).

I.3.2.2. Dose équivalente :

Pour comparer les doses absorbées dues à différents types de rayonnements, elles doivent être pondérées par leur capacité à produire certains types de dommages biologiques. Cette dose pondérée par un facteur de pondération (W_R) est appelée la dose équivalente et est exprimée en sievert (Sv), en hommage au scientifique suédois Rolf Sievert(27).

Certaines parties du corps sont plus vulnérables que d'autres. Par exemple une dose équivalente donnée est plus susceptible de causer un cancer du poumon que du foie et l'exposition des organes reproducteurs est particulièrement préoccupante à cause du risque d'effets héréditaires (23, 28, 29).

I.3.2.3. Dose efficace :

Pour comparer les doses quand différents tissus et organes sont irradiés, les doses équivalentes délivrées à différentes parties du corps sont aussi pondérées et le résultat est appelé la dose efficace qui s'exprime également en sieverts (Sv)(23, 28).

Toutefois la dose efficace est un indicateur de la probabilité de cancer et d'effets génétiques suite à des faibles doses et ne saurait mesurer la sévérité des effets aux hautes doses. Cependant, ceci ne décrit que les doses individuelles (23, 27, 29).

I.3.2.4. Dose efficace collective :

Si nous additionnons toutes les doses efficaces reçues par chaque individu d'une population, le résultat est appelé la dose efficace collective qui s'exprime en hommes-sieverts (homme Sv). Ainsi par exemple la dose annuelle collective de la population mondiale est de plus de 19 millions de homme-Sv, correspondant à une dose moyenne par personne de 3 mSv(23, 27-29).

I.3.2.5. Débit de dose :

C'est la dose par unité de temps (par exemple Gy/min ou Sv/min)(29).

I.4. Modes d'exposition :

Il existe trois modes d'expositions (figure 2) de l'organisme aux rayonnements ionisants(30) :

I.4.1. Exposition externe :

C'est le cas où l'irradiation de l'organisme est due à une source (générateur ou matière radioactive) située à l'extérieur du corps. Ce risque existe lors de travaux avec des radiations relativement pénétrantes: β , X, γ , neutrons. L'irradiation externe peut être partielle ou totale (irradiation du corps entier). Les risques encourus sont liés à la partie du corps exposée à la radiation : gonades - effets génétiques, moelle osseuse active - leucémie, tronc - cancer du sein et du poumon, etc...(19, 30).

I.4.2. Exposition externe au contact :

Appelée aussi contamination externe, la source (matière radioactive disséminée) se trouve en contact avec la peau (ou les vêtements) du sujet(30).

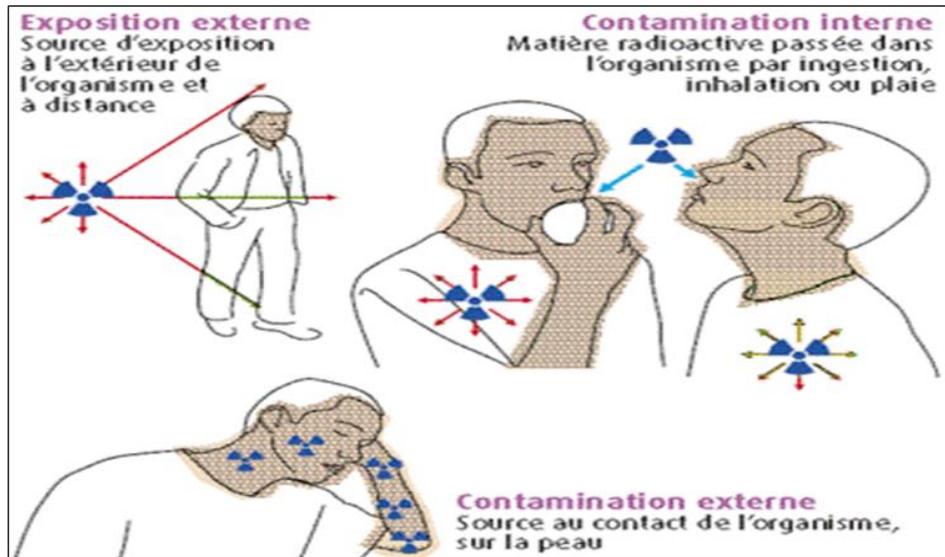


Figure 2: Modes d'exposition aux radiations ionisantes(22).

I.4.3. Exposition interne :

La source (matière radioactive disséminée) a été incorporée par le sujet (par inhalation, ingestion, ou passage à travers une peau saine ou lésée). L'effet de cette irradiation est lié à la répartition de la substance dans l'organisme. Dans ce cas, les radiations très peu pénétrantes, telles que la radiation α , sont également dangereuses (19, 30).

I.5. Sources d'exposition :

L'exposition aux rayonnements ionisants provient de plusieurs sources naturelles et artificielles(17).

I.5.1. Exposition naturelle :

Le rayonnement a toujours été présent et fait partie de notre environnement. Toute la vie s'est développée dans un bain de rayonnement ionisant. Le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) identifie quatre sources principales d'exposition du public aux rayonnements naturels (28, 30, 31) :

- a) Les rayonnements cosmiques.
- b) Les rayonnements terrestres.
- c) L'inhalation.
- d) L'ingestion.

L'inhalation est désormais reconnue comme la plus importante voie, suivie de l'irradiation externe et l'ingestion(23).

a) Rayons cosmiques : Notre planète est bombardée en permanence par le rayonnement cosmique, un ensemble de particules en provenance de l'espace. Ce rayonnement arrivant au sommet de l'atmosphère terrestre, est constitué à la fois de particules chargées et neutres. On trouve dans la composante chargée, essentiellement, des protons et des noyaux d'hélium, des noyaux d'atomes plus lourds, des électrons et une infime portion d'antimatière avec des positons (ou antiélectrons) et des antiprotons. La composante neutre est, quant à elle, constituée de photons de haute énergie. L'atmosphère atténue fortement la radiation reçue au sol. Les interactions avec les atomes de l'air donnent lieu à des cascades de particules moins énergétiques, qui sont mises à profit pour étudier les propriétés du rayonnement cosmique aux plus hautes énergies (28, 32).

b) Rayons terrestres : La composition de la croûte terrestre est une source importante de rayonnement naturel. Les principaux facteurs contributifs sont les gisements naturels d'uranium, de thorium et de potassium qui, par le processus de désintégration naturelle, libèrent de petites quantités de rayonnements ionisants. L'uranium et le thorium se trouvent essentiellement partout. Des traces de ces minéraux sont également présentes dans les matériaux de construction, de sorte que l'exposition aux rayonnements naturels peut avoir lieu à l'intérieur comme à l'extérieur(28).

c) Exposition par inhalation :

La plus grande partie de la variation de l'exposition à la radioactivité naturelle provient de l'inhalation de gaz radioactifs produits par les minéraux radioactifs présents dans le sol et le socle rocheux. Le radon est un gaz radioactif incolore et inodore, produit par la désintégration de l'uranium. Le thoron est un gaz radioactif produit par la désintégration du thorium. Les niveaux de radon et de thoron varient considérablement selon l'emplacement en fonction de la composition du sol et du socle rocheux. Une fois libérés dans l'air, ces gaz sont normalement dilués à des niveaux inoffensifs dans l'atmosphère, mais parfois ils sont piégés, s'accumulent à l'intérieur des bâtiments et sont inhalés par les occupants. Le radon constitue un risque pour la santé, non seulement pour les mineurs d'uranium, mais aussi pour les propriétaires de résidences si on le laisse s'accumuler dans la maison. En général, il est la principale source d'exposition au rayonnement naturel(28, 33).

d) Exposition par ingestion :

Des traces de minéraux radioactifs se trouvent naturellement dans la nourriture et l'eau potable(28).

Les composantes du rayonnement naturel (rayons cosmiques, rayons gamma terrestres, inhalation et ingestion) ont été évaluées et ajoutées pour fournir une estimation de l'exposition moyenne mondiale. Comme il existe de larges distributions d'expositions de chaque source, les doses efficaces qui en résultent se combinent de diverses manières à chaque emplacement, en fonction de la concentration spécifique de radionucléides dans l'environnement et dans le corps, la latitude et l'altitude de l'emplacement, et de nombreux autres facteurs.

La dose efficace globale annuelle totale par habitant due aux sources naturelles de rayonnement est de 2,4 mSv. Une gamme typique de doses individuelles est considérée comme étant de 1 à 10 mSv.

Dans toute grande population, environ 65% devraient avoir des doses efficaces annuelles comprises entre 1 et 3 mSv, environ 25% auraient des doses inférieures à 1 mSv et 10% auraient des doses supérieures à 3 mSv(34).

I.5.2. Exposition artificielle:

Les applications médicales et industrielles des rayonnements ionisants se sont développées de façon très importante durant ces vingt dernières années(31, 35). La principale contribution de l'homme à l'exposition environnementale de la population mondiale provient des essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère qui ont eu lieu principalement entre 1945 et 1980. Depuis le précédent examen de la question par l'UNSCEAR(Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants) en 1982, de nouvelles informations, précédemment classifiées, sont devenues disponibles sur le nombre et le rendement des essais nucléaires(34).

I.5.2.1. Exposition médicale :

Caractérisée par une dose élevée et des distributions très inégales de la dose(23). Les radiations ionisantes sont largement utilisées en médecine dans un but diagnostique et thérapeutique(36).

A. Radiodiagnostic médicale et dentaire :

A.1. Radiologie conventionnelle :

Elle met en œuvre le principe de la radiographie classique (**figure 3**) et représente la plus grande partie des examens réalisés (46%) (**37**). Il s'agit principalement des examens osseux, du thorax et de l'abdomen (**29, 35, 38**).



Figure 3: Appareil de radiologie conventionnelle(**39**).

Elle peut se décliner en trois grandes familles :

- Radiologie réalisée dans les installations fixes,
- Radiodiagnostic mis en œuvre ponctuellement à l'aide d'appareils mobiles, notamment au lit du malade,
- Radiodiagnostic effectué au bloc opératoire comme outil contribuant à la bonne exécution d'actes chirurgicaux.

A.2. Radiologie interventionnelle :

Il s'agit de techniques utilisant la radioscopie avec amplificateur de brillance, nécessitant des équipements spéciaux permettant de réaliser certaines opérations soit à visée diagnostique (examen des artères coronaires...) soit à visée thérapeutique (dilatation des artères coronaires...) (**figure 4**). Elles nécessitent souvent des expositions de longue durée des patients qui reçoivent alors des doses importantes pouvant être à l'origine, dans certains cas, d'effets déterministes des rayonnements (lésions cutanées...).

Les personnels, intervenant le plus souvent à proximité immédiate du patient, sont également exposés à des niveaux plus élevés que lors d'autres pratiques radiologiques.



Figure 4: Installation de radiologie au bloc opératoire(39).

Dans ces conditions, compte tenu des risques d'exposition externe qu'elle engendre pour l'opérateur et le malade, la radiologie interventionnelle doit être justifiée par des nécessités médicales clairement établies et sa pratique doit être optimisée pour améliorer la radioprotection des opérateurs et des patients(40).

1/Angiographie numérisée : Cette technique, utilisée pour l'exploration des vaisseaux sanguins, repose sur la numérisation d'images avant et après injection d'un produit de contraste (opacifiant). Un traitement informatique permet de s'affranchir des structures.

2/Mammographie: L'unité de mammographie se compose d'un tube à rayons X et d'un récepteur d'image monté sur les côtés opposés d'un ensemble mécanique (**figure 5**). Parce que le sein doit être imaginé à partir de différents aspects, l'ensemble peut être tourné autour d'une horizontale. Pour accueillir des patients de différentes tailles, l'élévation de l'assemblage peut être ajustée. Ces générateurs sont également utilisés dans le cadre de la campagne de dépistage du cancer du sein(41).



Figure 5: Appareil de mammographie(39).

3/Scanographie : Ou tomodensitométrie, mise au premier plan par G.N. Hounsfield au début des années 1970. Bien que ne représentant que 6% du nombre d'exams, elle est responsable des 68% de la dose effective collective (37). Les appareils de scanographie (figure 6) permettent, à l'aide d'un faisceau de rayons X étroitement collimaté, émis par un tube radiogène tournant autour du patient et associé à un système informatique d'acquisition d'images, la reconstitution en trois dimensions des organes avec une qualité d'image supérieure à celles des appareils conventionnels, donnant une vision plus fine et tridimensionnelle de la structure des organes. Cette technique, qui au début de son implantation a révolutionné le monde de la radiologie, notamment dans le domaine des explorations neurologiques, est aujourd'hui concurrencée par l'imagerie par résonance magnétique (IRM) pour certaines investigations.



Figure 6: Scanographe (Tomodensitomètre)(39).

Cependant, la nouvelle génération d'appareils (scanners multibarrettes) offre à la scanographie une extension de son champ d'investigation ainsi qu'une facilité et une rapidité pour la réalisation de ces investigations qui, en contrepartie, peut entraîner une multiplication des images produites, contraire au principe d'optimisation, et ainsi conduire à une augmentation importante des doses de rayonnements délivrées aux patients(40).

4/Radiodiagnostic dentaire : Représente 42% de l'ensemble d'examens mais moins de 1% de la dose effective collective (37). La dent est un objet statique à faible atténuation qui, une fois radiographié directement, impose des exigences très limitées à la génération de rayons X(41).

5/Radiographie rétro alvéolaire (intra-orale) : Montés le plus souvent sur un bras articulé, les générateurs de radiographie de type rétro alvéolaire (figure 7) permettent la prise de clichés localisés des dents. Ils fonctionnent avec des tensions et intensités relativement faibles et un temps de pose très bref, de l'ordre de quelques centièmes de seconde. Cette technique est de plus en plus souvent associée à un système de traitement numérique de l'image radiographique qui est renvoyée sur un moniteur(41).



Figure 7: Radiographie rétro alvéolaire(39).

6/Radiographie panoramique dentaire (OPG) : Utilisée principalement par les praticiens spécialistes de l'art dentaire (orthodontistes, stomatologistes) et les radiologues. Elle donne sur une même image l'intégralité des deux maxillaires par rotation du tube radiogène autour de la tête du patient durant une dizaine de secondes(41).

7/Téléradiographie crânienne (CBCT) : Plus rarement utilisés par les praticiens. Ces générateurs qui fonctionnent avec une distance foyer-film de 4 mètres servent essentiellement à la réalisation de clichés radiographiques à des fins de diagnostic orthodontique(41).

A.3. Générateurs électrique de radiothérapie :

Catégorie G : générateur de rayon X

Catégorie H : accélérateur de particules (35, 38).

A.4. Utilisation de radioéléments en source scellées :

1/Télé gammathérapie: progressivement remplacée par des accélérateurs de particules dont les performances supérieures offrent une gamme plus complète de traitements (radiothérapie externe) (35, 38).



Figure 8: Appareil de télé gammathérapie(39).



Figure 9: Accélérateurs de particules en radiothérapie(39).

2/Curiethérapie : permet de traiter, de façon spécifique ou en complément d'une autre technique de traitement, des tumeurs cancéreuses, notamment de la sphère ORL, de la peau, du sein ou des organes génitaux. Les principaux radionucléides employés en curiethérapie, sous forme de sources scellées, sont le césium 137 et l'iridium 192(42).

A.5. Médecine nucléaire (Sources non scellées):

La médecine nucléaire permet de réaliser l'imagerie fonctionnelle. Elle est donc complémentaire de l'imagerie purement morphologique obtenue par les autres techniques d'imagerie : radiologie conventionnelle, scanner à rayons X, échographie ou imagerie par résonance magnétique (IRM)(39).

A.6. Thérapie et diagnostic in vivo :

Utilisant les mêmes techniques qui ne diffèrent que par la quantité de radioélément mise en œuvre (35, 38). Une molécule se fixant préférentiellement sur l'organe cible, par exemple des anticorps reconnaissant les antigènes fixés, est marquée à l'aide d'un radionucléide dont l'énergie de rayonnement et l'activité sont adaptées au but recherché. Dans le cas particulier de la thyroïde, l'iode est utilisé car il s'y fixe préférentiellement. Pour les autres applications, on utilise des molécules marquées principalement au technetium 99m, thallium 201, indium 111, à l'iode 131 ou 123. Le technetium représente à lui seul près de 90 % des utilisations (scintigraphie) (35).

A.7. Diagnostic in vitro:

Le marquage de substances par l'iode 125 ou le tritium est très utilisé pour les dosages radioimmunologique RIA (Radio Immunology Assay). La technique la plus répandue est la technique dite "en sandwich". Elle convient particulièrement aux substances de nature protéinique qui possèdent au moins deux sites antigéniques. Pour réaliser le dosage, on fixe d'abord l'anticorps sur une phase solide (paroi du tube), l'antigène, présent dans le milieu introduit dans le tube, se fixe sur l'anticorps. On ajoute alors un deuxième anticorps marqué à l'iode 125 ou au tritium et on compte la quantité fixée(35). La radio-immunologie est actuellement fortement concurrencée par des techniques ne faisant pas appel à la radioactivité telles que l'immunoenzymologie (35, 38).

A.8. Irradiation des produits sanguins :

C'est une méthode simple d'inhiber la division lymphocytaire afin d'éliminer le risque de maladie post-transfusionnelle de greffon contre l'hôte chez les patients immunodéprimés. Les irradiateurs sont des appareils compacts auto protégés dans lesquels se trouvent une chambre d'irradiation et des sources de cobalt 60 ou de césium 137 (35, 38).

A.9. Radiothérapie métabolique :

Elle vise à administrer un radio pharmaceutique émetteur de rayonnements ionisants qui délivrera une dose importante à un organe cible dans un but curatif ou palliatif. C'est une

nouvelle arme thérapeutique chez les patients atteints de cancer de la prostate avec des métastases osseuses douloureuses.

Le Strontium-89 (MétrastronT) et le Samarium-153 (QuadrametT) se concentrent dans les métastases osseuses et les irradient. L'efficacité antalgique de ces radiopharmaceutiques est observée dans les deux tiers des cas. Les effets secondaires sont peu importants, essentiellement hématologiques, mais peu sévères, si on respecte les indications(43).

A.10. Applications industrielles :

Les traitements ionisants permettent d'induire des modifications d'ordre chimique ou biologique dans des matériaux très divers. Ils constituent ainsi une alternative possible à des traitements conventionnels par voie thermique ou chimique.

L'ionisation a été introduite dans la pratique industrielle il y a une trentaine d'années, elle s'applique actuellement de façon courante à des domaines très variés dont le domaine agro-alimentaire pour l'irradiation la stérilisation des produits, en industrie et recherche nucléaire, en radiographie industrielle, dans la transformation des polymères...(31, 35, 44).

I.6. Mécanisme d'action des rayonnements ionisants :

Pour de nombreux effets biologiques, l'ADN nucléaire est une cible critique des rayonnements ionisants (figure 10)directement ou indirectement(45).

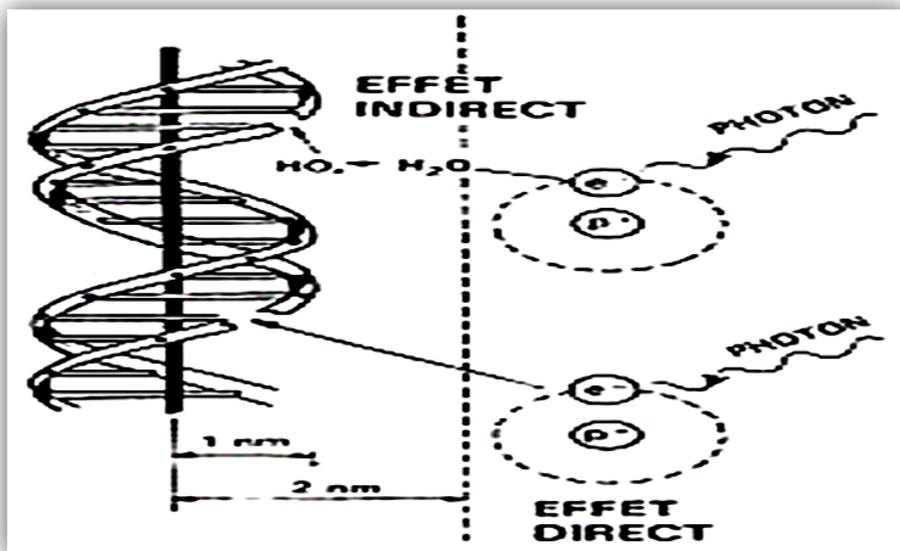


Figure 10: Action des rayonnements ionisants sur l'ADN cellulaire(27).

I.6.1. Action directe :

Le rayonnement ionisant agit par des coups directs sur la cible des atomes. Tous les atomes ou molécules dans les cellules, telles que les protéines enzymatiques et structurales et l'ARN, sont vulnérables aux dommages causés par les radiations. L'ADN, cependant, est la cible principale dans laquelle le rayonnement produit une ou deux ruptures chromosomiques(17, 28, 45).

I.6.2. Action indirecte :

La théorie du mécanisme direct s'est avérée être insuffisante pour expliquer le dommage cellulaire causé par les rayonnements. L'action indirecte résulte de l'effet via la radiolyse d'eau cellulaire, formant des radicaux libres (RL) qui interagissent avec les atomes et les molécules cellulaires, en particulier l'ADN, pour produire des modifications chimiques et par conséquent des effets nocifs (17, 27, 45). Quand les rayons X interagissent avec l'eau, deux types de RL sont formé : le radical hydroxyle OH° et le radical HO_2° par les réactions suivantes:



Ces phénomènes de production de radicaux libres et d'espèces réactives sont directement liés au stress oxydant est défini comme un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et le réseau antioxydant, en faveur des premiers. Produits en trop grande quantité, ces radicaux libres de nature instable deviennent très réactifs vis-à-vis de substrats biologiques notamment l'ADN qui en est la cible privilégiée et peuvent ainsi induire des modifications oxydatives délétères potentiellement impliquées dans l'apparition de pathologies liées au vieillissement telles que les maladies cardiovasculaires et le cancer(46).

Ces différentes interactions rayonnements ionisants-ADN, qu'elles soient directes ou indirectes, peut avoir 4 conséquences et effets (figure 11)(47).

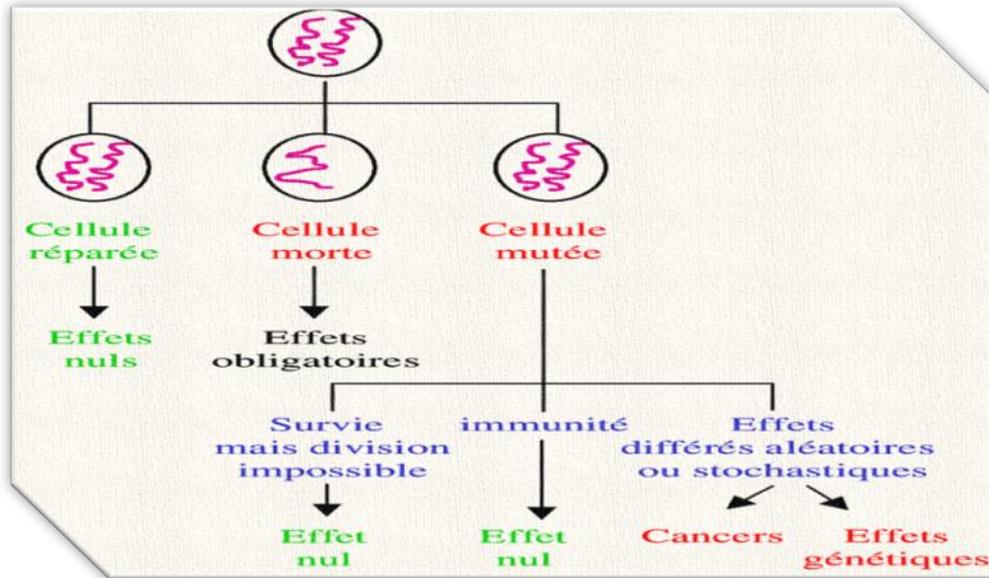


Figure 11: Conséquences cellulaires de l'irradiation(47).

I.7. Effets biologiques des radiations ionisantes:

Les rayonnements ionisants ont la grande particularité d'être étrangers à tous nos sens : invisibles, inodores, impalpables, silencieux et sans saveur. Ils ne peuvent être anticipés et peuvent altérer notre santé sans même que nous nous en apercevions (19).

Les effets des RI (figure 12) sur les êtres vivants résultent d'un transfert d'énergie, ou interaction, entre les rayonnements et la matière. L'intensité des effets dépend de la nature du rayonnement. En effet, selon qu'il est électromagnétique ou corpusculaire, chargé ou neutre, la quantité d'énergie transférée par unité élémentaire de volume sera différente et les conséquences biologiques seront d'autant plus importantes que ce transfert d'énergie sera plus concentré. Le mode de transfert d'énergie varie selon la nature du rayonnement et du milieu. Il en résulte toujours une atténuation du faisceau incident (18).

La radio toxicité dépend de plusieurs facteurs et les effets sont variables et incohérents. Ils sont classés en fonction de leur nature en effets héréditaires et somatiques et après l'exposition en effets stochastiques et déterministes (17).

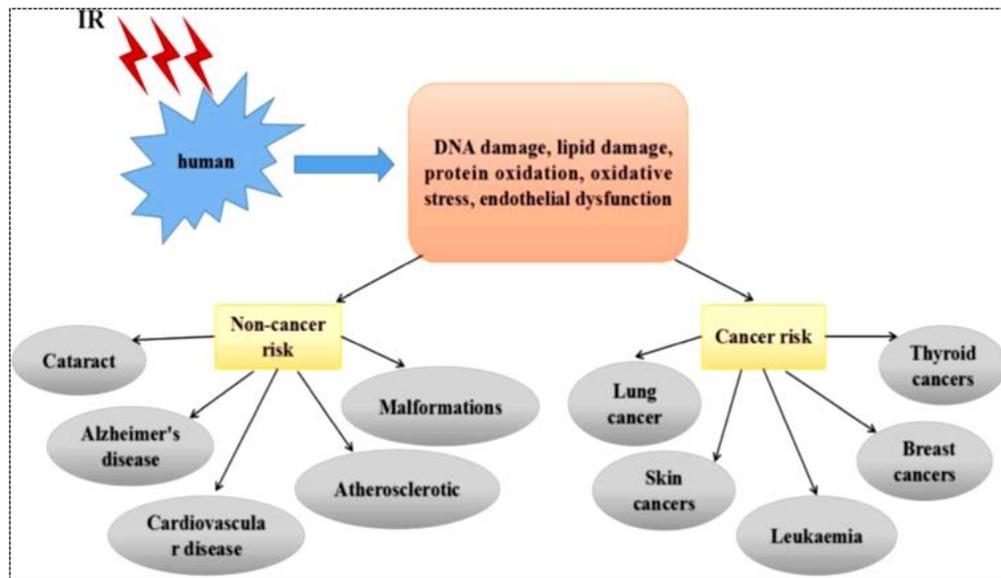


Figure 12: Effets biologiques et pathologiques des radiations ionisantes(48).

I.7.1. Effets stochastiques :

Ils se réfèrent à des effets aléatoires et imprévisibles généralement après une exposition chronique à faible dose de radiation. C'est un phénomène pour lequel il n'existe pas de seuil d'apparition (17).

I.7.1.1. Génétique ou héréditaire :

Les mutations génétiques après irradiation n'ont été mises en évidence qu'expérimentalement, sur la mouche et la souris. Les études épidémiologiques n'ont pas conclu, de manière certaine, une augmentation des effets génétiques dans la descendance des populations humaines irradiées(17).

I.7.1.2. Somatique :

L'effet est principalement subi par la personne exposée. Étant donné que le cancer est le principal résultat, il est parfois appelé effet cancérigène (essentiellement la leucémie, le myélome multiple et les cancers du sein, du côlon, thyroïde, ovaire, poumon, vessie, estomac, SNC (autre que le cerveau) et œsophage) (17). Les tissus avec un taux élevé de prolifération cellulaire sont plus sujets à l'induction de tumeurs par rayonnement. Le Cancer devient évident seulement longtemps après le premier dommage est fait, après une période de latence (leucémie 2 à 5 ans, tumeurs solides ≥ 10 ans).

I.7.1.3. In Utero :

Certains considèrent à tort qu'il s'agit d'une conséquence génétique de l'exposition aux RI, car l'effet subi par un embryon ou un fœtus en développement est observé après la naissance. Cependant, il s'agit d'un cas particulier de l'effet somatique(49).

Le rayonnement est un agent tératogène physique. En effet, l'embryon en développement est un système cellulaire à division rapide avec un bon apport sanguin et beaucoup d'oxygène. Par conséquent, sa sensibilité aux RI est similaire à celle de la tumeur. Les effets réels dépendent du stade de développement fœtal au moment de l'exposition(49). Le **tableau 1** représente les effets in utero en fonction de nombre de semaine post-conception après exposition aux RI.

Tableau I : Effets in utero en fonction de nombre de semaine post-conception après exposition aux RI (49) .

Nombres de semaine post-conception	Effets induits
0-1 pré implantation	Mort intra utérine
2-7 organogénèse	Anomalies du développement / retard de croissance / cancer
7-40 stade fœtal	Comme ci-dessus avec un risque plus faible et des anomalies fonctionnelles possibles

I.7.2. Effets déterministes :

Ou non stochastiques, sont non aléatoires et ont une réponse très prévisible au RI. L'effet est immédiat et intervient de manière certaine pour chaque individu irradié à une dose supérieure au seuil d'apparition de l'effet. Ex : fibrose pulmonaire radio-induite et cataracte (17).

I.7.2.1. Syndrome hématopoïétique :

Caractérisé par la destruction de la moelle osseuse à des doses de 1,5 à 2 Gy à tout le corps. L'aplasie médullaire s'exprime en 3 semaines avec des troubles infectieux, troubles de la coagulation, anémie et lymphocytopénie. A des doses de l'ordre de 4 à 8 Gy, la mort est possible en raison de saignements (17, 49).

I.7.2.2. Syndrome gastro-intestinal :

Caractérisé par une destruction de la muqueuse intestinale entraînant la mort dans les semaines suivant l'irradiation. Il se produit à des doses de 6 à 10 Gy. Ce syndrome s'exprime par une anorexie, diarrhée, infections, déshydratation, hémorragies digestives, occlusions, perforations, etc. Au cours de la deuxième semaine d'irradiation, une déshydratation sévère, une hémococoncentration et un collapsus circulatoire peuvent être observés conduisant à la mort (17, 49).

I.7.2.3. Syndrome du système nerveux central :

Caractérisé par un dérèglement général des fonctions vitales. Le SNC est généralement résistant aux effets des radiations. Une dose supérieure à 10 Gy peut causer des effets graves. Les symptômes sont intraitables : nausées et vomissements, confusion, convulsions, coma et lymphocytes absents. Le pronostic est mauvais et la mort est inévitable dans les heures qui suivent l'irradiation (17, 49).

Ces trois cas d'irradiations aiguës présentent des effets communs : nausée et vomissement, malaise et fatigue, hyperthermie et modification de la formule sanguine.

I.7.2.4. Autres syndromes :

Brûlures cutanées, perte de cheveux, stérilité, cataractes, hypothyroïdie, anémie aplasique (17, 49).

I.7.3. Facteurs influençant les effets biologiques :

I.7.3.1. Liés aux rayonnements ionisants :

Certains facteurs liés au rayonnement lui-même expliquent les différents effets induits par la même dose de rayonnement (17).

***Type de rayonnement :** par rapport à la différence de pouvoir pénétrant aux tissus (17).

***Modes d'administration :** la dose de rayonnement est évidemment un facteur important. De plus, une seule dose de rayonnement cause plus de dégâts que la même dose étant fractionnée. Collectivement, ces deux facteurs sont exprimés comme dose par fraction (17).

***Débit de dose :** C'est la dose par unité de temps, liée proportionnellement aux effets biologiques résultants (17).

I.7.3.2. Liés à la cible biologique :

Certaines propriétés des tissus et cellules peuvent modifier les effets biologiques des radiations(17).

***Radiosensibilité :**

Toutes les cellules vivantes ne sont pas également sensibles aux rayonnements. Celles qui se reproduisent activement sont plus sensibles. En effet, une cellule en division nécessite des informations ADN correctes pour que sa progéniture survive. Une interaction directe du rayonnement avec une cellule active pourrait entraîner sa mort ou sa mutation, tandis qu'une interaction directe avec l'ADN d'une cellule dormante aurait moins d'effet.

En conséquence, les cellules vivantes peuvent être classées en fonction de leur taux de reproduction, ce qui indique également leur sensibilité relative aux rayonnements. Cela signifie que différents systèmes cellulaires ont des sensibilités différentes. Les lymphocytes et les cellules productrices de sang se régénèrent constamment et sont donc les plus sensibles. Les cellules reproductrices et gastro-intestinales ne se régénèrent pas aussi rapidement et sont moins sensibles. Les cellules nerveuses et musculaires sont les plus lentes à se régénérer et sont les moins sensibles.

La présence d'oxygène augmente la sensibilité au rayonnement. Les cellules anoxiques (cellules avec un manque d'oxygène) ont tendance à être inactives (49).

La sensibilité des différents organes est en corrélation avec la sensibilité relative des cellules dont ils sont composés (49).

***Capacité de réparation de la cellule :**

Les cellules ont une énorme capacité de réparation. Par conséquent, tous les effets des rayonnements ne sont pas irréversibles. Dans de nombreux cas, les cellules sont capables de réparer complètement tout dommage et de fonctionner normalement. Si ces derniers sont suffisamment graves, la cellule affectée meurt. Dans certains cas, la cellule est endommagée mais peut toujours se reproduire. Les cellules filles, cependant, peuvent manquer de certains composants essentiels au maintien de la vie, et elles meurent.

L'autre résultat possible de l'exposition aux rayonnements est la mutation. La cellule mutée se reproduit et perpétue. Cela pourrait être le début d'une tumeur maligne (49).

CHAPITRE II : RADIOPROTECTION

II.1. Définition :

L'ASN (Autorité de sûreté nucléaire) définit la radioprotection comme « l'ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes directement ou indirectement, y compris par les atteintes portées à l'environnement » (50).

II.2. Principes de la radioprotection :

La radioprotection se base sur trois principes fondamentaux définis par la CIPR (commission internationale de protection radiologique) et adoptés par les instances nationales et réglementaires des différents pays. Il s'agit du :

II.2.1. Principe de justification :

L'utilisation de rayonnements ionisants à des fins médicales ou autres doit être justifiée afin d'éviter toute exposition inutile et limiter ainsi les risques sanitaires dus aux rayonnements ionisants (51).

Pour cela, une évaluation du rapport bénéfice/risque au niveau individuel et collectif et une analyse de la demande de l'examen est nécessaire et permet d'apprécier le respect des recommandations du guide du bon usage des examens d'imagerie médicale (50), et d'orienter vers d'autres alternatives moins irradiantes aussi bien pour le patient que pour le personnel médical(48).

II.2.2. Principe d'optimisation :

Les radiations ionisantes se caractérisent par l'absence de dose seuil au-delà de laquelle les effets néfastes et aléatoires apparaissent¹. Pour cela, il est nécessaire de maintenir le niveau d'exposition individuel et collectif aussi bas que raisonnablement possible (51) tout en conservant l'objectif recherché et en prenant en compte les facteurs économiques et sociaux selon le principe de précaution ALARA (As Low As Reasonably Achievable) énoncé par la CIPR dans ses recommandations (52) et qui est directement en rapport avec l'optimisation (50).

¹ Il est nécessaire de comprendre qu'il subsiste toujours un risque résiduel inévitable due aux radiations même lorsque l'exposition est justifiée et les mesures de protection sont suivies.

L'optimisation consiste en la gestion des expositions par la définition des procédures, matériels, des mesures et l'organisation des conditions de travail, puis la mise en œuvre de règles et moyens de contrôle afin de limiter le nombre d'exposés et de protéger autant le patient que le personnel (52).

II.2.3. Limitation des doses individuelles :

L'exposition individuelle aux rayonnements ionisants du grand public et des travailleurs doit être maintenue en dessous des limites de doses fixées par la réglementation qui sont une dose efficace sur une année de 1mSv et 50mSv respectivement (53, 54).

Ce principe s'applique à l'exposition totale des individus aux différentes sources de radiations ionisantes afin de prévenir et limiter les effets déterministes et tardives de ces rayonnements sur les tissus et organes.

Dans le domaine de la santé, la radioprotection des patients ne répond pas à la limitation des doses car cela pourrait rendre impossible l'usage médical des rayonnements vu que la majorité des examens de diagnostics et thérapeutiques utilisent des doses très élevées supérieures aux limites et qui sont adaptées selon le patient et le type d'examen considéré (50, 51). Mais cela n'empêche pas pour autant l'existence de niveau de référence pour les expositions médicales (55) (tableau 1).

Tableau II : Doses maximales admissibles professionnellement par exposition externe et interne sur 12 mois consécutifs(56).

	Personnel de la catégorie A	Personnel de la catégorie B	Public
Dose efficace corps entier	20 mSv	6 mSv	1 mSv
Dose équivalente à la peau (sur 1 cm²)	500 mSv	150 mSv	50 mSv
Dose équivalente aux extrémités *	500mSv	150 mSv	50 mSv
Dose équivalente au cristallin	150 mSv	50 mSv	15 mSv

* mains, avant-bras, pieds et chevilles.

II.3. Personnes concernées par la radioprotection :

On peut distinguer trois catégories de sujets qui sont directement concernés par la radioprotection dans le domaine médical et qui sont :

II.3.1. Personnel de santé:

Comprend toutes les personnes travaillant dans les structures de santé et les laboratoires à titre étatique ou privé ainsi que le personnel en formation ou en stage qui sont directement ou indirectement exposés aux rayonnements ionisants (50).

Ces derniers doivent être avertis des risques encourus et nécessitent un suivi et une classification en catégories selon le degré de leurs expositions (51).

II.3.2. Patients :

Ils représentent un groupe de sujets particulier exposés à des doses variables et élevées de radiations ionisantes à des fins médicales (diagnostique, radiothérapie...), dont la radioprotection est nécessaire par la justification, l'optimisation et la limitation de l'exposition (50). La radioprotection des patients a une incidence directe sur celle du personnel (57).

II.3.3. Grand public :

Avec l'élargissement du champ d'application de l'énergie nucléaire, la radioprotection s'est étendue au-delà des travailleurs et des patients à l'ensemble de la population (55) qui peut comprendre les personnes orbitant autour de l'établissement de santé c'est-à-dire les personnes jugées non exposées ou ceux non classés en zones, l'entourage du patient ou des travailleurs exposés aux radiations dont l'irradiation est d'origine médicale, ainsi que toute personne extérieure à l'établissement (39).

II.4. Réglementation de la radioprotection :

La radioprotection dans tous les domaines du nucléaire obéit à une réglementation de référence établie par les instances internationales de gestion du risque et de sécurité nucléaire dont les recommandations et politiques sont retranscrites dans les textes réglementaires nationaux.

II.4.1. Textes réglementaires Algériens :

Durant les dernières décennies et avec l'essor qu'a vu l'utilisation de la radioactivité et des examens irradiants dans les différents secteurs, principalement médical, l'Algérie a commencé à s'intéresser à la radioprotection et à la promotion de la sécurité nucléaire sur le territoire national.

Elle a donc mis en place une réglementation spécifique et adéquate(58) (**Annexe 1**)très influencée par les législations françaises et européennes, elles-mêmes inspirées des normes internationales édictées par des organismes compétents dans le domaine de la radioprotection telle que la commission internationale de protection radiologique(CIPR)...(**21, 26**).

Cette législation algérienne instaurée assez tardivement à la fin des années quatre-vingts (avec l'instruction ministérielle n°24 de 1989, première démarche dans la radio-prévention et protection, venant en application du décret et des arrêtés de 1986 et 1988 respectivement)(**59**) s'est développée pour donner naissance au décret n°05-117 sur les règles générales de la radioprotection²(**58**) et qui a été complétée par la suite par d'autres textes réglementaires :

-Arrêtés ministériels de Janvier 2011 sur la dosimétrie individuelle des travailleurs et la signalisation des zones réglementées(**60, 61**).

-Arrêtés de novembre 2015 sur la surveillance médicale des travailleurs exposés et l'optimisation(**62, 63**).

-Arrêtés du 02 juillet 2016 concernant la personne compétente en radioprotection.

Et cela afin de s'aligner sur l'évolution des autres pays surtout voisins : Maroc et Tunisie.

Elle englobe les points clés de la radioprotection et de la gestion des risques des rayonnements ionisants dont le régime d'autorisation et de déclaration, les principes et mesures de protection, le zonage des locaux, la surveillance et la formation du personnel par la personne compétente en radioprotection et le médecin du travail(**60, 61**).

- Quant à la gestion des déchets radioactifs issus des activités médicales, industrielles..., elle répond au décret présidentiel n°05-119(**64**).

Néanmoins il existe certaines lacunes dans ces engagements entrepris notamment dans les organismes de gestion des activités nucléaires à l'échelle nationale représentées par le commissariat à l'énergie atomique(COMENA) qui gère à la fois la dosimétrie, les déchets radioactifs et les audits et contrôles de la radioprotection(**64-66**) contrairement à la France qui a deux institutions distinctes : l'autorité de sureté nucléaire(ASN) responsable de l'inspection et l'application de la législation et l'institut de recherche et sureté

² Les chapitres 3 et 4 du présent décret regroupent la majorité des procédures de radioprotection.

nucléaire(IRSIN) du suivi permanent et de la prévention, épaulés par d'autres institutions et acteurs internes(personne compétente en radioprotection et médecin du travail)(21, 67).

L'obligation de la formation continue à des intervalles réguliers des travailleurs (tous les 3ans en France et au Maroc)(26, 68) ainsi que le rôle et l'implication du médecin du travail et de la personne compétente en radioprotection constituent aussi un point de discordance avec les recommandations européennes et mondiales.

On distingue par ailleurs l'absence de normes et de standards des structures des locaux (contenant des sources de radioactivité scellées ou non) ainsi que leur aménagement et agencement et des matériaux utilisés à cet effet(58, 68).

II.4.2. Réglementation Française et Européenne :

Contrairement à l'Algérie qui ne s'est préoccupée de la radioprotection qu'à la fin des années quatre-vingts, dans la réglementation Française, les bases de la radioprotection ont été introduites en 1934 par le décret du 5 décembre 1934 relatif à la protection contre les effets déterministes qui a été maintenu en vigueur jusqu'aux décret n° 66-450 du 20 juin 1966 relatif aux principes généraux de protection contre les rayonnements ionisants et décrets n° 67-228 du 15 mars 1967 et n° 75-306 du 28 avril 1975 relatifs à la protection des travailleurs (69). Ces bases et principes édictés par la réglementation étaient peu appliqués et demeuraient majoritairement théoriques (69).

La législation s'est ensuite enrichie par d'autres circulaires et décrets concernant les effets des rayonnements, les principes de radioprotection et la protection des travailleurs évoluant avec les recommandations de la CIPR et de l'Euratom (Communauté européenne de l'énergie atomique) (70).

Actuellement, elle repose sur les textes, transposés à partir des directives européennes «90/641, 96/29, 97/43 Euratom » (70, 71) mises à jour en 2014 dans la nouvelle directive 2013/59/Euratom (25) (Annexe 2).

Tout comme l'Algérie, la France adopte le régime de déclaration et d'autorisation pour les dispositifs utilisant des rayonnements ionisants, elle préconise aussi l'application du principe de justification et d'optimisation dans le secteur médical et en définit les dispositions et modalités dans les divers décrets et lois codifiés dans le code de la santé publique (67). Dans son code du travail, il précise les limites d'exposition, les règles de

zonage des locaux (arrêté du 15 mai 2006), la désignation de la PCR (personne compétente en radioprotection) (67).

Pour les modalités de contrôle (des patients, des travailleurs, de l'ambiance, des appareils) et les audits réglementaires, elles sont aussi bien définies dans le CSP que dans le CT(67).

La création des organismes d'expertise et de contrôle de radioprotection IRSN (Institut de recherche et de sûreté nucléaire) et DGSNR (la Direction générale de la sûreté nucléaire et de la radioprotection) (devenu ASN en 2006) et leurs rôles sont définies dans les décrets n°2002-254 et n°2002-255 respectivement (67, 70).

II.4.3. Réglementation aux Etats Unis :

De nombreux organes gouvernementaux participent à la réglementation et à la recherche dans le domaine nucléaire, on distingue principalement :

- Sur le plan fédéral, le Département de l'Énergie (DOE) créé suite à la loi de 1977 et qui a succédé à l'Agence pour la recherche et le développement de l'énergie responsable de la coordination de la politique et des programmes énergétiques fédéraux(72).
- La Commission de la réglementation nucléaire (Nuclear Regulatory Commission : NRC) créé par la Loi de 1974 sur la réorganisation dans le domaine de l'énergie et qui est en charge de l'autorisation et de la réglementation de l'utilisation à des fins civiles des matières radioactives (72).

Cette législation est gérée par le code des Etats-Unis (USC) ainsi que dans le code de réglementation fédérale (CFR). Dans le code du règlement fédéral, la radioprotection des travailleurs est présente dans de nombreux chapitres et parties du titre 10 'Energy' (73)(Annexe 3).

II.5. Organismes de gestion de la radioprotection :

II.5.1. Organismes internationaux :

A l'échelle internationale, plusieurs instances interagissent pour l'élaboration des normes et directives nécessaires à la mise en place d'un système efficace de radioprotection permettant une utilisation sécuritaire des rayonnements et des sources radioactives et une gestion des risques sanitaires.

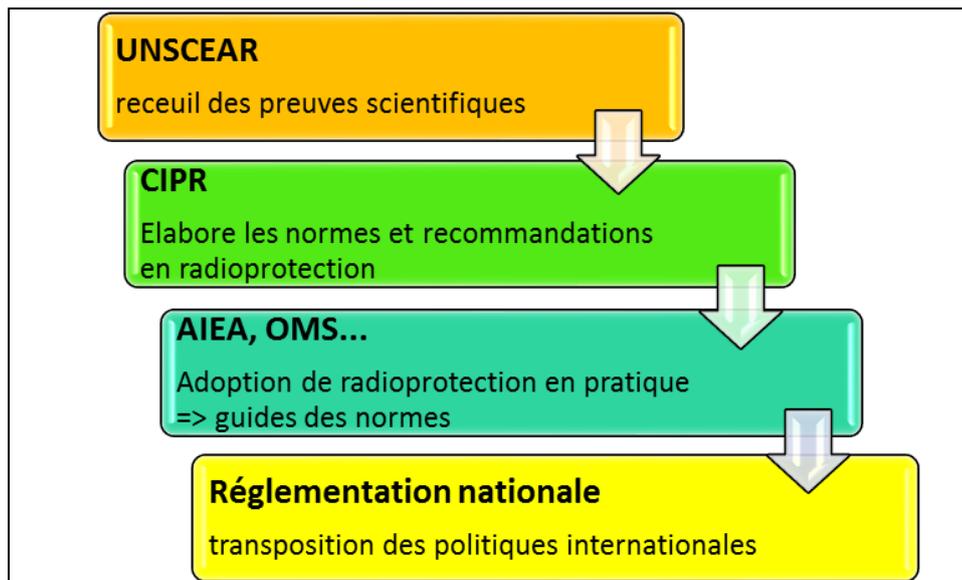


Figure 13 : Organisation de la radioprotection (26, 74).

II.5.1.1. Commission internationale de protection radiologique (CIPR) :

C'est une organisation internationale de référence en matière de radioprotection. Elle fut créée en 1928, connue d'abord sous le nom de Comité international de protection contre les rayons X et le radium (IXRPC) puis transformée en 1950 en commission internationale de protection radiologique (75, 76) élargissant son champ d'action au-delà des activités médicales vers l'ensemble du domaine de l'énergie nucléaire (75).

Elle représente un organe consultatif responsable du développement, du maintien et de l'élaboration des normes, des lignes directrices, des programmes, des pratiques et des principes fondamentaux de radioprotection (74) ainsi que de l'établissement de modèles de limite et de contrôle de doses (26).

Ces recommandations fondées sur les travaux scientifiques en relation avec les expositions aux rayonnements ionisants d'organismes tels que l'UNSCEAR (Comité scientifique des nations unies pour l'étude des effets des radiations atomiques) ou l'Association internationale de radioprotection (77) sont destinées à créer un système de protection homogène des travailleurs, du public et de l'environnement dont les politiques sont reprises au niveau internationale, communautaire et adaptées par les législations nationales (26, 74, 77).

L'essentiel des recommandations ont été édictées dans la publication CIPR 60 puis dans celle de 2007 'CIPR 103' (25).

II.5.1.2. Comité scientifique des nations unies pour l'étude des effets des radiations atomiques (UNSCEAR) :

L'UNSCEAR est un comité scientifique non gouvernemental créé en 1955 par l'ONU (Organisation des Nations unies) dans le but d'évaluer la radio-exposition et les bases de la protection contre les radiations (26).

Formé d'experts et de scientifiques de plusieurs pays, ce dernier est chargé du recueil et de la collecte des informations sur les niveaux d'expositions aux rayonnements ionisants quelle que soit leur origine (naturelle, artificielle, médicale...) (75) afin d'étudier et évaluer leurs effets sanitaires et environnementaux(77).

Les études et les rapports publiés par l'UNSCEAR sur l'exposition et l'estimation du risque constituent les bases scientifiques à l'origine des normes de contrôle des sources et des mesures de radioprotection (26).

II.5.1.3. Agence internationale à l'énergie atomique (AIEA) :

C'est une organisation intergouvernementale créé en 1957 et dont le rôle s'est renforcé en 1968 suite au traité de non-prolifération des armes nucléaires (26).

Elle œuvre à une utilisation pacifique et sécuritaire de l'énergie nucléaire, au sein de ses pays membres dont l'Algérie, basée sur trois piliers qui sont :

- La vérification et l'inspection des installations et activités nucléaires au niveau mondial.
- La promotion de l'utilisation des sciences nucléaires, de l'échange d'informations et de techniques de radioprotection dans des conditions de travail spécifiques (78).
- L'établissement et la promotion des normes de sûreté et de sécurité pour la protection des individus et la limitation de l'exposition aux rayonnements (26, 75) publiées sous le nom de « Safety Standards Series » comprenant 3 volets (Safety Fundamentals, Safety Requirements and Safety Guides (78)) et dont la publication la plus importante est essentiellement les Basic Safety's Standard (BSS) (78, 79).

Ainsi l'AIEA, via ses programmes et guides, assure une approche international harmonisée la radioprotection (78) et assiste ses Etats Membres et leur fournit un appui pour la mise en œuvre et l'application spécifique des normes et standards en pratique (74).

II.5.1.4. Autres organismes internationaux :

En plus de ceux cités précédemment, il existe d'autres organismes qui travaillent en collaboration au niveau international pour enrichir le domaine d'expertise et de recherche nucléaire et promouvoir la radioprotection, tel que :

- **Commission internationale des unités et des mesures des rayonnements ICRU :** Responsable de la définition des recommandations d'utilisation des rayonnements ionisants, d'étalonnage des appareils ainsi que de la conception de la dosimétrie et du système de grandeurs et d'unités universelles (75).
- **Organisation internationale de normalisation ISO:** Comprend une commission chargée de la radioprotection publiant des normes de dosimétrie, de fabrication et de performances des appareils et des sources (75).
- **Organismes affiliés à l'ONU comme :** Le Bureau international du travail (BIT) qui collabore avec l'AIEA dans l'établissement de ses normes de sécurité (77, 78), l'organisation mondiale de la santé (OMS), organisation mondiale du travail (OIT)...(76).

II.5.2. Organismes communautaires européens (Euratom) :

En 1957, et suite au traité de Rome, fut créée la communauté européenne de l'énergie atomique (CCEA) ou Euratom dont le rôle principal est de promouvoir le développement nucléaire et la sécurité radiologique au niveau des pays membres (26).

Ce dernier participe au partage des connaissances techniques, à la promotion de la recherche et de l'investissement dans le domaine nucléaire et la collaboration avec les tiers, et vise à établir des normes de sécurité destinées à la protection des travailleurs et de la population (26, 75). Dans ce contexte, l'Euratom a émis des décisions et des directives dont la transposition dans la réglementation nationale des pays membres est obligatoire (76), parmi elles, nous citons :

- Directive 90/641/Euratom concernant la protection opérationnelle des travailleurs extérieurs exposés à un risque de rayonnements ionisants (80).
- Directive 96/29 Euratom fixant les normes de base de la radioprotection de la population et des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants (55, 81).
- Directive 97/43/Euratom relative à la protection sanitaire des patients (82).

- Directive 2013-59Euratom qui reprend la majorité des dispositions des directives 96/29 et 97/43Euratom avec des mises à jour pour l'amélioration des pratiques, de la formation, de la prise en charge des patients et de sa radioprotection **(83)**.

II.5.3. Instances nationales algériennes :

En 1988 fut créé un centre de recherche nommé « Centre de radioprotection et de sureté » responsable de l'élaboration et du développement de la radioprotection et de la gestion et formation des travailleurs sous rayonnement, sous la tutelle du Haut-Commissariat à la Recherche **(84)**. L'activité de radioprotection a été ensuite transférée au centre de recherche nucléaire d'Alger **(85)**.

En 1996, la création du commissariat à l'énergie atomique (COMENA) a reconduit l'exercice de la radioprotection **(66)**. Ce dernier à travers l'organe réglementaire et en collaboration avec le Ministère de la Santé participe à l'élaboration d'une réglementation nationale en radioprotection en accord avec les normes et recommandations internationales **(66)**, mais aussi à la surveillance de la radioactivité sur le territoire constituant l'autorité de contrôle réglementaire de la sureté biologique et nucléaire **(86)**.

La mise en œuvre de ces programmes repose sur les centres d'études et de recherche qui lui sont rattachés **(66)** : Centre de Recherche Nucléaire de Birine (CRNB Djelfa), Centre de Recherche Nucléaire de Draria (CRND), Centre de Recherche Nucléaire Tamanrasset (CRNT), Institut Algérien de Formation en Génie Nucléaire (IAGN), Centre de Formation et d'Appui à la Sécurité Nucléaire (CSN), Unité de Recherche et Développement en Ingénierie Nucléaire (URDIN) **(65)**. Ainsi que le Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) chargé de la mise en place de la radioprotection et de la surveillance médicale et la formation en protection et en sûreté nucléaire **(87)**.

II.6. Organisation et mesures de la radioprotection :

Afin de prévenir et limiter les risques sanitaires dus aux rayonnements ionisants, des mesures en matière de radioprotection sont entreprises par les titulaires d'autorisation ou de déclaration d'utilisation de sources radioactives **(21)**, ces mesures doivent être efficaces et proportionnées au risque pour une protection optimale.

II.6.1. Mesures techniques de protection du personnel :

La prévention des dommages des radiations ionisantes repose en premier lieu sur le principe ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) qui vise à diminuer les doses de rayonnements auxquels sont exposés les professionnels de santé ou autres, les patients ainsi que le public et les garder au niveau le plus bas par l'information et la formation des travailleurs aux mesures de protection et l'établissement des conditions de travail optimales (26).

II.6.1.1. Protection collective :

A. Aménagement de locaux et zonage radiologique :

L'organisation optimisée des locaux et espaces de travail dont la conception devrait répondre à certaines normes (tel que la norme française NF C 15-160 de 2011 ou la décision ASN n° 2013-DC-0349 concernant la superficie et l'installation électrique) (7) absentes dans la législation algérienne est nécessaire pour diminuer les risques d'exposition du personnel et assurer le respect des limites de doses fixées.

Le chef de service ou de l'établissement en collaboration avec la personne compétente en radioprotection veille à la délimitation des locaux et la signalisation des zones réglementées (21, 58) à partir des résultats d'études des postes de travail et de l'évaluation prévisionnelle des doses (56) ; conformément à la réglementation l'espace de travail est donc classé en :

***Zone contrôlée :** généralement délimitée autour de la source en radiologie médicale (88) et définie comme « zone dans laquelle les travailleurs sont susceptibles de dépasser, dans les conditions normales de travail, les trois dixièmes (3/10) de l'une des limites de dose fixées par l'article 18 » (58). Elle est signalée par un trèfle vert sur fond blanc et peut contenir des zones délimitées en rouge et dont l'accès est interdit (61).

Dans la réglementation française, il existe 3 types de zones spécialement réglementées qui sont : la zone jaune, la zone orange et la zone rouge (21).

***Zone surveillée :** dans laquelle les travailleurs sont susceptibles de dépasser, dans les conditions normales de travail, un dixième (1/10) de l'une des limites de dose fixées par l'article 18 (58). Elle est signalée par un trèfle gris-bleu sur fond blanc (61). Ces différentes zones (figure 2) sont à accès restreint et obéissent un règlement intérieur de radioprotection spécifique pour chaque structure, dérivé des textes réglementaires en

vigueur. Ce programme permet d'informer le personnel sur les risques d'exposition aux rayonnements et de définir les procédures de mise en marche et de maintenance des installations, les mesures d'hygiène et d'entretien des locaux, les consignes de protection et de sécurité ainsi que les mesures d'urgence radiologique; et doit faire l'état d'un affichage au sein de l'unité accompagné d'un plan détaillé de la structure et délimitation de la zone réglementée, de l'emplacement des sources de radiations et de la signalisation (21, 56, 88).

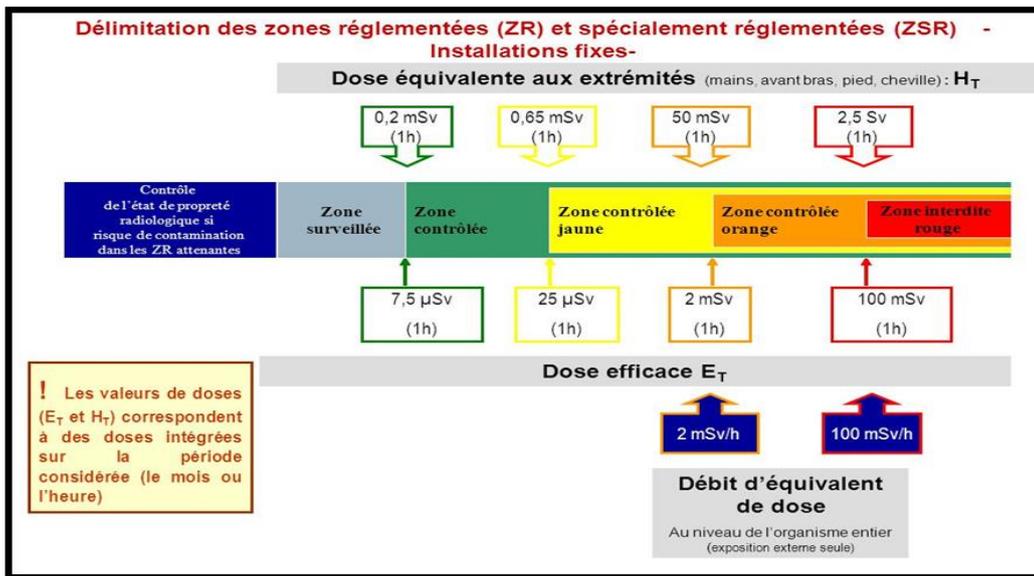


Figure 14: Valeurs opérationnelle de délimitation des installations fixe (21, 26).

Le personnel affecté à ces zones fait l'objet d'une catégorisation en fonction des risques, des expositions et des doses susceptible d'être reçues annuellement qui permet de conditionner leur surveillance radiologique et médicale (21, 56, 58) ; deux catégories sont définies :

-Catégorie A : comporte les travailleurs directement affectés aux rayonnements ionisants et dont l'exposition dans les conditions habituelles de travail est susceptibles de dépasser (3/10) des limites annuelles de dose (56, 58). Le personnel médical d'angiographie et de radiologie et scannographie interventionnelles ainsi que les techniciens et les manipulateurs de médecine nucléaire préparant et injectant les molécules marquées relèvent de la catégorie A (26, 56).

-Catégorie B : concerne tout travailleur exposé aux rayonnements ionisants et non affecté en catégorie A ; les femmes enceintes et les mineurs en formation sont systématiquement

classées dans cette catégorie (21, 56). Ces derniers appartiennent généralement à la zone surveillée et doivent bénéficier d'une dosimétrie passive (26).

La signalisation constitue aussi un critère obligatoire dans les locaux comprenant des activités nucléaires et radioactives et permettent de séparer la zone public des zones réglementées ; en effet des panneaux et pictogrammes réglementaires d'avertissement du danger et de la restriction de circulation sont accolés aux points d'accès de ces zones (figure 3) (26, 88). Les trèfles prennent des colorations et des notifications différentes selon la zone concernée et le type d'exposition.



Figure 15 : Quelques panneaux de signalisation du zonage radiologique (21).

La présence d'une signalisation lumineuse est aussi nécessaire; un indicateur lumineux rouge est placé à l'entrée des salles d'examens et s'allume automatiquement dès que l'appareil est sous tension, un autre signal visuel clignotant et même sonore s'active lors de l'émission de rayonnements par l'appareil(26).

Quant à l'aménagement des espaces, il est différents selon l'activité considérée (radiologique, médecine nucléaire, radiothérapie) c'est-à-dire selon le type et l'énergie des rayonnements émis et le risque d'exposition (interne ou externe).

En radiodiagnostic, le personnel étant principalement exposé aux rayons X, les salles d'examens doivent posséder un revêtement en plomb au niveau des murs et des portes dont l'épaisseur est fixée par voie réglementaire (89) permettant d'atténuer à la fois les radiations primaires émises par l'appareil radiogène et secondaires diffusées par le patient (57) , elles peuvent aussi disposer d'un blindage des murs et parois en plus de celui de la source radioactive.

Au sein du la salle, des équipements de protection collectives sont présents pour satisfaire à l'une des règles de radioprotection qui est l'usage d'écran (5, 48). Ces derniers

constituent une barrière efficace entre la source de rayonnements et l'opérateur et assurent une protection effective du fait de leur haute équivalence en plomb (2).

On note les boucliers protecteurs autonomes, les paravents plombés fixes ou mobiles disposés à proximité des sources ou suspendus au plafond pour diminuer la dose reçue au niveau de la tête, les écrans en verre plombé, les bas-volets... (2, 58) (figure 4); des postes de commandes permettant la manipulation des appareils à distance sont également nécessaires (58).

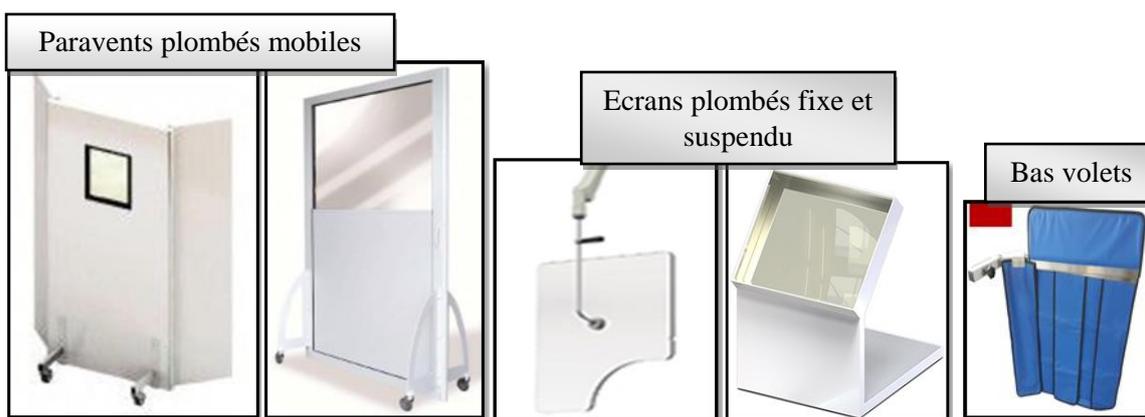


Figure 16: Quelques équipements de protection collective au sein des salles d'examen et d'intervention(90).

En médecine nucléaire, c'est le risque de contamination qui prédomine et qui peut être évitée par un aménagement du lieu de travail : les murs, sols et surfaces de travail doivent être lisses et imperméables avec absence d'angles facilitant le nettoyage ; la présence d'hottes ventilées et d'enceintes fermés pour la manipulation et la préparation des trousse. Une dépression et un renouvellement de l'air de la salle sont indispensables (39, 56, 58, 91). Il faut noter aussi que tout équipement présent dans la salle ou utilisé pour la préparation, le transport (portes-seringues ou portes-flacons) et l'élimination des radionucléides doivent être blindés (en plomb, tungstène ou plexiglas suivant le type de rayonnements ionisants) (91).



Figure 17: Les équipements utilisés en médecine nucléaire(91).

B. Etats des sources radiologiques et des appareils:

Pour maintenir leurs performances et conserver leur intégrité et par conséquent assurer une radioprotection efficace, un contrôle et une maintenance réguliers des appareils et sources (scellées ou non scellées) de rayonnements ionisants et des dispositifs de protection, de suivi, de signalisation et de mesures d'ambiance sont exigés par la réglementation (58).

Ces contrôles d'ordre technique, métrologique et de sûreté sont réalisés périodiquement selon des intervalles réguliers et un programme préétabli par des organismes agréés ou par le chef du service épaulé de la personne compétente en radioprotection qu'il s'agisse d'un contrôle de qualité externe ou interne. Ils comprennent (26, 58):

- La vérification de la conformité de l'installation des appareils émetteurs de rayons aux règles de sécurité.

- La vérification du bon fonctionnement des sources et générateurs et l'absence de fuite dans le blindage afin d'écarter ceux qui sont non conformes.

Dans la législation française, une durée limite de 10 ans a été fixée pour garantir la sécurité (92) ce qui n'est pas le cas en Algérie.

- Le contrôle de l'étanchéité des sols des locaux, d'entreposage des sources ainsi que la fermeture hermétique des conteneurs.

- L'étalonnage des dosimètres (tous les 6 mois) et des autres appareils de mesure et de détection des rayonnements.

- Le contrôle de l'équivalence en plomb et de l'intégrité des équipements de protection (absence de cassure, de perforation...) au moins deux fois par an pour assurer leur conformité aux critères de protection (5, 57).

-Vérification des alarmes et signaux destinés à la détection des fuites et des dépassements des doses limites de rayonnements.

Le contrôle de qualité initial des appareils et dispositifs lors de la réception et de l'installation est primordial. Tous les contrôles effectués au niveau interne ou externe sur les appareils et dispositifs depuis leur réception jusqu'à leur mise hors service suivent un programme écrit, détaillé et réévalué fréquemment par le chef de l'établissement et ses interlocuteurs acteurs de la radioprotection et doivent faire l'objet de rapports et être reportés sur un registre mis à disposition des inspecteurs de radioprotection du COMENA (Commissariat à l'énergie atomique) (26, 58).

En médecine nucléaire, on distingue aussi le contrôle des préparations radio-pharmaceutiques qui influe sur la qualité du diagnostic mais surtout la dose de rayonnements reçue par le patient qui devient une source de radiations après injection des traceurs marqués (91).

C. Gestion des déchets et contrôle de l'ambiance :

Au niveau des structures présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants, des mesures, outre le zonage et la maintenance des appareils et dispositifs de protection, doivent être entreprises, il s'agit dans ce cas de la gestion des déchets radioactifs dus aux activités diagnostiques et curatives et du contrôle de l'environnement de travail.

Concernant les déchets radioactifs, des modalités et des normes de collecte, de manipulation, de stockage et d'élimination sont précisées par l'autorité réglementaire (COMENA)(64) et appliqués par les responsables de l'établissement. Elles concernent essentiellement le tri sélectif des déchets, l'élimination du matériel utilisé pour la désinfection des surfaces souillées ou pour les soins des patients dans des sacs spécialisés étanches signalant le type de danger, la collecte des flacons et seringues des préparations radio-pharmaceutiques dans des conteneurs blindés, le port de gants et l'usage de chariots adaptés lors du transport des déchets pour éviter le contact et augmenter la distance entre la source et l'opérateur (91), le stockage des effluents liquides dans des cuves de dilution ainsi que l'entreposage de ces déchets dans des locaux dédiés à cet effet et répondant aux exigences réglementaires de sûreté radiologique et de protection physique (64).

Il aussi impératif de nommer un agent qualifié et formé à la gestion des déchets qui va chapoter l'équipe d'hygiène et veiller à l'application des dispositions du programme préétabli et l'entretien d'un registre faisant l'inventaire des déchets radioactifs (64).

N.B : La numérisation actuelle des procédés d'imagerie médicale a conduit à une diminution de la production de déchets et par conséquent à un abaissement du risque.

Pour ce qui est du contrôle d'ambiance qui vise à évaluer principalement l'exposition externe, il consiste en ventilation adaptée assurant le renouvellement de l'air et qui doit être vérifiée fréquemment, l'usage de nombreux dosimètres témoins, détecteurs et radiomètres portatifs pour la vérification des niveaux d'exposition à l'intérieur du local d'examen, de stockage des déchets et dans la zone à accès libre (64) ainsi que pour la mesure des rayonnements primaires émis par les appareils dont les variations indiquent un dysfonctionnement (88).

Ces contrôles doivent être réalisés périodiquement au moins une fois par mois et leurs résultats seront consignés dans des rapports (26).

II.6.1.2. Protection individuelle :

A. Triplet temps-distance-écran :

Il a été démontré à l'issue de nombreuses études et suite aux recommandations des organismes internationaux que la radioprotection dans le domaine nucléaire et particulièrement en milieu médical se base sur trois règles principales qui sont « **distance-temps- écran** » (5, 9, 57), supplémentées d'autres mesures issues de la jurisprudence des scientifiques.

- **Distance :** L'exposition aux radiations étant inversement proportionnelle au carré de la distance (5), un positionnement adéquat du personnel vis-à-vis du patient et de la source de rayonnements influence considérablement le niveau d'exposition professionnelle et conduit à une réduction de la dose efficace reçue (9). En effet la CIPR recommande dans ces publications une distance de sécurité minimale de 2 mètres de la source de radiation (5) d'où la nécessité de la réglementation de la superficie des salles d'examens (7).
- **Temps :** Une organisation optimisée du travail permet de réduire le temps total d'exposition des opérateurs et donc la dose de radiations reçues et la quantité cumulée au cours de l'exercice de leurs fonctions. Par exemple, une rotation du personnel autour d'un poste d'exposition assure une diminution du temps passé au contact des rayonnements et un partage des doses (57). Aussi l'entrée au sein de la salle de contrôle

lors d'un examen et l'usage de matériel automatisé réduit le temps d'exposition aux rayonnements diffusés (2).

- **Ecran :** Lorsque l'examen impose la présence de l'opérateur dans la salle auprès du patient ou pour assurer une meilleure protection contre les rayonnements émis et diffusés, l'usage d'autres moyens de protection est nécessaire. Ces derniers se matérialisent dans les dispositifs collectifs et les équipements de protection individuelle (EPI). Constitués dans leur majorité de plomb ou de produits équivalents, les EPI permettent d'atténuer certains types de radiations ionisantes dont principalement les rayons X et γ et offrent différents niveaux de protection, il s'agit de (5, 9):
 - Tabliers plombés qui sont très utilisés et doivent contenir un minimum de 0,35 à 0,5 millimètres de plomb (26).
 - Caches-thyroïdes assurant une réduction d'environ 50% de l'exposition totale, leur port est nécessaire vue l'importante radiosensibilité de la glande thyroïde.
 - Gants en plomb : leur utilisation est surtout recommandée en radiologie interventionnelle et lors de la préparation de produits radio-pharmaceutiques mais ils sont lourds et peu pratiques (92) et peuvent être remplacés par des crèmes pour mains à base de bismuth (5).
 - Lunettes en verre plombé assurant une réduction d'environ 60% de la dose de rayonnements reçues aux yeux (9), elles doivent procurer aussi une protection latérale comme elles peuvent être remplacées par des visières (26).



Figure 18: les équipements de protection individuelle(90).

Tous les EPI cités précédemment ainsi que ceux non cités car peu utilisés (chascables plombées avec ceintures, visières, les champs opératoires stériles anti-diffusants, ceinture de grossesse(26)) doivent être correctement rangés (sur des cintres ou des supports plats) et régulièrement entretenus après leur utilisation pour conserver leur intégrité (5).

En revanche, en médecine nucléaire où l'énergie des rayonnements utilisés est importante (89) et les travailleurs sont exposés à un double risque (de contamination et d'exposition externe) (56, 91).

Ces EPI sont moins efficaces que sur les rayons X et γ et sont utilisés surtout lors de la préparation de radio-traceurs(57) ainsi on leur préfère des combinaisons étanches, des gants et chaussures imperméables ou des vêtements de protection à base de tungstène et d'acier doublé de plomb (57).

II.6.1.3. Dosimétrie :

C'est une méthode efficace de radioprotection, elle permet à la fois une évaluation des doses de rayonnements reçues par les travailleurs affectés aux rayonnements et une surveillance de leurs expositions externes quelle que soit leurs activités, et par conséquent, la mise en place d'un planning de radioprotection adapté pour contrer le risque radiologique.

L'usage de dosimètres dans le cadre des travaux soumis aux radiations est une obligation réglementaire (60, 89) issue des recommandations de la CIPR (9), il s'agit de badges personnels et nominatifs portés par le personnel exposé aux rayonnements ionisants afin de mesurer l'exposition individuelle cumulative sur une période de temps déterminée (5, 9). Ces dosimètres doivent être adaptés aux caractéristiques du rayonnement à mesurer et au type d'exposition (26). En Algérie, ils sont fournis et analysés par les services techniques du commissariat à l'énergie atomique ou par des services agréés par ce dernier (58).

Sur le plan pratique, deux types de dosimétrie sont généralement utilisés : une **passive** permettant une mesure en temps différé de l'exposition, qui est obligatoirement utilisée quelle que soit la zone radiologique considérée (contrôlée ou surveillée) ou la catégorie du personnel(21, 26) et une autre **active** ou **opérationnelle** qui procure une visualisation en temps réel de la dose de radiation à laquelle est exposé le travailleur (9, 91) facilitant ainsi l'optimisation des pratiques et évitant le dépassement de doses limites mais son utilisation n'est systématique qu'en zone contrôlée (21).

De nombreux dosimètres peuvent être portés par les travailleurs mais l'idéal serait le port de deux dosimètres dont l'un à la poitrine (thoracique) sous le tablier plombé estimant la dose efficace reçue par l'organisme entier et l'autre au niveau du col par-dessus le tablier permettant de mesurer la dose de radiation à laquelle sont exposées les parties non protégées du corps (5, 9, 89).

Pour d'autres activités telles qu'en médecine nucléaire ou en radiologie interventionnelle où l'exposition des mains est inévitable, une dosimétrie des extrémités s'avère nécessaire (dosimètre au poignet ou sur bague) pour apprécier la dose équivalente reçue localement (56, 60).



Figure 19: Les différents types de dosimètres(22, 90, 93).

II.6.1.4. Autres techniques :

Outre les méthodes techniques de protection individuelle citées précédemment, d'autres mesures assurent à elles aussi une réduction efficace de l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants.

*Lors des étapes successives de préparation et d'administration des radionucléides surtout, le personnel est sujet à une contamination interne par inhalation, blessure ou ingestion. Cette contamination dont le risque est faible dans les conditions normales peut être évitée par de simples règles d'hygiène tel que ne pas boire, fumer ou manger dans les salles de préparation ou d'injection de produits marqués, couvrir la bouche et le nez par des masques pour réduire l'inhalation (des particules α surtout) (48, 56, 91).

*L'usage d'appareils récents et des nouvelles technologies automatisées permettant une reconstitution des images (plus nettes à contraste élevé), une réduction du bruit et une manipulation à distance et donc une diminution des radiations (57).

*Prendre en considération la dose délivrée au patient, ce dernier étant lui-même une source de radiations par l'injection d'un radio-traceur ou la dispersion des rayons reçus du générateur, donc une diminution de la dose qui lui est administrée conduit systématiquement à une réduction de l'exposition du personnel de santé (2, 57) ; et cela se fait par le choix de la radioactivité injectée et du radionucléide utilisé, l'usage de protocoles à faibles doses en salles d'opération et la réduction de la surface exposée aux rayonnements ionisants c'est-à-dire de la quantité de rayons dispersés (56, 57).

*La justification de toute procédure diagnostique ou thérapeutique exposant aux radiations et la suppression des actes inutiles (5).

II.6.2. Surveillance médicale et suivi de l'exposition:

Le niveau élevé d'exposition aux radiations ionisantes du personnel de santé constitue un problème majeur d'où la nécessité d'une surveillance renforcée par le médecin de travail conformément à la législation locale (48).

II.6.2.1. Suivi de l'exposition :

La surveillance de l'exposition externe est assurée par une dosimétrie passive uniquement au niveau de la zone surveillée et en zone contrôlée par l'usage d'une double dosimétrie (passive et opérationnelle). Les deux catégories A et B de travailleurs affectés à ces zones bénéficient d'un suivi dosimétrique mensuel et trimestriel respectivement indépendamment de la zone (21, 26).

En France, l'IRSN (Institut de recherche et de sûreté nucléaire) dans son programme de veille sanitaire a assuré une centralisation des données nationales de la dosimétrie individuelle des travailleurs exposés dans le **Système SISERI** (Système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants) permettant ainsi une analyse et un suivi de l'exposition afin d'établir des actions améliorant la radioprotection (21).

Pour ce qui est de la surveillance de la contamination (ou exposition interne), elle se fait par des analyses radio-toxicologiques périodiques (des urines surtout) et anthroporadiométriques selon un programme prescrit par le médecin de travail (56, 91).

II.6.2.2. Surveillance médicale :

La surveillance médicale des travailleurs affectés aux rayonnements est un outil important de la radioprotection dont les modalités sont définies par voie réglementaire, en effet elle permet un dépistage précoce des lésions précancéreuses et des pathologies radio-induites (92) et un suivi de l'exposition afin d'adapter la prise en charge et la protection.

Elle comprend une visite initiale d'aptitude au poste qui est obligatoire avant toute affectation à un travail sous rayonnements (26, 58) suivie d'examens médicaux individuels périodiques, au moins annuels, pour les travailleurs de catégorie B et deux fois par an pour ceux de la catégorie A(60) et dont la fréquence peut être réadaptée par le médecin du travail.

Ces visites périodiques comprennent un interrogatoire et un examen clinique pour détecter l'absence ou la présence d'atteintes hématologiques, ophtalmologiques, dermatologiques ou pulmonaires ainsi que toute contre-indication médicale aux travaux sous rayonnements ionisants (91, 92), et leur résultats sont rajoutés aux données de la fiche d'exposition et du suivi dosimétrique pour déterminer l'intégrité corporelle et l'aptitude médicale du sujet concerné (60).

Aussi, en fonction de l'orientation clinique et des risques d'exposition encourus, le médecin du travail peut prescrire les examens complémentaires qu'il juge nécessaires pour renforcer sa prise de décision, il peut alors s'agir d'examens hématologiques avec une NFS (Numération de la formule sanguine) annuelle ou semestrielle systématique (26, 92), de bilans biologiques, d'examen ophtalmologique de référence ou de radiographie pulmonaire et d'EFR (Exploration fonctionnelle respiratoire) (si risque de contamination) (58, 92).

La surveillance médicale peut s'avérer nécessaire lors de la reprise du travail après un arrêt de désintoxication ou un congé mais aussi en cas de surexposition ou de dépassement des limites de doses pour le personnel fixées par la réglementation (58, 60).

Afin de garantir une traçabilité et un suivi de qualité, le médecin du travail doit constituer un dossier médical individuel spécial pour chaque salarié exposé aux radiations ionisantes où seront notés les résultats des examens médicaux et complémentaires et des analyses dosimétriques accompagnés des fiches d'aptitudes et d'exposition (contenant toutes les caractéristiques de l'exposition) (21, 58), ce dernier est mis à jour à chaque visite.

II.6.2.3. Place de la toxicologie dans le bio monitoring :

Au-delà des missions du médecin du travail dans la surveillance médicale du personnel via les différents examens cliniques, biologiques et complémentaires ; et de la personne compétente en radioprotection dans leur suivi dosimétrique(21, 26), d'autres acteurs sont indispensables dans ce processus de veille sanitaire.

Le toxicologue est ainsi un acteur majeur dans le bio-monitoring et le suivi de l'exposition du personnel aux radiations ionisantes. Cela est directement lié au phénomène de stress oxydant caractérisé par la production de radicaux libres suite à l'action des rayonnements ionisants (espèces réactifs d'oxygène ERO essentiellement) via un mécanisme double : la radiolyse de l'eau ou à l'ionisation directe des molécules (94, 95). Cette surproduction d'espèces réactifs oxydantes affectent les propriétés des macromolécules biologiques (protéines, lipides, acides nucléiques) en modifiant leur structure et en induisant des dommages cellulaires, pouvant ainsi entraîner des effets déterministes et stochastiques(94, 96).

Ces altérations conduisent à la formation de nombreux métabolites oxydées dont certaines sont considérées comme des bio-marqueurs du statut oxydatif(94). On distingue alors :

*Le malondialdéhyde (**MDA**) et le 4-hydroxynonanal (**4-HNE**), deux principaux aldéhydes issus de la peroxydation lipidique dont le dosage urinaire se fait par spectrophotométrie via le test des « TBA reactive substance »,qui consiste en la réaction du MDA avec l'acide thiobarbiturique (TBA) et par une méthode colorimétrique respectivement(94).

* Les métabolites issus de l'oxydation protéique (des protéines carbonylées, la bityrosine, la L-Dopamine et l'ortho-tyrosine) dont les groupements thiols sont dosés dans les urines par méthode colorimétrique(94).

*Mais le dosage urinaire du marqueur des dommages nucléiques le 8-oxo-7,8-dihydroguanine ou 8-hydroxyguanine (**8-oxoGua**) demeure d'un plus grand intérêt, et se fait par immunoaffinité via des anticorps mono ou polyclonaux ou par chromatographie liquide haute performance couplée à un détecteur électrochimique (CLHP-EC)(94).

Les cellules sanguines répondent elles aussi à l'action des radiations ionisantes par l'augmentation d'altérations chromosomiques d'où l'utilisation du test des micronoyaux

MN sur lymphocytes dans le sang périphérique comme marqueur dans l'évaluation biogénotoxicologique (8, 95).

Ce test n'étant pas spécifique à l'exposition professionnelle du personnel aux rayonnements ionisants et ayant une interprétation qu'au niveau collectif, son intérêt concernera principalement le domaine de la prévention (8, 97).

La toxicologie voit aussi son rôle dans les dosages radio-toxicologiques urinaires des divers émetteurs (α , β , γ)(98).

Les méthodes d'analyse et de mesure ainsi suivies diffèrent selon le rayonnement considéré, il peut s'agir donc :

-D'une détection directe des rayons γ par spectrophotométrie du prélèvement urinaire contenu dans un flacon de géométrie de référence « TP 500 ».

-D'une mesure des rayons β par scintillation liquide avec ou sans traitement chimique³ préalable du prélèvement.

-De la mesure de la radioactivité α dans les selles ou les urines après plusieurs traitements physico-chimiques du prélèvement puis détection dans des chambres à grilles.

Outre ces interventions précitées, le toxicologue intervient dans un autre domaine de la radioprotection et ceci par l'évaluation de la toxicité des produits radioprotecteurs.

II.6.3. Formation et information sur la radioprotection :

Il existe une variation importante des doses reçues par chacun du personnel présent lors d'un même acte ionisant, cela est dû aux comportements individuels influençant considérablement l'exposition (9) mais aussi au manque de standardisation des pratiques de protection et des protocoles d'imagerie (2) ; d'où la nécessité d'adopter une culture de radioprotection basée sur l'information et la formation visant à renforcer les connaissances et optimiser la protection.

Cette formation des travailleurs recommandée par la CIPR est assurée par la personne compétente en radioprotection sous la responsabilité de l'employeur (7, 26) selon un programme formulé en collaboration avec le médecin du travail et qui doit être renouvelé

³ Le traitement chimique a pour but une concentration du radionucléide à doser dans le prélèvement.

fréquemment (92) pour répondre aux besoins répertoriés au sein de la structure à l'issue de l'étude des postes et de l'évaluation des risques et des expositions (57).

Il s'agit d'une formation théorique et pratique portant sur la physique du rayonnement, les risques et les effets liés à l'exposition, les précautions à prendre pour minimiser le risque, la manipulation des appareils d'imagerie et de radiothérapie ainsi que sur les procédures et moyens de protection individuels et collectifs dans un but de sensibilisation du personnel et d'amélioration des connaissances permettant le développement d'une attitude appropriée à la limitation de l'exposition et une meilleure adhérence aux mesures de radioprotection par le personnel de santé (7, 48, 57) vue que leurs performances ont un impact significatif sur la qualité des examens réalisés et la sécurité individuelle et collective (57).

En effet, une brève séance de formation et d'éducation aux mesures de sécurité et aux techniques de réduction des doses est efficace pour améliorer la pratique et les connaissances (57). La formation peut être complétée par une information sur les règles de prévention applicables aux femmes enceintes et jeunes travailleurs en formation. Elle est reçue en début d'exercice en zone sous radiations puis régulièrement et de façon continue avec la nécessité d'un renouvellement et une mise à jour périodique au moins tous les trois ans (26).

Vu que les principes de la protection contre le risque radiologique se sont étendus aux patients exposés à des fins médicales, la formation à leur radioprotection est devenue obligatoire ; cette dernière est assurée en continuité et renouvelée tous les dix ans pour tous les personnels de santé pratiquant des actes ionisants ou de maintenance des dispositifs médicaux (56) et doit être réalisée par un organisme de formation professionnelle agréé (26).

Enfin, une analyse à posteriori de la performance des actions de formation du personnel en radioprotection et une évaluation de l'amélioration des pratiques ainsi que leurs effets sur la réduction des doses est primordial pour juger de l'efficacité du programme entrepris (7).

Acteurs de la radioprotection :

Dans les structures et activités présentant un risque d'exposition aux rayonnements ionisants des travailleurs, plusieurs acteurs interviennent dans la gestion de la radioprotection et son application sur le terrain épaulés dans leur devise par les autorités réglementaires et les organismes agréés.

- **Employeur** : est le premier responsable de l'organisation de la radioprotection (56), il est tenu d'assurer la sécurité des installations et la protection de ses salariés des risques des rayonnements ionisants auxquels ils sont exposés dans leur environnement de travail. Il est responsable de la formation du personnel, de la disponibilité des équipements de protection et de la prise en charge et surveillance médicale des travailleurs (21). Pour les aspects techniques de ses obligations, ils les délèguent à la personne compétente en radioprotection qu'il désigne et au médecin du travail (21).
- **Médecin du travail ou médecin de prévention** : est responsable du suivi médical des travailleurs et statue sur leurs aptitudes aux postes sous rayonnements en se basant sur ses propres connaissances sur les risques d'exposition professionnelle mais également sur les résultats des différents suivis et évaluations (99).

Il vise aussi à améliorer les conditions de travail et à prévenir les altérations de la santé des travailleurs par l'adaptation des postes et des rythmes de travail, l'information du personnel sur les risques encourus, l'élaboration et l'application de programmes de formation à la radioprotection (21, 56). Il travaille en étroite collaboration avec la PCR et participe à la prise de décision en relation avec le personnel exposé aux radiations ionisantes.

- **Personne compétente en radioprotection (PCR)** : est un acteur incontournable de la radioprotection, sa principale mission étant la prévention des risques professionnels et la protection des travailleurs manipulant les radiations ionisantes (26). Il peut être secondé par une personne spécialisée en radiophysique médicale (PSRPM)(56).

Sa responsabilité est technique et son rôle est réglementé et se concentre principalement sur l'évaluation des risques pour le personnel de santé à travers (56, 99) :

1. Le recensement des situations à risque qui se fait par une étude des dangers et des risques encourus au poste de travail pour la détermination des objectifs des doses visées.
2. L'évaluation prévisionnelle des doses.
3. La connaissance et l'étude des postes de travail qui définit les conditions d'exposition du personnel (nature du travail, type d'exposition...) dont les données

seront reportées sur la fiche d'exposition. Elles doivent refléter les conditions normales de travail.

4. L'optimisation des expositions et des pratiques par la mise en place des moyens de prévention et de protection (zonage, gestion des déchets, équipements de protection...), de surveillance et de suivi du personnel ainsi que de contrôle et de gestion (des sources, équipements et installations).

En plus de ces différents interlocuteurs présents au sein de ces établissements manipulant les rayonnements ionisants, d'autres organismes participent à la radioprotection sous la supervision des ministères concernés par l'élaboration des normes de sécurité, la promotion de la radioprotection et le renforcement des actions entreprises dans ce sens ainsi que par le contrôle et l'inspection périodique des installations **(21)**.

II.6.3.1. Cas particulier de la prise en charge des travailleuses enceintes :

L'information éclairée des travailleurs sur les effets néfastes des rayonnements ionisants sur l'embryon du fait de sa radiosensibilité améliore les connaissances et incite les travailleuses à la déclaration précoce de leurs grossesses au chef de l'établissement et au médecin du travail **(26, 58)**.

L'exposition de l'enfant à naître devant être limitée à 1mSv jusqu'à l'accouchement **(58, 100)**, le médecin du travail prend l'initiative de demander à l'employeur un aménagement transitoire du poste de travail pour limiter au maximum l'exposition aux radiations ionisantes et si nécessaire une soustraction et une réaffectation vers un autre poste à risque appréciable.

La prise en charge et la surveillance médicale et dosimétrique de la femme enceinte quant à elles doivent être renforcées et à périodicité régulière, surtout si maintien à un poste sous rayonnements, avec interdiction formelle d'être affecté à une catégorie A **(21, 26)**.

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE III : MATÉRIELS ET MÉTHODES

III.1. Type d'étude :

Nous avons mené une étude descriptive transversale exhaustive sur une période de 04 mois s'étendant de décembre 2019 à mars 2020 au sein de 15 établissements de santé publique (étatique) dans la région de Tlemcen, à savoir :

-Les établissements publics de santé de proximité (EPSP) d'Abou-Tachfine, Agadir, Bouhanak 400, Chetouane, Kiffane, Ouled Mimoun, Sabra et Zeboun ainsi que le centre anti tuberculeux (DAT).

- Les établissements publics hospitaliers (EPH) de Ghazaouat, Maghnia, Nedroma, Remchi et Sebdou.

-Ainsi qu'au niveau du CHU de Tlemcen au sein des services de radiologie centrale (radiologie et scanner), des urgences médico-chirurgicales (UMC) et de médecine nucléaire.

III.2. Population de l'étude :

Comme il s'agit d'une étude exhaustive, nous avons inclus dans notre population tous le personnel des établissements publics de santé exposé aux radiations ionisantes dans l'exercice de leurs fonctions.

Cette population a comporté dans son ensemble des manipulateurs ou techniciens en imagerie médicale, des infirmiers, des laborantins ainsi que des médecins spécialistes et résidents.

III.2.1. Critères d'inclusion :

Nous avons inclus le personnel de santé des deux sexes exposé aux radiations ionisantes présentant un intérêt pour l'étude et ayant consenti librement d'y participer.

III.2.2. Critères de non-inclusion :

- Tous les personnels de santé non exposé aux radiations ionisantes.
- Les sujets non consentant à l'étude.
- Les sujets absents ou en congé lors de l'enquête.

III.3. Ethique :

Cette étude a été réalisée après l'accord de tous les participants et des chefs de services.

III.4. Recueil des données :

La collecte des données s'est faite via un questionnaire individuel (**Annexe 4**) élaboré par les enquêtrices et adressé au personnel exposé aux RI et exerçant dans les établissements de santé précités.

Les informations contenues dans le questionnaire portaient sur :

- Les données socioprofessionnelles correspondantes à chaque personnel de santé questionné.
- Les informations relatives à l'exposition professionnelle et aux moyens et mesures de protection utilisés.
- La connaissance du personnel exposé des bases et principes de radioprotection.
- La formation, la surveillance et le suivi des travailleurs.
- En dernier, le questionnaire comprend une section concernant le service du point de vue structure et normes techniques des locaux : zonage radiologique, signalisation, protection collective, état et entretien des appareils. Les données de cette partie n'ont été recueillies qu'une seule fois dans chaque service ou unité.

Les enquêtés ont été aussi appelés à juger le niveau de radioprotection et de respect des lois au sein de leurs structure de santé.

III.5. Analyse statistique :

La saisie et l'analyse des données ont été réalisées en utilisant le logiciel SPSS « Statistical Package for the Social Sciences » dans sa 23^{ème} version. L'analyse statistique descriptive a été utilisée pour le traitement des résultats.

-Les résultats quantitatifs ont été présentés sous forme de moyennes \pm l'écart-type.

-Les associations simples ou multiples entre les différentes variables qualitatives ont été testées au seuil de 5% au moyen des tests de comparaison de χ^2 .

-L'analyse de la variance (ANOVA) affinée par le test t de Student a permis de comparer les moyennes des variables quantitatives entre les différents groupes de la population de l'étude. La différence était significative pour $p < 0,05$.

-Les secteurs et les histogrammes ont été réalisés en utilisant le programme Windows Excel 2013.

CHAPITRE IV : RÉSULTATS

Notre population a compris 142 sujets exerçants dans 15 établissements de santé publique (EPSP, EPH, CHU) dans la région de Tlemcen et exposés à des sources de RI.

IV.1. Répartition de la population selon l'âge :

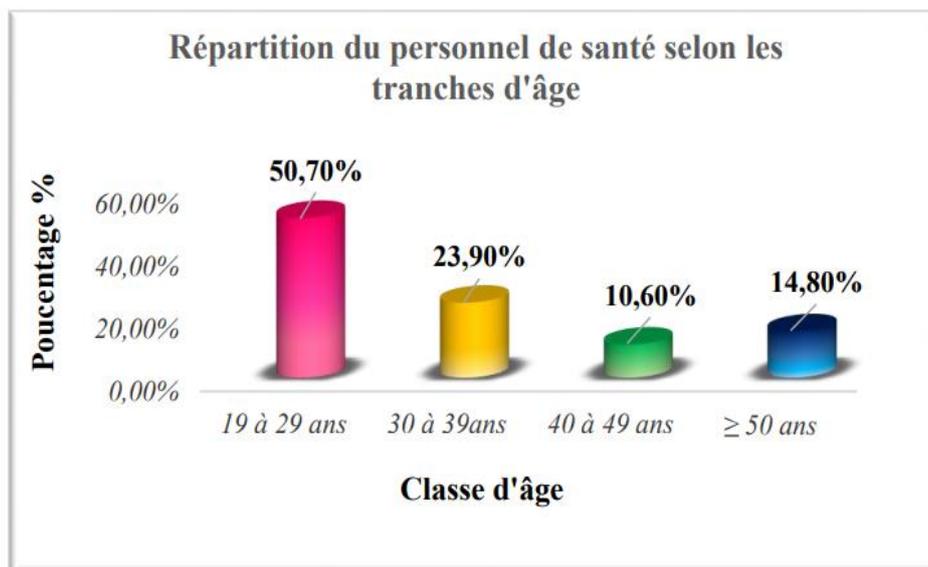


Figure 20 : Répartition du personnel de santé selon les tranches d'âge.

La moyenne d'âge du personnel de santé exposé aux radiations était de $33 \pm 11,36$ ans.

IV.2. Répartition de la population selon le sexe :

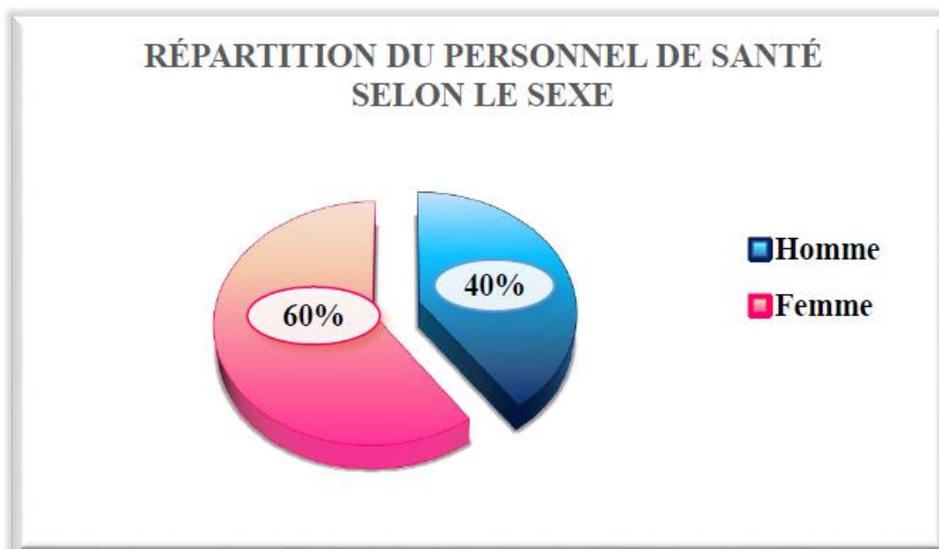


Figure 21: Répartition des travailleurs exposés aux radiations ionisantes selon le sexe.

On note une prédominance féminine dans les différents établissements de santé publics avec un sex-ratio de 0,67.

IV.3. Répartition de la population selon la profession :

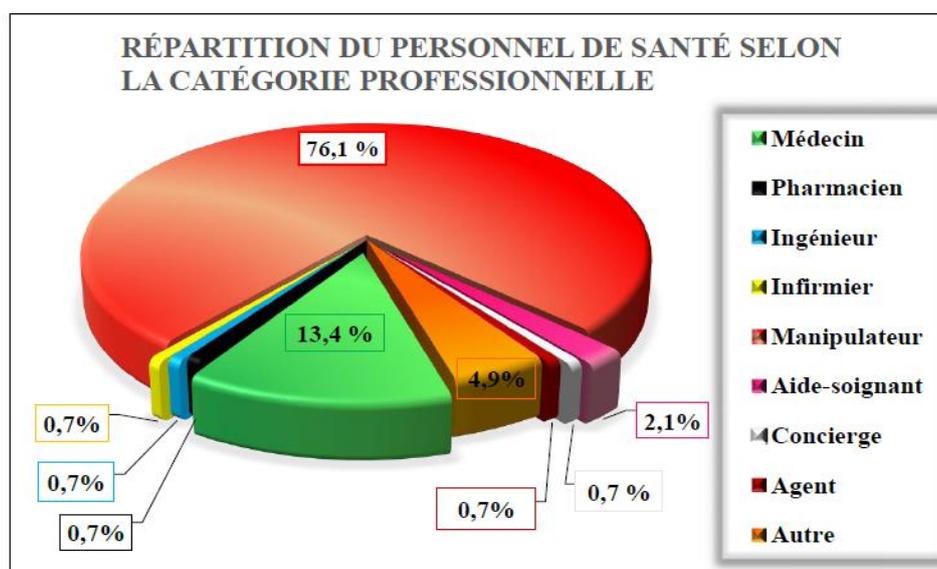


Figure 22: Répartition du personnel de santé selon leur catégorie professionnelle.

Le personnel de santé a compris 108 manipulateurs ou techniciens en radiodiagnostic (76,1%), 19 médecins spécialistes et résidents (13,4%), 3 aides-soignants ainsi que des ingénieurs, des laborantins, des concierges et des agents qui représentent 8,4%.

IV.4. Répartition selon l'ancienneté de l'exposition aux RI :

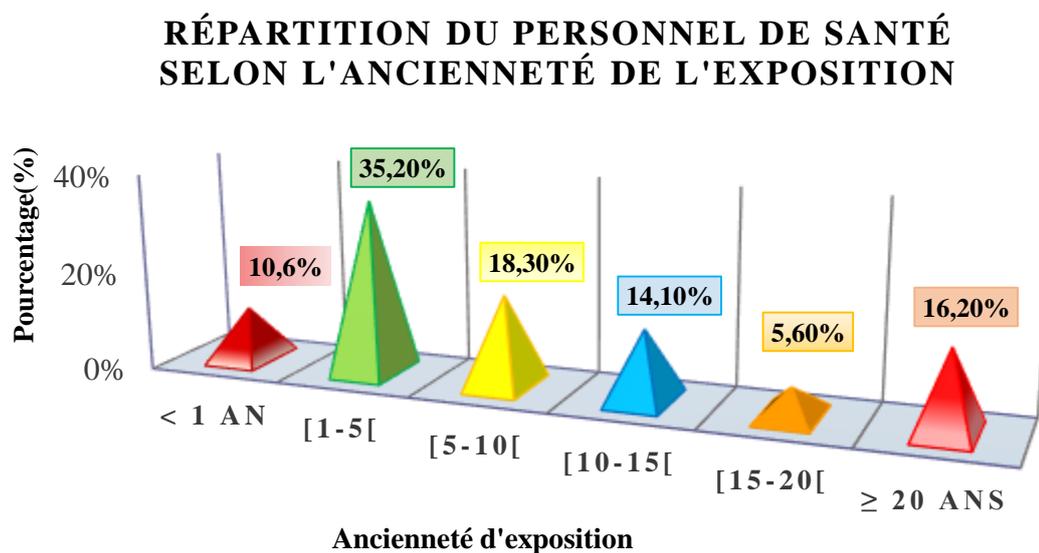


Figure 23: Répartition du personnel de santé selon l'ancienneté de l'exposition aux RI.

45,8% des personnels enquêtés ont accumulés moins de 5 années d'expérience, 18,3% comptent entre 5 et 10 ans tandis 35,9% totalisent une expérience supérieure ou égale à 10 ans dans le domaine des radiations ionisantes.

IV.5. Répartition de la population dans les différents services:

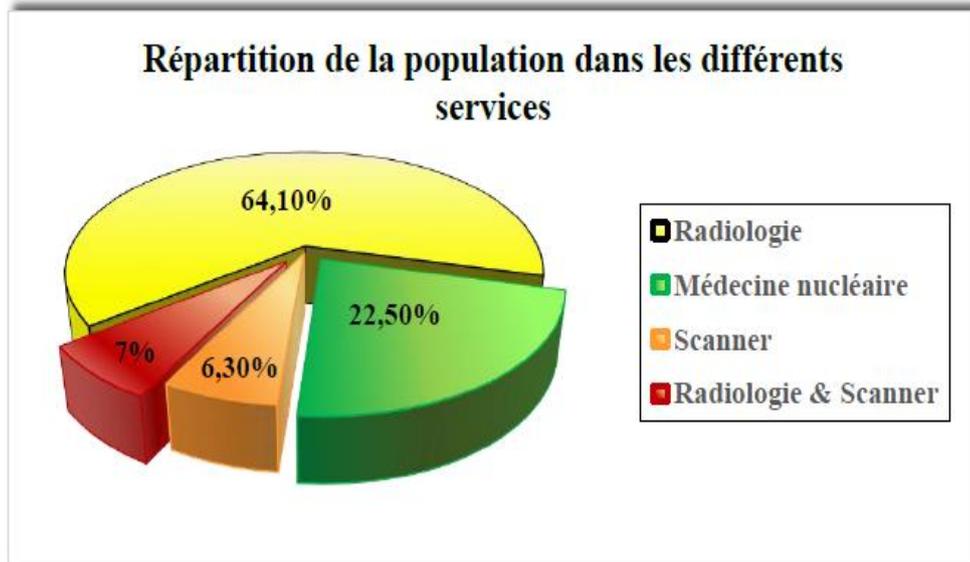


Figure 24: Répartition de la population dans les différents services.

Nous comptons un total de 77% des sujets qui exercent dans des unités de radiodiagnostic et 23% en médecine nucléaire.

IV.6. Répartition selon le nombre moyen des examens journaliers réalisés :

Tableau III : Nombre moyens des examens réalisés dans les services.

Service	Radiologie	Scanner	Médecine nucléaire		
			Radiologie et scanner	Laboratoire	Hospitalisation
Moyenne	49,62±71,20	25±5	111±38,13	143,14±72,5	4,48±7,32

IV.7. Répartition selon la fréquence de l'exposition :

76,8% des sujets de notre étude ont une fréquence d'exposition journalière et 21,8% hebdomadaire. Ces derniers estiment que l'exposition appartient à plusieurs niveaux.

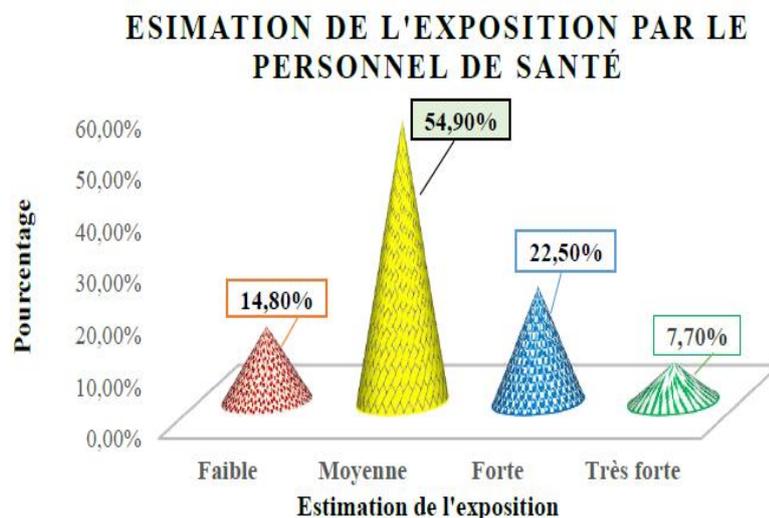


Figure 25: Estimation de l'exposition par le personnel de santé.

IV.8. Répartition selon les moyens de la radioprotection :

Tableau IV : Disponibilité, port et contrôle des équipements de protection individuelle (EPI) dans les structures de santé publique.

Disponibilité des EPI	Oui	Non	Des fois	Jamais
	57 (40,1%)	34 (23,9%)	51 (35,9%)	0
Port des EPI /personnel	41 (28,9%)	20 (14,1%)	81 (57%)	0
Contrôle des EPI	17 (12%)	52 (36,6%)	48 (33,8%)	25 (17,6%)

Parmi les moyens de protection disponibles, la blouse plombée est la plus utilisée (85,9% des cas), tous services confondus. 23,3% de notre population d'étude utilisent le couple temps-distance comme un moyen de protection en plus des EPI disponibles.

5,6% combinent d'autres mesures de protection ; il s'agit du temps de pause, diminution du kilo voltage, application des principes de radioprotection. Tandis que 11,3% ne suivent aucune procédure.

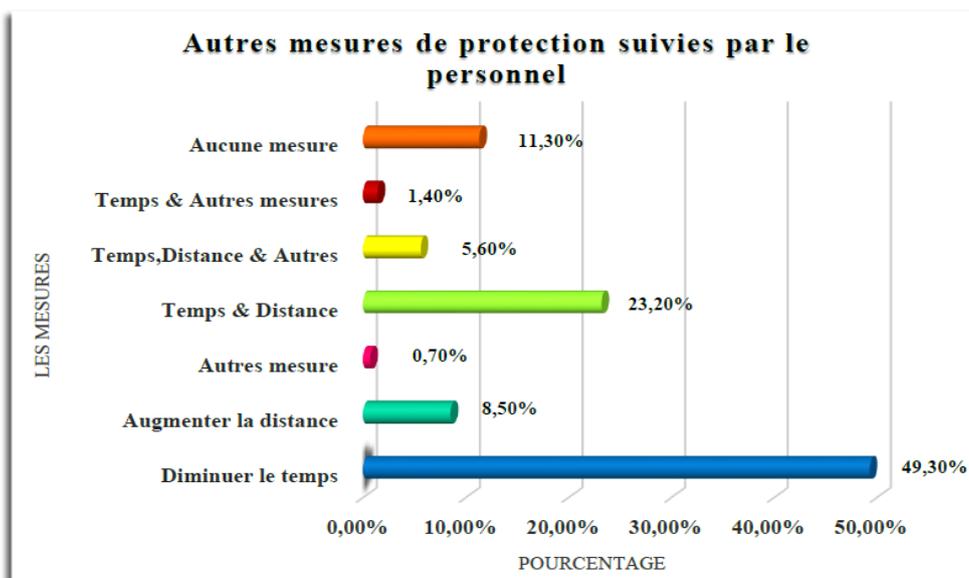


Figure 26: Autres mesures de protection suivies par le personnel de santé.

Les congés de désintoxication sont considérés aussi comme des procédures de protection. Lorsqu'ils sont réguliers, leur durée est de 21 jours ouvrables. La fréquence de ces derniers et leur durée sont précisés dans la **figure 8**.

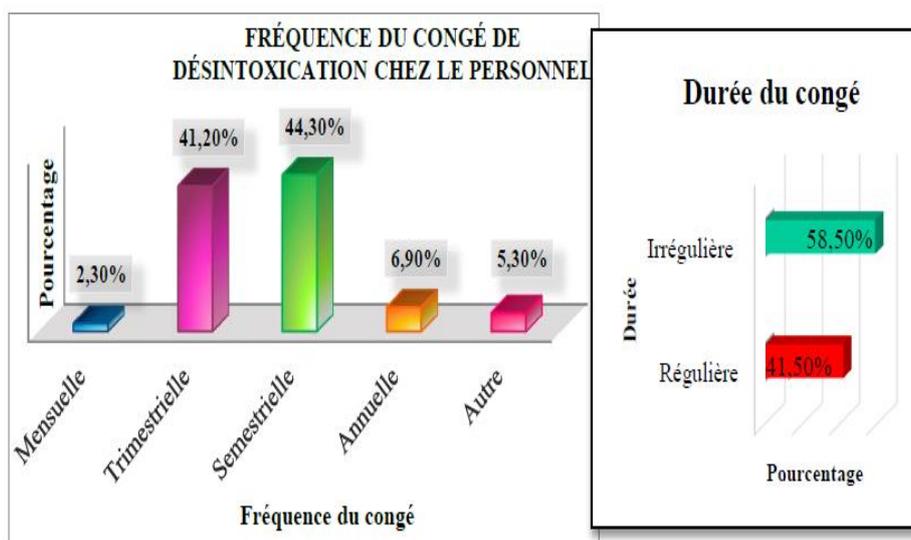


Figure 27: Fréquence et durée du congé de désintoxication chez le personnel de santé.

Lorsqu'elle est régulière, la durée du congé de désintoxication est de 21 jours ouvrables.

IV.9. Répartition selon le port et la fréquence d'échange des dosimètres :

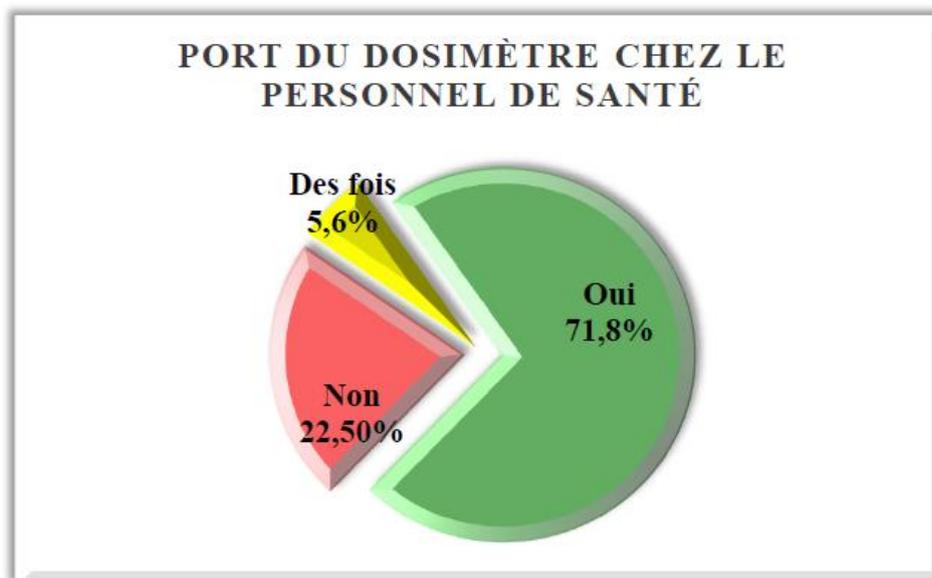


Figure 28: Le port des dosimètres chez le personnel de santé.

Le personnel de santé affirme la présence d'un contrôle dosimétrique dans 53,9% des cas, son absence totale dans 17,7% des cas et une irrégularité de ce suivi chez 28,4% des sujets.

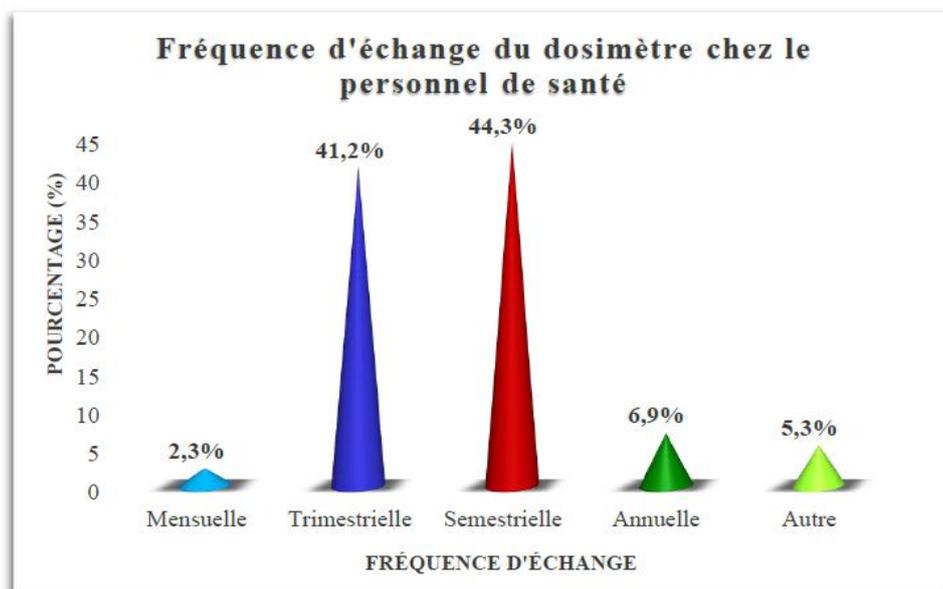


Figure 29 : Fréquence d'échange des dosimètres chez le personnel de santé.

IV.10. Répartition selon la surveillance médicale et le suivi du personnel :

Malgré la présence d'une surveillance médicale par le médecin du travail dans 32,4% des sujets et son irrégularité affirmée par 41,5% des travailleurs, les résultats de ce suivi médical et dosimétrique ne sont pas communiqués dans 83% des cas.

Tableau V : Surveillance médicale du personnel de santé.

Surveillance médicale du personnel exposé	Oui	Non	Des fois
Effectif n (%)	46 (32,4 %)	37 (26,1%)	59 (41,5%)

Les différents types d'examens cités par les personnels de santé ayant affirmé un suivi par le médecin du travail sont définies dans la **figure 30**.

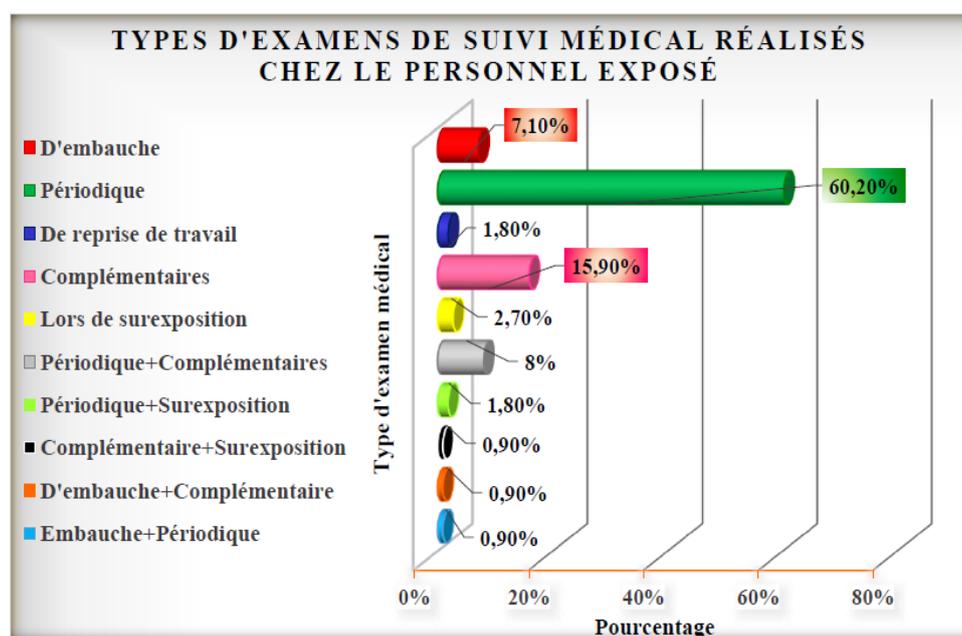


Figure 30 : Types d'examens de surveillance médicale.

IV.11. Attitude à l'égard des personnels de santé lors de grossesse :

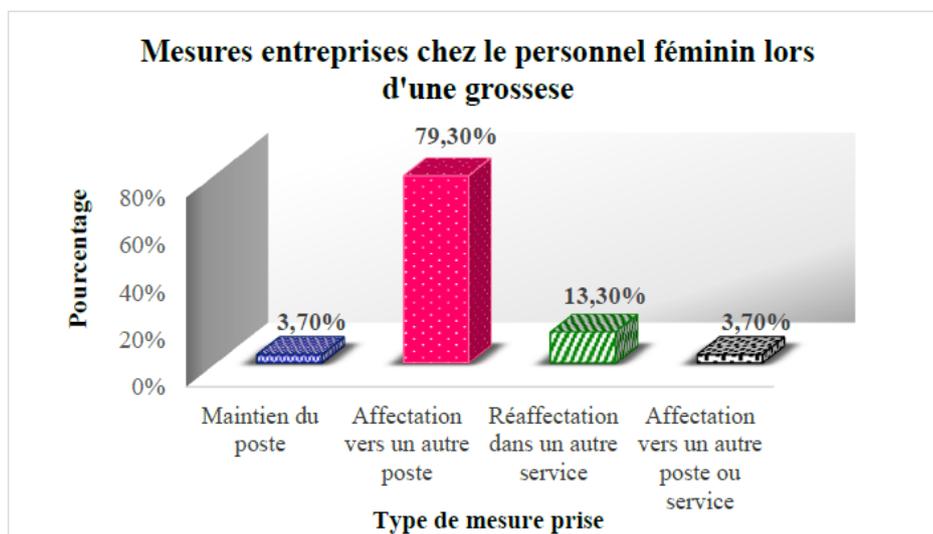


Figure 31: Mesures suivies chez le personnel féminin lors d'une grossesse.

IV.12. Connaissances, information et formation à la radioprotection :

Tableau VI : Connaissances du personnel de santé en radioprotection.

Connaissance	Oui	Non	Peut être
Information sur les risques d'exposition	74,6%	25,4%	0%
Connaissance des limites de doses chez le personnel de santé	52,1%	47,9%	0%
Connaissance de la réglementation	61,3%	14,1%	24,6%
Connaissance des principes de la radioprotection	85,9%	14,1%	0%
Connaissance de l'intervention en cas d'accident lors du travail sous rayonnements	23,9%	24,6%	51,4%

Ces connaissances sont acquises et renforcées par la formation continue du personnel de santé qui est absente ou rare dans 65,5% et 19% des cas respectivement et dont la présence dans les structures de santé n'est affirmée que par 15,5% du personnel (**figure 32**).

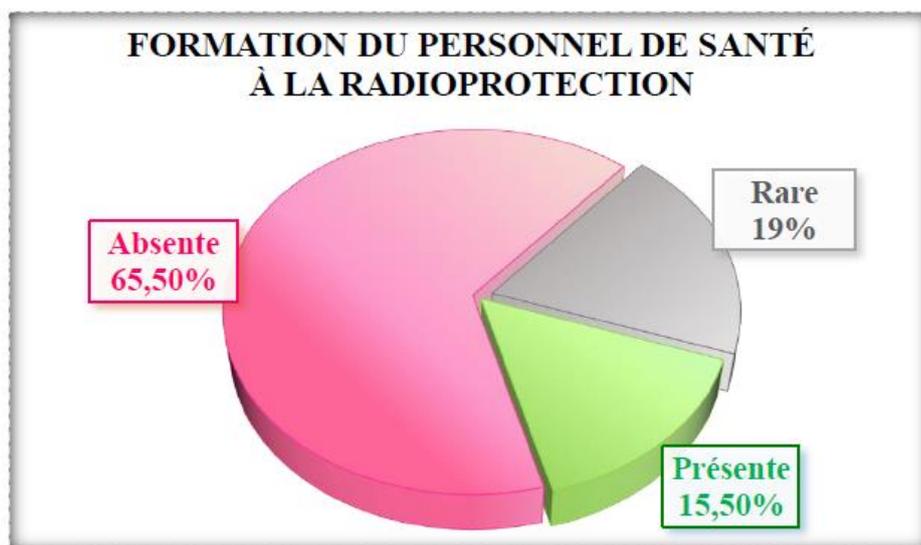


Figure 32: Formation du personnel à la radioprotection.

Un des responsables de cette formation est la personne compétente en radioprotection dont la présence au sein des établissements de santé publique concernés par notre étude est déclarée par 50% du personnel tandis que 33,1% affirment son absence et 16,9% restent sans avis.

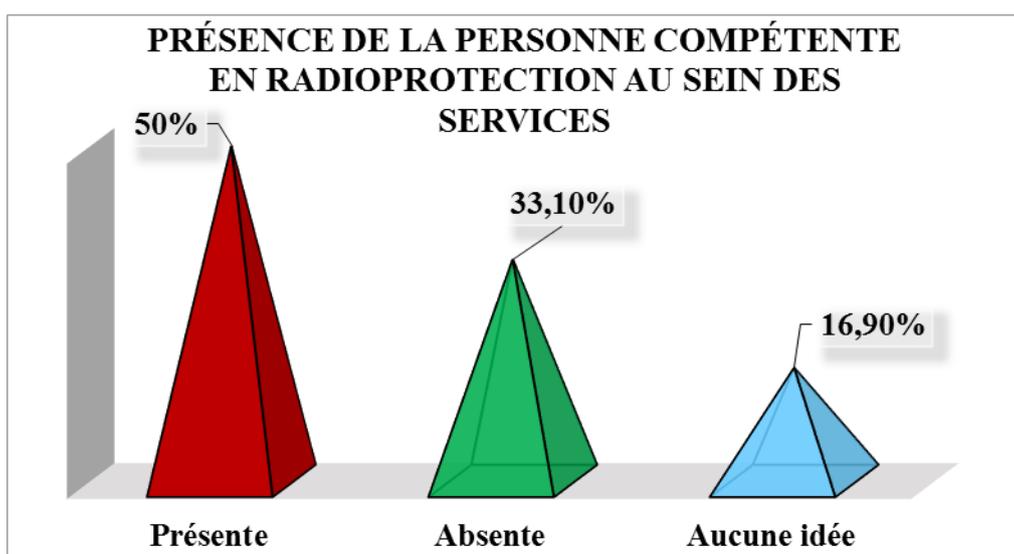


Figure 33 : Présence de la personne compétente en radioprotection au sein des services.

IV.13. Répartition des locaux selon les mesures techniques et la protection collective :

IV.13.1. Structure des locaux :

Tableau VII : Normes et structure des locaux des services concernés par l'étude.

	Oui	Non	Aucune idée
Conformité du local ou service aux normes internationales	17,4%	78,3%	4,3%
Présence d'un plan du local et des zones	8,7%	78,3%	13%
Présence d'une séparation	60,9%	39,1%	0
Disponibilité de la dosimétrie d'ambiance	78,3%	13%	8,7%

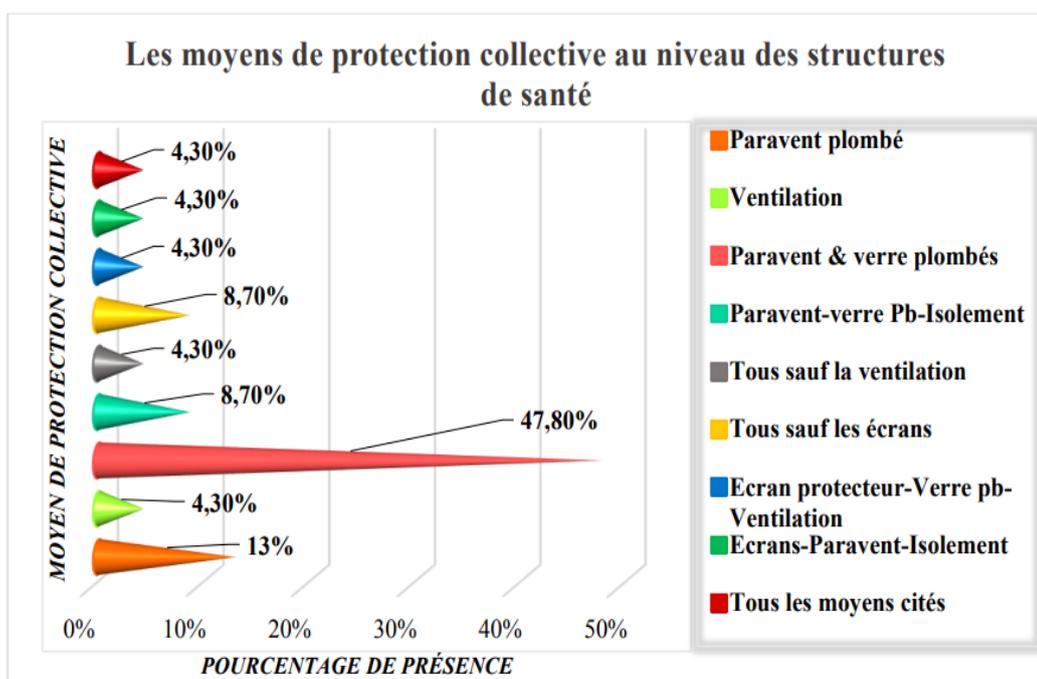


Figure 34: Les équipements de protection collective présents dans les structures de santé.

IV.13.2. Gestion des déchets :

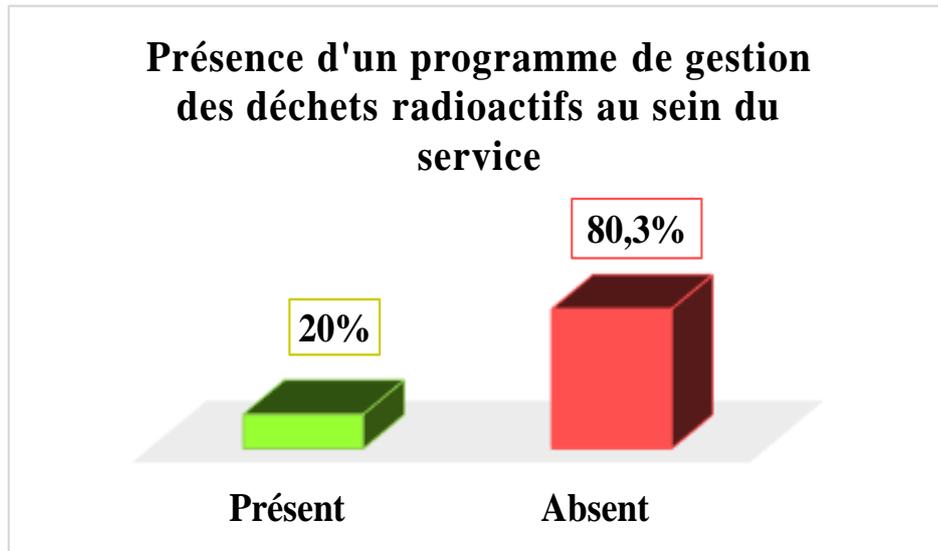


Figure 35 : Présence d'une procédure standardisée de gestion des déchets au sein des services.

Sur 142 sujets questionnés, 80,3% affirment l'absence d'une procédure standardisée pour l'évacuation des déchets dans leurs services.

IV.13.3. Signalisation des zones d'exposition aux RI :

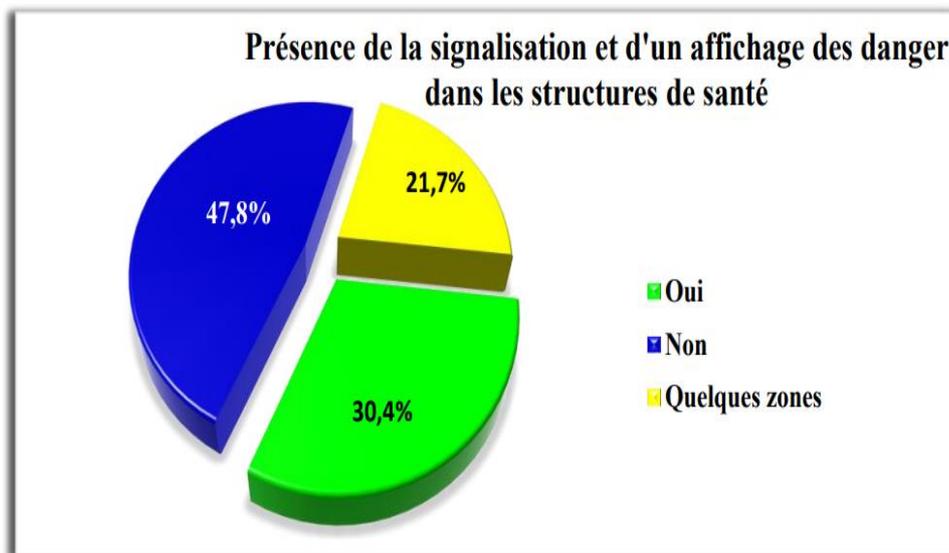


Figure 35: Présence d'une signalisation et d'un affichage des dangers dans les locaux.

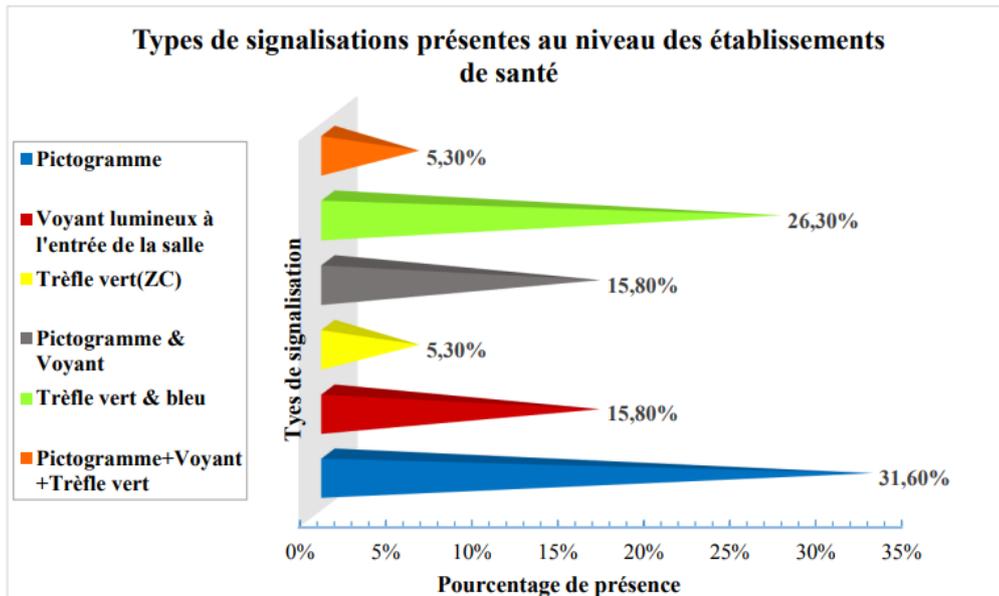


Figure 36: Types de signalisations présentes dans les établissements concernés.

IV.13.4. Age et maintenance des appareils :

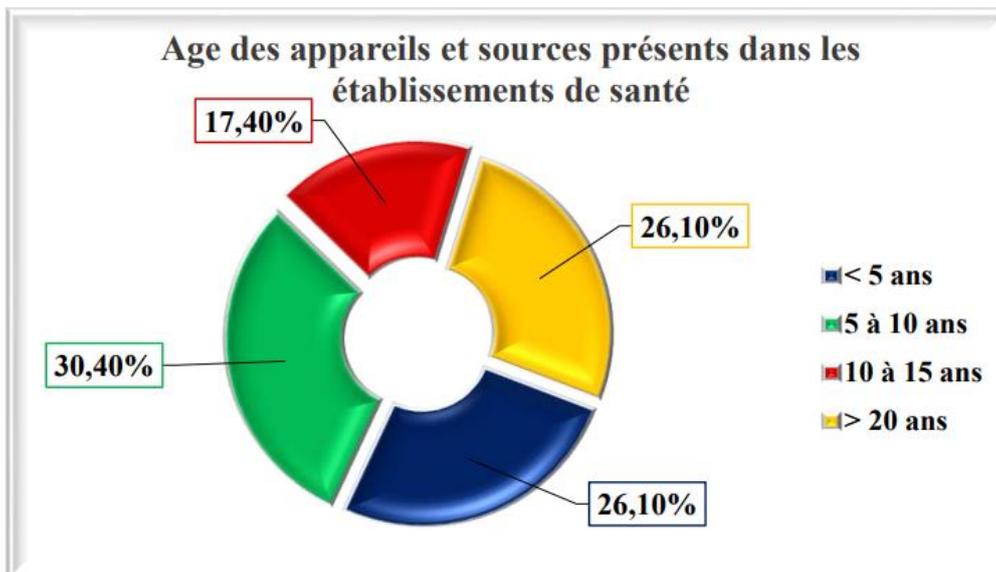


Figure 37: Age des appareils utilisés dans les établissements de santé concernés par l'étude.

52,2% des appareils dans les différents services sont en bon état contre 47,8% en mauvais état.

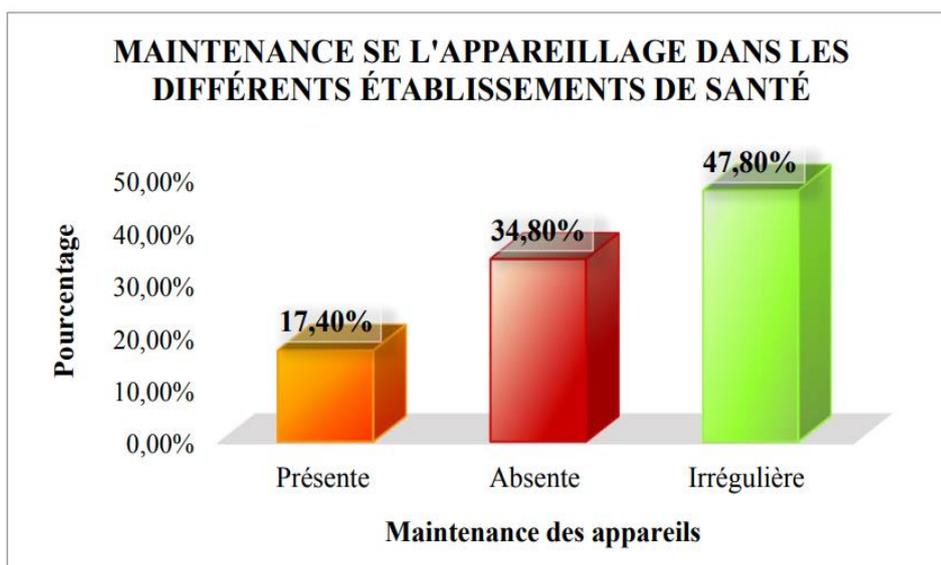


Figure 38: Maintenance et contrôle de qualité de l'appareillage.

IV.13.5. Application des principes de la radioprotection :

Tableau VIII : Application des principes de la radioprotection dans les établissements de santé concernés par l'étude.

Application des principes de radioprotection	Oui	Non	Je ne sais pas
Pourcentage (%)	21,80%	56,30%	21,80%

IV.13.6. Niveau de radioprotection dans les établissements de santé publique :

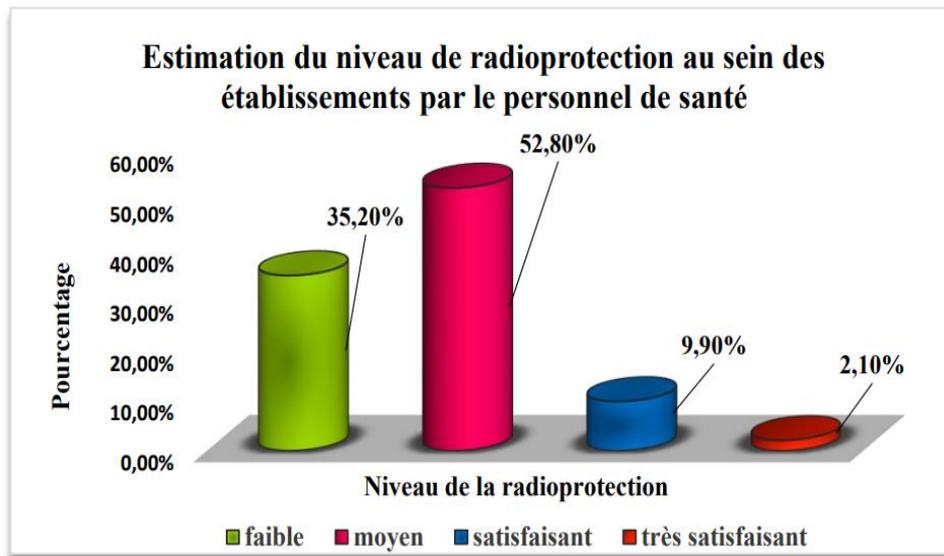


Figure 39: Estimation du niveau de radioprotection dans les services selon le personnel de santé.

IV.13.7. Respect de la réglementation en vigueur par les établissements :

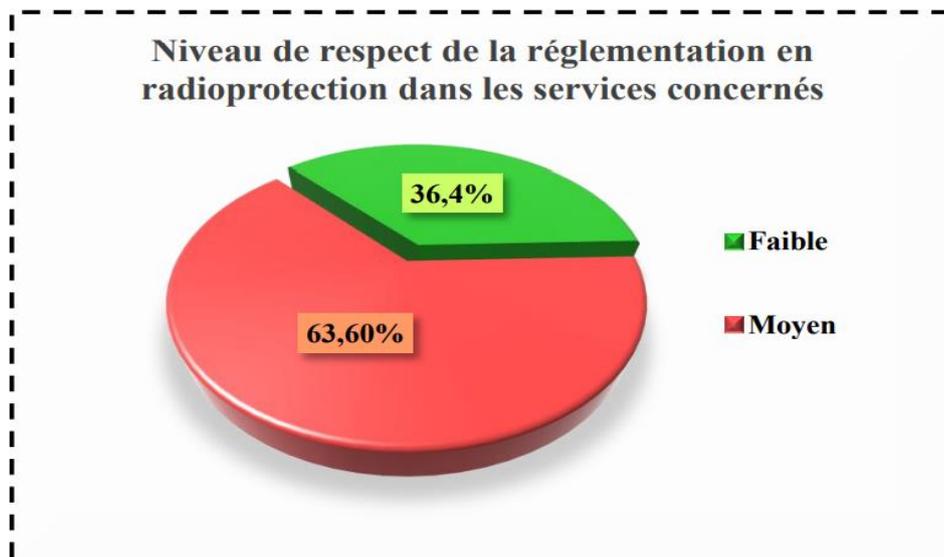


Figure 40: Niveau de respect de la réglementation en radioprotection dans les services.

36,4% ont un mauvais respect des standards de la radioprotection et des lois la régissant et 63,6% assurent un niveau moyen du respect de la réglementation.

CHAPITRE V : DISCUSSION

Lors de notre étude réalisée afin de décrire la fréquence d'observance des mesures de radioprotection par le personnel de santé exposé aux radiations ionisantes exerçant dans différents établissements de santé publique dans la région de Tlemcen, nous avons interrogés un total de 142 sujets dont 77% travaillaient en unités de radiodiagnostic et 23% en médecine nucléaire ; ces résultats sont en accord avec ceux de *Ongolo-Zogo et al.* au Cameroun en 2013 (**4**) qui ont noté des taux 80,7% et 12% respectivement.

On note une nette prédominance féminine au niveau des différentes structures sanitaires (60%) malgré les risques avérés des rayonnements ionisants surtout chez les femmes enceintes (**2, 101**). Cette tendance a été observée à la suite de plusieurs études réalisées au Maroc, en Tunisie et en Iran (**68, 102, 103**).

D'un autre côté, notre analyse des données a souligné la présence d'un personnel assez jeune au niveau de ces établissements de santé publics appartenant principalement aux tranches d'âge 19-29 ans et 30-39 ans avec 50,7% et 23,9% respectivement et avec une moyenne d'âge de $33 \pm 11,6$ ans comme celle retrouvée dans l'étude de Batista (**104**).

Ces résultats sont similaires à ceux au Maroc (**68**) mais présentent un écart avec ceux de nombreux auteurs au Cameroun (**4, 105**) pour qui l'intervalle 30-39 ans représente la tranche majoritaire (**7, 106**) . Cela pourrait être expliqué par la grande accessibilité à la formation médicale et paramédicale et à l'embauche dans ses secteurs pour les jeunes diplômés, en Afrique du Nord.

Nous avons constaté que le profil des techniciens en imagerie médicale est le plus représentatif avec 76,1%, ceci est confirmé par l'étude menée par une étude Marocaine qui a retrouvé un taux de 74,3% (**68**) et par d'autres recherches (**102, 107**), et s'explique par le fait que la réglementation algérienne exige la manipulation des appareils par un personnel qualifié (**58**).

Du point de vue de l'ancienneté de l'exposition, 45,8% des travailleurs de santé avaient accumulé une expérience inférieure à 5ans, ceci a été mis en évidence par plusieurs études en Tunisie (2016) avec 44% de travailleurs comptabilisant moins de 5 années d'expérience, au Cameroun (2019) (**7, 102**) et au Nepal (2012) (**108**). La relation entre le port des EPI et l'ancienneté de l'exposition n'était pas significative.

L'enquête a aussi reflété que 55% des sujets estiment que leur exposition journalière (76,8% des cas) aux rayonnements ionisants dans leurs postes est moyenne et 22% la considère forte.

Cela n'empêche pas pour autant que seulement 28,9% rapportent un port régulier des EPI, malgré que ces derniers soient présents dans la plupart des établissements (une disponibilité permanente dans 40,1% des cas et irrégulière dans 35,9%), principalement le tablier plombé (85,9%). Les autres équipements comme le cache-thyroïde et les lunettes plombées etc. n'étaient présents que dans quelques établissements.

Ce phénomène serait probablement attribuable à la non-conformité de ces derniers et l'absence d'un contrôle régulier. Comme il pourrait être lié au manque de motivation et à la négligence volontaire ou non du personnel suite à la difficulté de l'utilisation des EPI jugés lourds et encombrants ou par simple méconnaissance des risques.

Une étude Camerounaise sur la radioprotection dans les Services d'Imagerie des Hôpitaux de l'Extrême-Nord a révélé une absence quasi-totale des EPI **(105)**, de même, une autre réalisée en Europe en 2013 portant sur les connaissances et l'attitude des résidents en urologie vis-à-vis des rayonnements ionisants a montré une utilisation insuffisante des tabliers plombés et un très mauvais usage des autres EPI **(109)**.

Quant au Maroc, des études ont noté une utilisation systématique des tabliers plombés chez 80% du personnel de radiologie conventionnelle dans les hôpitaux de la région Marrakech **(68),(109)**.

Suite à notre analyse des données par le test χ^2 de Pearson, nous avons aussi réussi à prouver que le port des EPI par le personnel était directement lié à leur présence ($p=0.002$) tandis qu'aucune relation statistiquement significative entre le port d'EPI et leur conformité n'a été observée. De même qu'entre le port des EPI et l'âge, le sexe et la nature du poste.

D'un autre côté, au niveau des différents établissements visités, la dosimétrie passive était en règle générale largement utilisées (71,8% des sujets) mais environ 5,6% des dosimètres attribués n'étaient pas portés régulièrement par les travailleurs exposés.

Ce constat a déjà été souligné en 2013 à Marrakech au Maroc avec 66% **(68)** et en 2005 à Abidjan en Côte d'Ivoire avec 60% **(92)**. Mais la situation semble différente à Cotonou au Bénin où l'absence d'un suivi dosimétrique a été remarquée **(107)**, en Tunisie où

seulement 29% des travailleurs portent effectivement leurs dosimètres (**102**) ainsi qu'au Cameroun avec 30,4% de port régulier (**7**) et au Nepal (**108**).

Cette non-observance relevée a été rattaché par le personnel à l'irrégularité de collecte et du contrôle avec absence de réception des résultats (83% des cas) ou à l'inutilité de ces derniers. Nous avons aussi observé l'absence d'attribution de dosimètres aux stagiaires et internes et la présence de dosimétrie opérationnelle uniquement en radio-pharmacie en médecine nucléaire.

Un autre contraste lié à la dosimétrie a été noté; il s'agit de la fréquence d'échange des dosimètres considérée semestrielle et trimestrielle principalement par 44,3% et 41,2% respectivement alors que le classement en catégorie A et B est absent dans environ 2/3 des établissements.

Notre recherche sur le terrain a aussi montré qu'une forte proportion du personnel de santé exposé utilisent d'autres moyens de protection dont 23,3% le couple temps-distance ainsi que des mesures citées telles qu'une diminution du kilo-voltage et une adaptation des doses aux patients...

Les administrations de tous les établissements concernés par notre enquête accordaient tous les 6 mois un congé de désintoxication de 21 jours au personnel exposé aux radiations ionisantes mais 58,5% de ces derniers ont déclaré une durée irrégulière suite à une accumulation des congés ou un manque d'effectifs. Les mesures concernant des femmes enceintes vers des postes où l'exposition est minime étaient en règle dans la plupart de ces établissements.

En Algérie, de nombreux textes réglementaires stipulent la nécessité du suivi médical spécifique et régulier des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants et en définissent les grandes lignes (**58, 62**). En réalité, nous avons constaté que la situation sur le terrain n'était pas tout à fait en accord avec la réglementation en vigueur. En effet, 32,4% des sujets ont affirmé la présence d'un suivi par le médecin du travail et 41,5% ont rapporté son irrégularité. 26,1 % enquêtés ont déclarés l'absence d'une surveillance médicale spécifique, d'autres (3,52 %) assuraient leur propre suivi.

Les examens complémentaires étaient les plus pratiqués (60,2%) principalement la numération formule sanguine NFS et pouvait être combinés à d'autres examens.

Ce constat a été soulevé par de nombreuses recherches dans différents pays d'Afrique : au Maroc (68) ainsi qu'au Cameroun (4, 105, 106) qui ont retrouvés des taux beaucoup plus bas. Contrairement en Ile De France où la surveillance médicale était régulière avec 56% des sujets ayant un suivi annuel (110).

La connaissance des rayonnements ionisants, de leurs risques ainsi que des moyens de s'en protéger et la compréhension de la relation dose-effets permet une meilleure appréciation et maîtrise des bases de la radioprotection (111). Plusieurs études ont rattaché le niveau de connaissances du personnel de santé au niveau de compétences, d'application et de respect de la radioprotection (3, 10, 112).

Les résultats obtenus par notre étude concernant la connaissance générale des répondants en matière de principes de radioprotection, de limites de doses et de réglementation sont jugés bon avec des taux 85,9%, 52,1% et 61,3% respectivement.

Au Nepal, on a retrouvé le taux de 52,7% concernant les connaissances des limites de doses chez les travailleurs exposés aux radiations ionisantes (108). Faggioni et al. a aussi observé lors de son enquête, une grande connaissance en radioprotection chez les étudiants en médecine (113) ; de même que Guena et al. avec un taux de 52% d'enquêtés conscients des principes de radioprotection (7). Mais de nombreux autres auteurs soutiennent une insuffisance de connaissance des bases de la radioprotection et des risques sanitaires des rayonnements chez le personnel de santé (3, 10, 102, 112).

Ce haut niveau de connaissances obtenu contraste néanmoins avec l'application des principes de radioprotection sur le terrain par le personnel qui n'est effective que seulement chez 21,8% de ces derniers. Nous pouvons rattacher cela probablement au type de l'étude basée sur un auto-questionnaire à réponses fermées qui risque de surestimer les connaissances du personnel ou d'influencer leurs réponses ; constituant ainsi une limite à notre étude.

L'autre explication pourrait être une absence de culture ou une sous-estimation du risque radiologique chez les travailleurs notamment avec l'absence ou la rareté de la formation et de l'information continue ainsi que l'absence d'une régulation forte au sein des établissements.

En effet, plusieurs études ont conclu qu'une formation ciblée, à la fois théorique et pratique (113), des prescripteurs et manipulateurs de radiations ionisantes sur les risques

des rayonnements et les mesures de radioprotection permet la promotion de l'importance de la radioprotection et ainsi d'améliorer les connaissances et les comportements vis-à-vis de l'exposition et d'acquérir de meilleures compétences (**3, 6, 109, 111**).

Ce qui n'est pas le cas dans les établissements de santé publique à Tlemcen concernés par notre étude qui affichent une rareté et même l'absence totale de la formation continue (19% et 65,5% respectivement). Les résultats des travaux menés par Guena et al.(**7**), Yurt et al.(**10**), Ongolo-Zogo et al.(**4**) et d'autres (**68, 104, 108**) viennent confirmer ce constat.

L'absence de la personne compétente en radioprotection (PCR) directement responsable de la promotion de la radioprotection et de la gestion du risque au sein de ces structures sanitaires (**58**) ou son manque d'implication, par méconnaissance des responsabilités qui lui sont incombées ou par simple négligence, pourraient être l'origine de cette absence de formation et au niveau moyen voire médiocre de radioprotection. En effet, nous avons pu recenser 71 sujets exposés soit 50% ayant affirmé la présence d'une PCR mais environ 56,3% de ces derniers ne pouvait le désigner. En revanche, 33,1% ont déclaré que leurs services fonctionnaient sans PCR.

Le manque de concentration des efforts sur la prévention du risques et l'adhérence aux mesures de protection ainsi que la non priorisation de la radioprotection par les directeurs des établissements, premiers responsables auprès du personnel, pourrait constituer une autre cause de ce phénomène. Un nombre insuffisant de radiologues comme en Afrique (**114**) peut en être aussi un facteur.

Quant à la structure des locaux concernés par notre étude, nous avons observé que 78,3% ne répondaient pas aux mesures et normes internationales, cela a été souligné au Maroc (**68**) et en Extrême-Nord du Cameroun (**105**) avec un taux de non-conformité de 93,5%.

La principale lacune notée était l'absence d'un plan définissant la séparation des salles et des zones et la localisation des sources de rayonnements dans 78,3% des endroits visités. Ces plans étant une nécessité voire une obligation à l'entrée des services pour faciliter l'inspection (**7**). L'absence d'une séparation franche et conforme à la législation des zones dans 9 services sur 23 soit un taux de 39,1% a aussi attiré notre attention. En revanche, la dosimétrie d'ambiance était bien présente (78,3%) dans ces structures.

Ceci est aussi rapporté dans la littérature au Cameroun avec une absence totale d'un plan des salles dans tous les centres régionaux, un zonage présent mais non satisfaisant et une

dosimétrie de surface dans uniquement 50% des centres (7). Les résultats au Maroc sont différents de ceux rapportés par notre étude (68) et démontrent une proportion de 81,8% de structures ne présentant pas de zonage.

Ces locaux restaient dans les limites réglementaires par la présence de moyens de protection collective au niveau des salles d'examen dont les paravents et le verre plombé ; la ventilation et les écrans protecteurs n'étaient présents que dans quelques endroits.

La signalisation qui est un critère obligatoire (61) faisait défaut dans 47,8% des structures ou ne concernait que quelques zones (21,7%), elle était représentée principalement par les pictogrammes dont celui du COMENA et/ou par les voyants lumineux à l'entrée des salles de radiodiagnostic dont certains étaient non fonctionnels, les trèfles aussi faisait partie de la signalisation de quelques locaux.

Des études au Cameroun et à Abidjan ont relevé une grande proportion de locaux dotés de signalisation (4, 92) ; Batista a quant à lui noté sa présence dans tous les services (104).

On a retrouvé des taux encore plus bas au Maroc avec 82% de sujets affirmant l'absence d'une signalisation (68).

La limite d'utilisation sécuritaire des appareils émetteurs de radiations ionisantes a été fixé à 10 ans en France (92). L'appareillage présent dans nos établissements de santé enquêtés était d'âge majoritairement compris entre 5 et 10 ans et bénéficiait d'un contrôle de qualité et d'une maintenance très irrégulière (47,8%) ou carrément absente (34,8%) et qui ne se faisait qu'en cas de panne selon les propos du personnel. D'autres études ont rapporté les mêmes observations (7, 68, 107) surtout en ce qui concerne la maintenance et standards de contrôle (4, 115).

Toutes ces failles et défaillances dans la conception, l'agencement et la gestion des structures serait probablement dues une négligence et une mauvaise gestion de la part des personnes responsables, à leurs têtes les directeurs des établissements en question, et qui est favorisée par l'absence d'audits, d'inspections régulières et de sanctions réglementaires.

Le personnel de santé exerçant au niveau de ces établissements et unités a ainsi estimé à 63,6% que leurs locaux ne répondaient que moyennement (et même faiblement pour 36,4%) aux exigences réglementaires et aux normes de radioprotection requises et ne pouvait constituer un milieu favorable pour une observance rigoureuse des mesures de protection.

En prenant toutes les données obtenues en considération, nous avons pu apporter certaines suggestions et recommandations pour l'amélioration du statut de la radioprotection dans les établissements de santé dont :

-La nécessité de développer une forte culture de gestion du risque dans ces institutions par la sensibilisation du personnel aux risques d'exposition aux rayonnements ionisants et l'amélioration de leurs connaissances.

-Remédier au manque de compétences par l'instauration de programmes de formation théorique et pratiques en radioprotection avec une évaluation régulière de la pratique et de l'attitude du personnel au poste de travail.

-Mise en place d'un programme d'assurance qualité pour une meilleure gestion des ressources humaines et matérielles.

-Renforcer le rôle et délimiter les responsabilités des acteurs de la radioprotection.

-Améliorer l'organisation et les conditions de travail dans les services par un aménagement normatif des locaux et une étude des postes.

-Augmenter les ressources humaines pour assurer le non dépassement des limites de doses individuelles annuelles.

-La concentration des efforts et l'implication des responsables dans l'adhérence aux normes réglementaires ainsi que la motivation du personnel à l'observance par l'instauration de programmes de formation et de système de récompense/réprimande.

-Ainsi qu'une instauration d'audits interne et externes et un renforcement des inspections et des sanctions.

Néanmoins, toutes ses actions menées par l'employeur, la PCR, le médecin du travail et les différents acteurs intermédiaires ne suffisent pas à améliorer l'observance ni à instaurer une réelle radioprotection sans la participation active du personnel de santé et son implication dans les différentes procédures entreprises.

En effets des données récentes suggèrent l'attitude et l'observance du personnel de santé peuvent différer même s'ils sont conscients des risques et informés des mesures de radioprotection (109).

Limite de l'étude :

La durée de l'étude étant assez limitée vue la crise sanitaire ne nous a permis d'inclure un plus grand nombre d'établissements et de services.

CONCLUSION

La radioprotection en imagerie médicale vise principalement à limiter les risques d'exposition aux rayonnements ionisants pour le personnel de santé, les patients et le public.

Cela nous a donc mené à réaliser une étude descriptive auprès du personnel exposé aux radiations ionisantes dans les établissements de santé publique dans la région de Tlemcen afin de décrire le niveau de mise en œuvre des différentes mesures de protection.

Ce qui a permis de constater une discordance entre les normes réglementaires précitées dans la littérature et la réalité sur le terrain. En effet, un réel défaut d'observance de la radioprotection dans les structures de santé a été mis en évidence dont une non-conformité du matériel et de certains services, un manque de suivi ainsi qu'une absence de la sensibilisation et de la formation continue du personnel de santé sont les lacunes les plus pertinentes.

Ce constat devrait interpeller les autorités de santé et attirer leur attention vers la nécessité d'améliorer la radioprotection des travailleurs et d'instaurer une formation qualifiante et un contrôle continu des établissements utilisant les radiations.

Dans cette optique et afin de sensibiliser le personnel, nous avons proposé un petit guide des bonnes pratiques en radioprotection qui peut être un outil intéressant pour asseoir les connaissances en radioactivité, signalisation, moyens de protection et maîtrise de la radioprotection.

Ce travail ouvre ainsi les perspectives vers des études sur une plus grande échelle ou d'autres destinées par exemple à établir le niveau réel de connaissances du personnel de santé, la source des lacunes en radioprotection relevées sur le terrain, étudier le rôle de la formation dans l'observance.

ANNEXES

Annexe 1 :

JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 27 du 4 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 13 avril 2005 ; page : 3-13.

Décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants.

Le Président de la République,

Vu la Constitution, notamment ses articles 77-6° et 125 (alinéa 1er) ;

Vu l'ordonnance n° 66-154 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code de procédure civile ;

Vu l'ordonnance n° 66-155 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code de procédure pénale ;

Vu l'ordonnance n° 66-156 du 8 juin 1966, modifiée et complétée, portant code pénal ;

Vu l'ordonnance n° 75-58 du 26 septembre 1975, modifiée et complétée, portant code civil ;

Vu la loi n° 85-05 du 16 février 1985, modifiée et complétée, relative à la protection et à la promotion de la santé ;

Vu la loi n° 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, à la sécurité et à la médecine du travail

Vu la loi n° 90-03 du 6 février 1990, modifiée et complétée, relative à l'inspection du travail ;

Vu la loi n° 90-08 du 7 avril 1990 relative à la commune ;

Vu la loi n° 90-09 du 7 avril 1990 relative à la wilaya ;

Vu la loi n° 90-11 du 21 avril 1990, modifiée et complétée, relative aux relations de travail

Vu l'ordonnance n° 95-07 du 23 Chaâbane 1415 correspondant au 25 janvier 1995 relative aux assurances ;

Vu la loi n° 03-10 du 19 Joumada El Oula 1424 correspondant au 19 juillet 2003

CHAMP D'APPLICATION (Art. 1- 4)

relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable ;

Vu le décret n° 85-231 du 25 août 1985 fixant les conditions et modalités d'organisation et de mise en œuvre des interventions et secours en cas de catastrophes ;

Vu le décret n° 85-232 du 25 août 1985 relatif à la prévention des risques de catastrophes ;

Vu le décret n° 86-132 du 27 mai 1986 fixant les règles de protection des travailleurs contre les risques de rayonnements ionisants ainsi que celles relatives au contrôle de la détention et de l'utilisation des substances radioactives et des appareils émettant des rayonnements ionisants ;

Vu le décret présidentiel n° 96-436 du 20 Rajab 1417 correspondant au 1er décembre 1996 portant création, organisation et fonctionnement du commissariat à l'énergie atomique ;

Vu le décret présidentiel n° 99-86 du 29 Dhou El Hidja 1419 correspondant au 15 avril 1999 portant création de centres de recherche nucléaire

Vu le décret exécutif n° 90-78 du 27 février 1990 relatif aux études d'impact sur l'environnement ;

Vu le décret exécutif n° 91-05 du 19 janvier 1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail ;

Vu le décret exécutif n° 93-120 du 15 mai 1993 relatif à l'organisation de la médecine du travail ;

Décrète :

CHAPITRE I

Article 1er.— Le présent décret a pour objet de fixer : — les règles générales de

protection contre les risques des rayonnements ionisants, en particulier lors des opérations d'importation, de transit, de fabrication, de transformation, d'utilisation, de manipulation, de transport, d'entreposage, de stockage, d'évacuation et d'élimination des substances radioactives et de toute autre pratique qui implique un risque résultant des :

- * expositions professionnelles ;
- * expositions potentielles ;
- * expositions médicales ;
- * expositions du public ;
- * situations d'exposition d'urgence

— les règles d'autorisation de la détention et de l'utilisation des substances naturelles ou artificielles et des appareils émettant des rayonnements ionisants destinés à des fins industrielles, agricoles, médicales et scientifiques.

Sont exclues du champ d'application du présent décret les expositions dues aux radionucléides naturellement présents dans le corps humain, aux rayonnements cosmiques à la surface de la terre, et à des concentrations non modifiées de radionucléides dans les matières premières.

Art. 2. — Les conditions et les modalités particulières relatives à la détention et à l'utilisation de sources de rayonnements ionisants à des fins médicales ainsi qu'à des fins industrielles notamment la radiographie industrielle sont déterminées par arrêté ministériel ou conjoint, selon le cas, par les ministres chargés de la santé, du travail et de la sécurité sociale, de l'énergie et des mines et de l'industrie.

CHAPITRE II

CONDITIONS DE DETENTION ET D'UTILISATION DES SOURCES DE RAYONNEMENTS IONISANTS

(Art. 3 – 16)

CHAPITRE III

EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES

Art. 17. — Est interdit l'emploi à des travaux sous rayonnements ionisants de personnes âgées de moins de dix-huit (18) ans, à l'exclusion des travaux à des fins de formation pratique ou d'apprentissage, pouvant être entrepris à partir de l'âge de seize (16) ans

Section 1 : **Limites de dose** (Art. 18 - 19)

Section 2 : **Limites de dose dans des circonstances particulières** (Art. 20 - 23)

Section 3 : **Dispositif de protection radiologique** (Art. 24 -29)

Section 4 : **Dosimétrie du personnel professionnellement exposé et évaluation des expositions** (Art. 30 - 34)

Section 5 : **Protection médicale des travailleurs exposés à des rayonnements ionisants** (Art. 35 -44)

CHAPITRE IV

EXPOSITIONS POTENTIELLES

Section 1 : **Dispositions particulières aux pratiques mettant en œuvre les sources scellées et non scellées** (Art. 45 - 56)

Section 2 : **Contrôles radiologiques** (Art. 57- 61)

Section 3 : **Assurance de la qualité** (Art. 62).

Section 4 : **Inventaire de sources et matières radioactives** (Art. 63).

CHAPITRE V

EXPOSITIONS MEDICALES (Art. 64 - 83)

CHAPITRE VI

EXPOSITION DU PUBLIC

Section1 : **Limites de doses** (Art. 84)

Section 2 : **Sources d'irradiation externe** (Art. 85 - 89)

Section3 : **Surveillance de la radioactivité sur le territoire national** (Art. 90 - 91)

Annexe 2 :

RECUEIL DE TEXTES REGLEMENTAIRES RELATIFS A LA RADIOPROTECTION Partie 1 : LOIS ET DECRETS

Code de la santé publique

1ère partie.- Protection générale de la santé

Livre III.- Protection de la santé et environnement.

Titre III - Prévention des risques sanitaires liés à l'environnement et au travail

-Partie législative : Chapitre III. - Rayonnements ionisants (art. L. 1333-1 à L. 1333-20)

-Partie réglementaire :

Chapitre III : Rayonnements ionisants

Section 1 - Mesures générales de protection de la population contre les rayonnements ionisants (art. R. 1333-1 à R. 1333-12)

Section 2 -Exposition aux rayonnements ionisants d'origine naturelle (art. R. 1333-13 à R. 1333-16)

Section 3 - Régime des autorisations et déclarations

Sous-section 1 - Champ d'application (art. R.1333-17 à R. 1333-18)

Sous-section 2 - Régime des déclarations (art. R.1333-19 à R. 1333-22)

Sous-section 3 - Régime des autorisations (art. R.1333-23 à R. 1333-37)

Sous-section 4 - Dispositions communes applicables aux régimes d'autorisation et de déclaration (art. R. 1333-38 à R. 1333-43)

Sous-section 5 - Autorisation ou déclaration de transport de matières radioactives (art. R. 1333-44)

Section 4 - Acquisition, distribution, importation, exportation, cession, reprise et élimination des sources radioactives (art. R. 1333-45 à R. 1333-54-2)

Section 5 - Protection des personnes exposées à des rayonnements ionisants à des fins médicales ou médico-légales

Sous-section 1 : Champ d'application (art. R. 1333-55)

Sous-section 2 : Application du principe de justification des expositions aux rayonnements ionisants (art. R. 1333-56 à R. 1333-58)

Sous-section 3 : Application du principe d'optimisation lors d'exposition aux rayonnements ionisants (art. R. 1333-59 à R. 1333-66)

Sous-section 4 : Dispositions diverses (art. R. 1333-67 à R. 1333-74)

Section 6 - Situations d'urgence radiologique et d'exposition durable aux rayonnements ionisants.

Sous-section 1 – Dispositions générales (art. R. 1333-75 à R. 1333-78).

Sous-section 2 : Interventions en situation d'urgence radiologique (art. R. 1333-79 à R. 1333-82).

Sous-section 3 - Intervenants en situation d'urgence radiologique (art. R. 1333-83 à R. 1333-88)

Sous-section 4 - Interventions en cas d'exposition durable (art. R. 1333-89 à R. 1333-92)

Sous-section 5 – Sources radioactives orphelines (art. R. 1333-93)

Sous-section 6 - Dispositions diverses (art. R. 1333-94)

Section 7 –Contrôle

Sous-section 1 : Contrôle par les organismes agréés (art. R. 1333-95 à R. 1333-97)

Sous-section 2 : Inspecteurs de la radioprotection (art. R. 1333-98 à R. 1333-108)

Sous-section 3 - Événements, incidents et accidents (art. R. 1333-109 à R. 1333-111)

Section 8 : Homologation des décisions techniques de l'Autorité de sûreté nucléaire (art. R. 1333-112).

Chapitre VII - Dispositions pénales.

Section 4 : Rayonnements ionisants (art. R. 1337-11 à R. 1337-14).....

Code du travail

Livre IV – Prévention de certains risques d'expositions

Titre V – Prévention des risques d'exposition aux rayonnements

-Partie législative : **Chapitre Ier** – Prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants (art. L. 4451-1 et L. 4451-2)

-Partie réglementaire :

Chapitre Ier – Prévention des risques d'exposition aux rayonnements ionisants

Section 1 – Principes et dispositions d'application

Sous-section 1 – Champ d'application (art. R. 4451-1 à R. 4451-6).

Sous-section 2 - Principes de radioprotection (art. R. 4451-7 à R. 4451-11).

Sous-section 3 -Valeurs limites d'exposition (art. R. 4451-12 à R. 4451-17)

Section 2 - Aménagement technique des locaux de travail.

Sous-section 1 - Zone surveillée et zone contrôlée (art. R. 4451-18 à R. 4451-28)

Sous-section 2 - Contrôles techniques.

Paragraphe 1 - Sources, appareils émetteurs de rayonnements ionisants, dispositifs de protection et d'alarme et instruments de mesure (art. R. 4451-29)

Paragraphe 2 - Ambiance de travail (art. R. 4451-30)

Paragraphe 3 - Organisation des contrôles (art. R. 4451-31 à R. 4451-34)

Paragraphe 4 - Exploitation des résultats (art. R. 4451-35 à R. 4451-37)

Sous-section 3 - Relevés des sources et appareils émetteurs de rayonnements ionisants (art. R. 4451-38 et R. 4451-39)

Sous-section 4 - Protections collective et individuelle (art. R. 4451-40 à R. 4151-43)

Section 3 - Condition d'emploi et de suivi des travailleurs exposés

Sous-section 1 - Catégories de travailleurs (art. R. 4451-44 à R. 4451-46)

Sous-section 2 - Formation (art. R. 4451-47 à R. 4451-50)

Sous-section 3 - Information (art. R. 4451-51 à R. 4451-53)

Sous-section 4 - Certificat d'aptitude à la manipulation d'appareils de radiologie industrielle (art. R. 4451-54 à R. 4451-56)

Sous-section 5 - Fiche d'exposition (art. R. 4451-57 à R. 4451-61)

Sous-section 6 - Surveillance individuelle de l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants

Paragraphe 1 - Suivi dosimétrique de référence (art. R. 4451-62 à R. 4451-66)

Paragraphe 2 - Suivi dosimétrique opérationnel (art. R. 4451-67)

Paragraphe 3 - Communication et exploitation des résultats dosimétriques (art. R. 4451-68 à R. 4451-74)

Paragraphe 4 - Dispositions d'application (art. R. 4451-75 et R. 4451-76)

Sous-section 7 - Mesures à prendre en cas de dépassements des valeurs limites (art. R. 4451-77 à R. 4451-81)

Section 4 - Surveillance médicale.

Sous-section 1 - Examens médicaux (art. R. 4451-82 à R. 4451-87).

Sous-section 2 - Dossier individuel (art. R. 4451-88 à R. 4451-90)

Sous-section 3 - Carte de suivi médical (art. R. 4451-91 et R. 4451-92).

Section 5 - Situations anormales de travail

Sous-section 1 - Autorisations spéciales et urgences radiologiques (art. R. 4451-93 à R. 4451-96)

Sous-section 2 - Mesures en cas d'accident (art. R. 4451-97 et R. 4451-98).

Sous-section 3 - Déclaration d'événement significatif (art. R. 4451-99 à R. 4451-102)

Section 6- Organisation de la radioprotection

Sous-section 1 - Personne compétente en radioprotection

Paragraphe 1 - Désignation (art. R. 4451-103 à R. 4451-109)

Paragraphe 2 - Missions (art. R. 4451-110 à R. 4451-113).

Paragraphe 3 - Moyens (art. R. 4451-114)

Sous-section 2 - Participation du médecin du travail (art. R. 4451-115 à R. 4451-118)

Sous-section 3 - Information du comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail (art. R. 4451-119 à R. 4451-121)

Sous-section 4 - Travaux soumis à certificat de qualification (art. R. 4451-122 à R. 4451-124)

Sous-section 5 - Participation de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (art. R. 4451-125 à R. 4451-128).

Sous-section 6 - Contrôle (art. R. 4451-129 et R. 4451-130).

Section 7 - Règles applicables en cas d'exposition professionnelle liée à la radioactivité naturelle

Sous-section 1 - Exposition résultant de l'emploi ou du stockage de matières contenant des radionucléides naturels (art. R. 4451-131 à R. 4451-135)

Sous-section 2 - Exposition au radon d'origine géologique (art. R. 4451-136 à R. 4451-139)

Sous-section 3 - Exposition aux rayonnements ionisants à bord d'aéronefs en vol (art. R. 4451-140 à R. 4451-142)

Sous-section 4 - Dispositions communes (art. R. 4451-143 et R. 4451-144)

Livre VII – Contrôle

Titre II - Mises en demeure et demandes de vérification

Chapitre II - Demandes de vérifications, d'analyses et de mesures

Section 7 - Rayonnements (art. R. 4722-20 et R. 4722-20-1)

Annexe 3:

Electronic Code of Federal Regulations

Title 10 → Chapter III → Part 835

TITLE 10—Energy

CHAPTER III—DEPARTMENT OF ENERGY

PART 835—OCCUPATIONAL RADIATION PROTECTION

Subpart A—GENERAL PROVISIONS

§835.1 Scope.

§835.2 Definitions.

§835.3 General rule.

§835.4 Radiological units.

Subpart B—MANAGEMENT AND ADMINISTRATIVE REQUIREMENTS

§835.101 Radiation protection programs.

§835.102 Internal audits.

§835.103 Education, training and skills.

§835.104 Written procedures.

Subpart C—STANDARDS FOR INTERNAL AND EXTERNAL EXPOSURE

§835.201 [Reserved]

§835.202 Occupational dose limits for general employees.

§835.203 Combining internal and external equivalent doses.

§835.204 Planned special exposures.

§835.205 Determination of compliance for non-uniform exposure of the skin.

§835.206 Limits for the embryo/fetus.

§835.207 Occupational dose limits for minors.

§835.208 Limits for members of the public entering a controlled area.

§835.209 Concentrations of radioactive material in air.

Subpart D— [RESERVED]

Subpart E—MONITORING OF INDIVIDUALS AND AREAS

§835.401 General requirements.

§835.402 Individual monitoring.

§835.403 Air monitoring.

§835.404 [Reserved]

§835.405 Receipt of packages containing radioactive material.

Subpart F—ENTRY CONTROL PROGRAM

§835.501 Radiological areas.

§835.502 High and very high radiation areas.

Subpart G—POSTING AND LABELING

§835.601 General requirements.

§835.602 Controlled areas.

§835.603 Radiological areas and radioactive material areas.

§835.604 Exceptions to posting requirements.

§835.605 Labeling items and containers.

§835.606 Exceptions to labeling requirements.

Subpart H—RECORDS

§835.701 General provisions.

§835.702 Individual monitoring records.

§835.703 Other monitoring records.

§835.704 Administrative records.

Subpart I—REPORTS TO INDIVIDUALS

§835.801 Reports to individuals.

Subpart J—RADIATION SAFETY TRAINING

§835.901 Radiation safety training.

§§835.902-835.903 [Reserved]

Subpart K—DESIGN AND CONTROL

§835.1001 Design and control.

§835.1002 Facility design and modifications.

§835.1003 Workplace controls.

Subpart L— RADIOACTIVE CONTAMINATION CONTROL

§835.1101 Control of material and equipment.

§835.1102 Control of areas.

Subpart M—SEALED RADIOACTIVE SOURCE CONTROL

§835.1201 Sealed radioactive source control.

§835.1202 Accountable sealed radioactive sources.

Subpart N—EMERGENCY EXPOSURE SITUATIONS

§835.1301 General provisions.

§835.1302 Emergency exposure situations.

§835.1303 [Reserved]

§835.1304 Nuclear accident dosimetry.

Appendix Appendix A to Part 835—Derived Air Concentrations (DAC) for Controlling Radiation Exposure to Workers at DOE Facilities

Appendix Appendix B to Part 835 [Reserved]

Appendix Appendix C to Part 835—Derived Air Concentration (DAC) for Workers From External Exposure During Immersion in a Cloud of Airborne Radioactive Material

Appendix Appendix D to Part 835—Surface Contamination Values

Appendix Appendix E to Part 835—Values for Establishing Sealed Radioactive Source Accountability and Radioactive Material Posting and Labeling Requirements



Annexe 4:

Observance de la radioprotection chez le personnel de santé exposé aux radiations ionisantes dans la région de Tlemcen 2019/200



1. INFORMATIONS SUR LE PERSONNEL EXPOSE

Fiche N°..... Nom/prénom : Sexe : Homme Femme Age :ans

Structure : CHU EHS EPSP

Service :

Niveau d'étude : Primaire CEM Lycée Université Formation

Poste actuel : Médecin Pharmacien Ingénieur Infirmier Préparateur

Manipulateur Aide-soignant Concierge Agent

Autre :

Statut: Chef (service) Chef (unité) Surveillant MC/MA Assistant Résident Interne Stagiaire Autre :

Ancienneté de l'exposition : <1 mois 1- 3 mois 3- 6 mois 6mois-1 an 1-5 ans 5- 10 ans 10-15 ans 15 -20ans 20 -30 ans >30 ans

Exposition : Élément radioactif Type : Radiation ionisante Type :

Zone d'activité : Imagerie Laboratoire Produits radioactifs Déchets Entretien/nettoyage Contact avec patients à risque

Autre :

Fréquence d'exposition : Journalière Hebdomadaire Mensuelle

Estimation de l'exposition : Faible Moyenne Forte Très forte

Nombre d'analyses effectuées (moyenne/ jour) :

Durée moyenne de chaque exposition : minutes Rotation du poste : Oui Non

Votre distance de la source d'exposition sans protection pendant la procédure ? <1 m 1 à 2m > 2m

Disponibilité des moyens de protection individuelle Oui Non Des fois

Conformité des moyens de protection Conformes Pas conformes Leur nombre Suffisant Insuffisant

Entretien et contrôle des moyens de protection : Oui Non Des fois Jamais

Port de moyens de protections : Oui Non Des fois Jamais

Moyens de protection utilisés : Blouse Gants Blouse plombée Gants anti-rayons Bavette Visière Lunettes plombées Cache-thyroïde

Port de dosimètre: Oui Non Des fois **Contrôle dosimètre :** Oui Non Irrégulier

Fréquence d'échange dosimètre Mensuelle Trimestrielle Semestrielle Annuelle Autre

Recevez-vous les résultats du suivi dosimétrique et médical ? Oui Non **Dernière valeur dosimètre:**
.....

Autres procédures de protection? Diminuer le temps d'exposition Augmenter la distance par à la source
 Autres :.....

Congé de désintoxication : Chaque 3 mois Chaque 6 mois Chaque année Irrégulier

Durée du congé : Régulière Irrégulière **Combien de temps :**.....

Mesures suivies chez le personnel féminin en cas de grossesse?

Maintien du poste Affectation vers un autre poste Réaffectation dans un autre service
 Autre :.....

Niveau de radioprotection dans votre service : Faible Moyen Satisfaisant Très satisfaisant

Hygiène des mains : Oui (après chaque manip) Non Des fois

Accident de travail : Oui Non **Type**
d'accident :.....

Quand :..... **Avez-vous déclaré ?** Oui Non **Prise en charge :** Oui Non

Connaissez-vous l'intervention en cas d'accident : Oui Non Je ne suis pas sûr

Existe-t-il un programme de gestion/évacuation des déchets radioactifs dans votre service ? Oui Non

Avez- vous été informé des risques d'exposition aux RI durant l'exercice de vos fonctions ? Oui Non

Connaissez-vous les limites des doses reçues chez le personnel médical : Oui Non

Connaissez-vous la réglementation (protection chez le personnel exposes aux RI) : Oui Non Peut-être

Connaissez-vous les principes en radioprotection ? Oui Non

Sont-ils appliqués dans votre établissement? Oui Non Je ne sais pas

Surveillance médicale du personnel exposé aux RI : Oui Non Des fois

Type d'examen ou de surveillance médicale : D'embauche Périodique De reprise de travail
 Examens complémentaires Examen lors de surexposition Autre :.....

ATCD personnels : Diabète Cardiaques Respiratoires hématologiques Dermatologiques Autres

Avez-vous remarqué des conséquences de votre exposition aux rayonnements ionisants :

Cancer Hématologiques Chute de cheveux/Alopécie Infertilité Cataracte Atteintes cutanées
 Malformation/Anomalies chez la descendance Autres :.....

Formation sur la radioprotection ou les risques liés aux RI : Oui (formation continue) Non Rarement

Existe-il une personne compétente en radioprotection au sein de votre service ? Oui Non Je ne sais pas

2. INFORMATIONS SUR LE SERVICE

D'après vous, vos locaux répondent-ils aux normes internationales ? Oui Non Aucune idée

Existe-t-il un plan définissant les différentes zones d'activités et la localisation des sources de rayonnements ionisants ? Oui Non Aucune idée

Nombre de zones de radioactivité :

Nombre de salles de radioactivité :

Nombre du personnel exposés :

Existe-t-il une séparation des zones selon le danger ? Oui Non Je ne sais pas

Etes-vous classés en catégories A et B ? Oui Non

Les salles d'examens sont dotés de : Ecrans protecteurs autonomes Paravent plombé Verre plombé
 Isolement blindé ventilation Autres.....

Les locaux possèdent-ils une signalisation /affichage des différents dangers ? Oui Non Quelques zones

Types de signalisations présentes : Pictogramme Voyants lumineux à l'entrée des salles d'examen
 Trèfle vert (zone contrôlée) Trèfle bleu (zone surveillée)

L'âge des appareils utilisés dans votre service : < 5 ans 5 à 10 ans 10 à 15 ans > 20 ans

Les appareils bénéficient-ils d'un contrôle de qualité /maintenance régulière ? Oui Non Des fois

Etat des appareils : Bon Mauvais Registres des sources/appareils sont à jour : Oui Non Je ne sais pas

Disponibilité de la dosimétrie d'ambiance : Oui Non Je ne sais pas

Organisation et planning dans le service: Mauvaise Moyenne Bonne Très bonne

Niveau d'application et du respect des textes régissant la radioprotection dans votre service:

Faible Moyen Bon Très bon

Merci pour votre collaboration

BIBLIOGRAPHIE :

1. Bourdon C, Bourgeois C, Villers A, Papo F, Lenoir D, Lecomte J-F. PROGRAMME LES RENCONTRES SUR LA RADIOPROTECTION.
2. Parikh JR, Geise RA, Bluth EI, Bender CE, Sze G, Jones AK. Potential Radiation-Related Effects on Radiologists. *AJR American journal of roentgenology*. 2017;208(3):595-602.
3. Kamoun H, Abbes D, Anis Kamoun K, Attia N, Hammou A. Connaissances du personnel en radioprotection – étude multicentrique en chirurgie orthopédique sur le grand Tunis. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. 2015;76(3):269-78.
4. Ongolo-Zogo P, Nguehouo MB, Yomi J, Nko'o Amven S. Connaissances en matière de radioprotection : enquête auprès des personnels des services hôpitaliers de radiodiagnostic, radiothérapie et médecine nucléaire à Yaoundé Cameroun. *Radioprotection*. 2013;48(1):39-49.
5. Lakhwani OP, Dalal V, Jindal M, Nagala A. Radiation protection and standardization. *Journal of clinical orthopaedics and trauma*. 2019;10(4):738-43.
6. Gunalp M, Gulunay B, Polat O, Demirkan A, Gurler S, Akkas M, et al. Ionising radiation awareness among resident doctors, interns, and radiographers in a university hospital emergency department. *La Radiologia medica*. 2014;119(6):440-7.
7. GUENA MN, MBOUA JB, MOIFO B. Evaluation du niveau de mise en œuvre de la Radioprotection dans les Centres Régionaux d'Imagerie Médicale du Cameroun. *Journal Africain d'Imagerie Médicale*. 2019;10(3).
8. Sari-Minodier I, Orsière T, Auquier P, Martin F, Botta A. Cytogenetic monitoring by use of the micronucleus assay among hospital workers exposed to low doses of ionizing radiation. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*. 2007;629(2):111-21.
9. Wilson-Stewart K, Shanahan M, Fontanarosa D, Davidson R. Occupational radiation exposure to nursing staff during cardiovascular fluoroscopic procedures: A review of the literature. *Journal of applied clinical medical physics*. 2018;19(6):282-97.
10. Yurt A, Cavusoglu B, Gunay T. Evaluation of awareness on radiation protection and knowledge about radiological examinations in healthcare professionals who use ionized radiation at work. *Molecular imaging and radionuclide therapy*. 2014;23(2):48-53.
11. Frankel RI. Centennial of Röntgen's discovery of x-rays. *West J Med*. 1996;164(6):497-501.
12. Reed AB. The history of radiation use in medicine. *Journal of Vascular Surgery*. 2011;53(1, Supplement):3S-5S.
13. Farmelo G. The discovery of X-rays. *Scientific American*. 1995;273(5):86-91.
14. Röntgen WC. Discovery of X-rays. *A Century of X-Rays and Radioactivity in Medicine*: CRC Press; 2018:1-9.
15. Drage N, Whaites E. *Radiographie et radiologie dentaires*: Elsevier Health Sciences; 2019.
16. Basha M. Radioactivity. In: Basha M, editor. *Analytical Techniques in Biochemistry*. New York, NY: Springer US; 2020. p. 103-10.
17. Elgazzar AH, Kazem N. *Biological effects of ionizing radiation. The pathophysiologic basis of nuclear medicine*: Springer; 2015. p. 715-26.
18. Benhalouche S. *Dosimétrie*. 2018.
19. NADA B. *Mémoire de projet de fin d'études*: Université de Monastir; 2010.
20. IRSN. *La radioactivité et ses effets* [Available from: <https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Sante/rayonnements-ionisants-effets-radioprotection-sante/effets-rayonnements-ionisants/Pages/2-differents-rayonnements-ionisants.aspx?dId=b58d9f9a-7224-425b-a349-1eccb3166958&dwId=a8593a58-4f24-4ffe-859f-89528a4e1579#.XrszoM0uDDc>]. Consulté en Décembre 2019.
21. Jimonet C, Métivier H. *Personne compétente en radioprotection: Principes de radioprotection - réglementation*. 2 ed. France: EDP SCIENCES; 2009.

22. île-de-France Aidcmesdsatdlr. Rayonnements ionisants [Available from: <https://www.acms.asso.fr/tags/plaquettes-de-prévention>. Consulté en Janvier 2020.
23. Radiation UNSCotEoA. Ionizing radiation: sources and biological effects. 1982 report to the general assembly, with annexes. 1982.
24. ASN. GRANDEURS ET UNITÉS EN RADIOPROTECTION.
25. Villers A, Grall J-Y, Motyka V, Godet J-L, Rousse C, Leclerc A, et al. PROGRAMME DES 2ème RENCONTRES SUR LA RADIOPROTECTION.
26. Lecler H, Madoux M. Guide pratique de radioprotection en radiologie médicale : 100 fiches techniques pour comprendre et agir. France: SAURAMPS MEDICAL; 2012.
27. TUBIANA M, AURENGO A, Averbeck D, Bonnin D, LeGuen B, Masse R, et al. Académie nationale de médecine. Paris: Institut de France-Académie des Sciences. 2005.
28. Bard D, Lévesque B, Pirard P, Hubert P, Verger P. Rayonnements ionisants Environnement et santé publique - Fondements et pratiques. Paris 2003 p. 463-77.
29. Dubousset J, Aurengo A, Bontoux D, Cabanis EA, Chouard CH, Dubousset J, et al. De l'usage des Rayons X en radiologie (diagnostique et interventionnelle), à l'exclusion de la radiothérapie. Rapport et recommandations. Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine. 2016;200(8):1693-707.
30. Wassilieff S, Cazoulat A, Bohand S, Merat F, Gontier E, Gagna G, et al. Évaluation de l'exposition interne aux rayonnements ionisants du personnel du service de médecine nucléaire du Val-de-Grâce. Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement. 2012;73(6):860-7.
31. Techer I. La radioactivité du corps humain: Effet des actes médicaux et gestion des dépouilles radioactives. 2018.
32. Aupetit S, Maurin D, Poireau V. 100 milliards de rayons cosmiques détectés dans l'expérience AMS-02. Reflets de la physique. 2018(56):26-30.
33. Améon R. Le radon dans les stations thermales: une source d'exposition aux rayonnements ionisants. Radioprotection. 2003;38(2):201-15.
34. Charles M. UNSCEAR Report 2000: sources and effects of ionizing radiation. Journal of Radiological Protection. 2001;21(1):83.
35. VIDAL H. Les rayonnements ionisants Applications médicales et industrielles. Radioprotection. 1994;29(2):213-29.
36. SAMBA ON, FOGANG RT, BOGNING AD, EKOBEA ACA, MAFFO LMJ, YOMI J, et al. Évaluation de la dose d'irradiation délivrée aux patients lors de la radiographie standard du squelette axial. Afrique SCIENCE. 2015;11(4):87-94.
37. Gremion I, Stoll B. Les doses d'irradiation médicale diagnostique à la population. Bulletin des médecins suisses. 2014;95(11).
38. IAEA. Utilisations médicales, industrielles et de recherche des rayonnements ionisants: déclarations et autorisations. 2003.
39. BRENAUT C. La radioprotection dans le nucléaire de proximité-Identification des activités et caractérisation du risque radiologique. 2004.
40. Vermandel M, Marchandise X. D'une « nouvelle sorte de rayonnement » à la tomodensitométrie : une histoire du scanner. IRBM. 2009;30(2):33-9.
41. Dance D, Christofides S, Maidment A, McLean I, Ng K. Diagnostic radiology physics: A handbook for teachers and students. Endorsed by: American Association of Physicists in Medicine, Asia-Oceania Federation of Organizations for Medical Physics, European Federation of Organisations for Medical Physics. International Atomic Energy Agency (IAEA): IAEA. 2014.
42. Haie-Méder C, Maroun P, Fumagalli I, Lazarescu I, Dumas I, Martinetti F, et al. Pourquoi la curiethérapie reste-t-elle indispensable en 2017 ? Cancer/Radiothérapie. 2018;22(4):307-11.
43. George B, Douard MC, Rain JD. Radiothérapie métabolique : quel rôle en 2001 ? Cancer/Radiothérapie. 2002;6(3):188-200.

44. Gallien C-L. Applications industrielles des radiations. *Journal de chimie physique*. 1988;85:63-7.
45. Hill M, Ullrich R. *Ionizing Radiation*. 2019.
46. Haleng J, Pincemail J, Defraigne J-O, Charlier C, Chapelle J-P. Le stress oxydant. *Revue Médicale de Liège*. 2007;62:628-38.
47. Cressier D. Synthèse et évaluation de nouveaux dérivés organiques et organométalliques contre les effets des rayonnements ionisants: Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier; 2010.
48. Mu H, Sun J, Li L, Yin J, Hu N, Zhao W, et al. Ionizing radiation exposure: hazards, prevention, and biomarker screening. *Environmental science and pollution research international*. 2018;25(16):15294-306.
49. Manual RC. *Biological Effects of Radiation*. USNRC technical training centre retrieved. 2010;11.
50. Leclat H, Madoux M. Guide pratique de radioprotection en radiologie médicale : 100 fiches techniques pour comprendre et agir. France: SAURAMPS MEDICAL; 2012. 9 p.
51. Décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants, Art. 4. Sect. 1.
52. Aubert B, Lefaure C. Peut-on optimiser la radioprotection des travailleurs dans le domaine médical? *J Radiol*. 1998;79:307-12.
53. Décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants, Art.84. Chap.5. Sect. 1.
54. Décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants, Art.18. Chap.3. Sect. 1.
55. Cordoliani Y-S, Foehrenbach H. Fondements de la radioprotection. In: Cordoliani Y-S, Foehrenbach H, editors. *Radioprotection en milieu médical (Troisième Édition)*. Paris: Elsevier Masson; 2014. p. 1-8.
56. Castagnet X, Mantzarides M, Laroche P, Foehrenbach H. Radioprotection du personnel dans un service de médecine nucléaire. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*. 2007;68(5):555-65.
57. Massalha S, Almufleh A, Small G, Marvin B, Keidar Z, Israel O, et al. Strategies for Minimizing Occupational Radiation Exposure in Cardiac Imaging. *Current cardiology reports*. 2019;21(8):71.
58. Décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants
59. Instruction n°24 du 29 janvier 1989 relative à la mise en oeuvre de la protection des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.
60. Arrêté interministériel du 15 Safar 1432 correspondant au 20 janvier 2011 fixant les conditions d'utilisation des dosimètres individuels, (25 mars 2012).
61. Arrêté interministériel du 15 Safar 1432 correspondant au 20 janvier 2011 fixant la signalisation particulière des zones réglementées contenant des sources de rayonnements ionisants., (25 mars 2012).
62. Arrêté du 27 Moharram 1437 correspondant au 10 novembre 2015 relatif à la surveillance médicale des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.
63. Arrêté du 28 Moharram 1437 correspondant au 10 novembre 2015 fixant les règles d'optimisation et les niveaux indicatifs pour les expositions médicales à l'intention des professionnels de la santé.
64. Décret présidentiel n° 05-119 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005 relatif à la gestion des déchets radioactifs, (13 avril 2005).
65. Commissariat à l'Energie Atomique. Organisation du COMENA Alger, Algérie: Commissariat à l'Energie Atomique; [Available from: <https://www.comena.dz/organisation/>]. Consulté en Novembre 2019.

66. Décret présidentiel n°96-436 du 20 Rajab 1417 correspondant au 1er décembre 1996 portant création, organisation et fonctionnement du commissariat à l'énergie atomique, J.O.R.A N°75.
67. Aubert B. Organisation de la radioprotection en France. *Journal de Radiologie*. 2010;91(11, Part 2):1201-6.
68. Jaouad S, Essolbi A. Étude de l'observance des règles de la radioprotection en radiologie conventionnelle dans les hôpitaux Segma de la région Marrakech Tensift al haouz. *Ecole nationale de santé publique, management des organisations de sante*. 2013:1-97.
69. Hébert J. Les débuts de la réglementation française de radioprotection. *Radioprotection*. 2005;40(3):357-69.
70. Jimonet C, Métivier H. *Personne compétente en radioprotection: Principes de radioprotection - réglementation*. 2 ed. France: EDP SCIENCES; 2009. 240-1 p.
71. Lecllet H, Madoux M. *Guide pratique de radioprotection en radiologie médicale : 100 fiches techniques pour comprendre et agir*. France: SAURAMPS MEDICAL; 2012. 111 p.
72. OECD Nuclear Energy Agency. *Législation nucléaire des pays de l'OCDE et de l'AEN: Réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires France2008* [Available from: <https://www.oecd-nea.org/law/legislation/fr/>]. Consulté en Novembre 2019.
73. Electronic Code of Federal Regulations. Title 10 Energy [updated 14/11/2019. Available from: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=074cd467f482dd6631d0fda629885916&mc=true&tpl=/ecfrbrowse/Title10/10tab_02.tpl]. Consulté en Novembre 2019.
74. Kang KW. History and Organizations for Radiological Protection. *Journal of Korean medical science*. 2016;31 Suppl 1:S4-5.
75. Jimonet C, Métivier H. *Personne compétente en radioprotection: Principes de radioprotection - réglementation*. 2ed. France: EDP SCIENCES; 2009. 227-34 p.
76. Nenot J-C. International commission radiological protection: its policy, its works, its thoughts.
77. Boudia S. Sur les dynamiques de constitution des systèmes d'expertise scientifique: le cas des rayonnements ionisants. *Genèses*. 2008(1):26-44.
78. Cruz Suarez R, Gustafsson M, Mrabit K. IAEA occupational radiation protection programme. *Radiation protection dosimetry*. 2001;96(1-3):17-20.
79. Cordoliani YS. Chapitre XIII : Organisation de la radioprotection: Organismes internationaux, législation européenne et française. *Feuillets de Radiologie*. 2004;44(4):285-91.
80. Directive 90/641/Euratom du Conseil du 4 décembre 1990 concernant la protection opérationnelle des travailleurs extérieurs exposés à un risque de rayonnements ionisants au cours de leur intervention en zone contrôlée JOCE n°L349 (13 décembre 1990).
81. Directive 96/29 Euratom du Conseil du 13 mai 1996 fixant les normes de base relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants, (1996).
82. Directive 97/43/Euratom du Conseil du 30 juin 1997 relative à la protection sanitaire des personnes contre les dangers des rayonnements ionisants lors d'expositions à des fins médicales, (1997).
83. Kiffel T. La radioprotection des patients, évolutions réglementaires après la publication de la directive 2013-59Euratom. *Médecine Nucléaire*. 2015;39(3):297-9.
84. Décret n°88-54 du 22 mars 1988 portant création du Centre de radioprotection et de sureté, (1988).
85. Décret présidentiel n°99-90 du 29 Dhou El Hidja 1419 correspondant au 15 avril 1999 portant dissolution du centre de radioprotection et de sureté et transfert de ses biens, droits, obligations et personnels au centre de recherche nucléaire d'Alger, (Gouvernorat du grand Alger), (1999).

86. Décret présidentiel n° 05-117 du 2 Rabie El Aouel 1426 correspondant au 11 avril 2005 relatif aux mesures de protection contre les rayonnements ionisants. Art. 90. Chap. 6. Sect. 3.
87. Décret Présidentiel n°99-86 du 29 Dhou El Hidja 1419 correspondant au 15 avril 1999 portant création de centres de recherche nucléaire, J.O.R.A N°27.
88. Kieffer JP. Radioprotection. EMC - Vétérinaire. 2004;1(4):125-37.
89. Canadian Association of Radiologists. GUIDE D'INTRODUCTION À L'IMAGERIE MÉDICALE : UTILISATION ET SÛRETÉ DES RAYONS X 2013 [Available from: <https://car.ca/fr/soins-aux-patients/guides/>]. Consulté en Novembre 2019.
90. Nonent M. PROTECTION DES OPERATEURS EN RADIOLOGIE INTERVENTIONNELLE. 2010.
91. Aupée O, Rizzo-Padoin N, Le Garlantezec P, Bohand X, Foehrenbach H, Laroche P. Aspects pratiques de radioprotection en radiopharmacie. Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement. 2009;70(4):385-94.
92. Kouassi YM, Wognin SB, N'gbesso R, Yeboue-Kouame YB, Tchicaya AF, Alla D, et al. Étude de l'observance des règles de radioprotection en milieu hospitalier à abidjan. Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement. 2005;66(4):369-74.
93. IRSN. Dosimétrie individuelle [Available from: <http://dosimetrie.irsn.fr/fr/prestations/dosimetrie-passive/dosimetrie-individuelle>]. Consulté en Novembre 2019.
94. Carine D-B. Les lésions des acides nucléiques: détection par CLHP-SM/SM dans les milieux biologiques humains et intérêt comme biomarqueurs du stress oxydant et de l'inflammation: thèse doctorat, GRENOBLE; 2006.
95. Jelicova M, Lierova A, Sinkorova Z, Pejchal J. CHANGES IN BLOOD COUNT AND LYMPHOCYTE MICRONUCLEI IN PIGLETS AFTER WHOLE-BODY IRRADIATION. Radiat Prot Dosimetry. 2019.
96. UQAC. GUIDE DE RADIOPROTECTION. 2012.
97. Sari-Minodier I, Paul D, Coletti F, Orsière T, Botta A. 2006.
98. BIAU A. Surveillance de l'exposition interne aux rayonnements ionisants des travailleurs en France 2012 [Available from: <https://www.sfrp.asso.fr/clubs/club-histoire/evolution-du-savoir-et-de-la-reglementation-en-radioprotection.html,1,118,34,0,0>]. Consulté en Mars 2020.
99. Castagnet X, Amabile JC, Cazoulat A, Bohand S, Laroche P. Radioprotection du personnel au bloc opératoire. Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement. 2009;70(4):373-84.
100. Toma P, Bartoloni A, Salerno S, Granata C, Cannata V, Magistrelli A, et al. Protecting sensitive patient groups from imaging using ionizing radiation: effects during pregnancy, in fetal life and childhood. La Radiologia medica. 2019;124(8):736-44.
101. Cordoliani Y-S, Foehrenbach H. 7 - Grossesse et exposition médicale. In: Cordoliani Y-S, Foehrenbach H, editors. Radioprotection en milieu médical (Troisième Édition). Paris: Elsevier Masson; 2014. p. 85-97.
102. Marzouk Moussa I, Kamoun H. Connaissances des travailleurs en radioprotection – Enquête au CHU Mongi Slim à La Marsa (Tunisie). Radioprotection. 2016;51(2):123-8.
103. Kargar E, Parwaie W, Farhood B, Atazadegan Z, Afkhami Ardekani M. Assessment of radiographers' awareness about radiation protection principles in hospitals of Bandar Abbas, Iran. Iranian Journal of Medical Physics. 2017.
104. Batista VMD, Bernardo MO, Morgado F, Almeida FA. Radiological protection in the perspective of health professionals exposed to radiation. Rev Bras Enferm. 2019;72(suppl 1):9-16.
105. Mbo Amvene J, Djonyang B, Mballa Amougou J, Ngaroua D, Nko'o Amvene S. Observance des Règles de Radioprotection dans les Services d'Imagerie des Hôpitaux de l'Extrême-Nord du Cameroun 2017.
106. Guiegui CP, Owona J, Aka INA, N'gassam LT, Affoue LMNg, Kra AAC, et al. Observance des Mesures de Radioprotection en Milieu Hospitalier Public à Yaoundé en 2016. HEALTH SCIENCES AND DISEASES. 2018;20(1).

107. Kokou A, Armande D, David HG, Komla A, Yao AAM, Marcellin A-GK, et al. Usage des Rayonnements ionisants en milieu médical à Cotonou (Benin). *Journal Africain d'Imagerie Médicale: Journal en ligne et en version papier-Printed and online open journal*. 2020;12(1).
108. Adhikari KP, Jha LN, Galan MP. Status of radiation protection at different hospitals in Nepal. *Journal of medical physics*. 2012;37(4):240-4.
109. Alahmari MAS, Sun Z, Bartlett A. Radiation Protection in an Interventional Laboratory: A Comparative Study of Australian and Saudi Arabian Hospitals. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;172(4):453-65.
110. Boulay MH, Soula MC, Gauron C, Biau A. Organisation de la radioprotection dans les établissements de soins: Evaluation et constats en Ile-de-France. 2e trimestre 2002.
111. Zainuddin ZI. TOWARDS HOLISTIC RADIATION PROTECTION: LESSONS FROM THE LITERATURES. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ALLIED HEALTH SCIENCES*. 2018;2(3):517-27.
112. Friberg E, Widmark A, Solberg M, Wøhni T. Level of compliance with the radiation protection regulation—a survey among Norwegian hospitals and X-ray institutes. *Radiation protection dosimetry*. 2011;147(1-2):223-6.
113. Faggioni L, Paolicchi F, Bastiani L, Guido D, Caramella D. Awareness of radiation protection and dose levels of imaging procedures among medical students, radiography students, and radiology residents at an academic hospital: Results of a comprehensive survey. *European Journal of Radiology*. 2017;86:135-42.
114. Muhogora W, Rehani MM. Review of the current status of radiation protection in diagnostic radiology in Africa. *Journal of Medical Imaging*. 2017;4(3):031202.
115. Milu C, Dumitrescu A. Some aspects on radiation protection in conventional and digital radiology in Romania. *Radiation protection dosimetry*. 2008;129(1-3):346-9.

Résumé :

Les rayonnements ionisants (RI) font partie intégrante de la pratique médicale actuelle, le personnel médical et paramédical est ainsi confronté à un grand risque d'exposition et tout non-respect des mesures de protection accentue ce risque. L'objectif de notre étude descriptive transversale menée auprès du personnel de santé exposé aux RI durant la période de Décembre 2019 à Mars 2020 était d'évaluer l'observance des mesures de radioprotection au niveau des établissements de santé publique dans la région de Tlemcen, Algérie. Les données recueillies auprès de 142 travailleurs via un questionnaire individuel ont démontré une prédominance féminine (60%) avec un sex-ratio de 0,67. La moyenne d'âge était de $33 \pm 11,6$ ans. Les manipulateurs en imagerie médicale constituaient le profil le plus représentatif (76,1%). Les équipements de protection individuelle étaient assez disponibles (40,1%) mais leur port restait irrégulier (57%) ; le tablier plombé était largement utilisé (85,9%). 53,9% des enquêtés ont affirmé la présence d'un contrôle dosimétrique et 41,5% ont signalé une irrégularité dans le suivi médical. La personne compétente en radioprotection n'était existante que dans 50% des cas avec une absence de formation du personnel. Au niveau technique, la construction des locaux ne répondait pas aux normes dans 78,3%. Le zonage était effectif dans 60,9% des établissements avec une importante absence de signalisation (47,8%). Ce défaut d'observance de la radioprotection observé constitue un handicap et une véritable urgence nécessitant un renforcement des efforts du personnel et des responsables, du contrôle réglementaires, des connaissances et de la formation.

Mots clés : Rayonnements ionisants, exposition professionnelle, radioprotection.

المخلص

الإشعاعات المؤينة هو جزء لا يتجزأ من متطلبات الطب الحديث، وبالتالي فإن العاملين في المجال الصحي هم أول المعرضين لمخاطر الإشعاع، وعدم احترام إجراءات الحماية والوقاية يزيد من نسبة الخطر. الهدف من خلال دراستنا الوصفية المقطعية التي تم إجراؤها على موظفي قطاع الصحة المعرضين للإشعاع المؤين خلال الفترة الممتدة من ديسمبر 2019 إلى مارس 2020 هو تقييم مدى الامتثال لتدابير الحماية من الإشعاع على مستوى مؤسسات الصحة العامة في تلمسان. أظهرت البيانات المتعلقة بـ 142 عامل صحة والمجمعة من خلال استبيان فردي أن غالبية العمال إناث (60%) مع متوسط عمر يساوي $33 \pm$ سنة. بالنسبة للفئة المهنية الأكثر انتشاراً تمثلت في تقنيي التصوير الطبي بنسبة (76,1%). معدات الحماية الشخصية كانت متوفرة إلى حد ما (40,1%) مع ارتداء غير منظم (57%) من قبل المستخدمين؛ وتعد المريلة الرصاصية الموزونة ذات استعمال واسع (85,9%). أكد 53,9% من المستجوبين وجود وسائل لرصد جرعات الإشعاع و41,5% أفادوا بوجود خلل في المراقبة الطبية. كان الشخص المختص في الحماية من الإشعاع متاحاً فقط في 50% من الحالات مع انعدام التدريب للموظفين المعرضين للإشعاع. على الصعيد التقني، لم تستوف هيكلة المؤسسات المعايير المطلوبة (78,3%)، تقسيم المصالح حسب الخطر كان فعالاً في 60,9% من المنشآت مع غياب ملحوظ للافتات (47,8%).

هذا النقص الملحوظ في الامتثال لقواعد الحماية من الإشعاع يشكل عقبة حقيقية وحالة طارئة تتطلب تعزيز جهود الموظفين والمسؤولين معاً، مع تشديد الرقابة النظامية وتحسين معرفة عمال الصحة وكفاءاتهم المهنية

الكلمات المفتاحية: الإشعاع المؤين، التعرض المهني والوقاية، الحماية من الإشعاع

Abstract :

Ionizing radiation is an integral part of current medical practice, medical and paramedical professionals are thus faced with a great risk of exposure and any failure to comply with protective measures increase this risk. The objective of our descriptive cross-sectional study conducted among health workers exposed to ionizing radiation during the period from December 2019 to March 2020 was to assess compliance with radiation protection measures at the level of public health establishments in Tlemcen, Algeria. Data collected from 142 health care workers by an individual questionnaire showed a female predominance (60%) with a sex ratio of 0.67. The average age was 33 ± 11.6 years old. The most represented professional categories were medical imaging technicians (76.1%). Personal protective equipment was fairly available (40.1%) but their wearing remained irregular (57%); the leaded apron was widely used (85.9%) by the staff. 53.9% of respondents confirmed the presence of a dosimetric control and 41.5% reported an irregularity in the medical surveillance. The competent person in radiation protection was only available in 50% of cases with an absence of adequate education and training of workers. At the technical level, the construction of the premises did not meet the required standards (78.3%). Zoning was effective only in 60.9% of the health establishments with a significant absence of signaling (47.8%). This failure in the observance of radiation protection constitutes a handicap and a real emergency requiring a strengthening of the efforts of staff and managers, regulatory control, knowledge and training.

Key words: Ionizing radiation, occupational exposure, radiation protection.