

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
FACULTE DES MATHÉMATIQUES ET DES SCIENCES DE LA MATIÈRE
DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE



MEMOIRE DE MASTER PROFESSIONNEL

Domaine : Sciences de la Matière

Filière : Physique

Spécialité : Physique médical

Réalisé par :

ZAATOUT CHAHINEZ & BEN-ATAILAH HOUDA

Thème :

**Etude de la radioprotection dans le service de Médecine
Nucléaire de l'hôpital Mohamed Boudiaf Ouargla**

Soutenu publiquement Le : 19 /06/2023

Devant le jury composé de :

Bentouila Omar	MCA	UKM Ouargla	Président
Zaitouni Imame Mahdi	Médecin Nucléaire	CHU Militaire Ouargla	Examineur
Achouri Abderrahim	MCA	UKM Ouargla	Encadreur
Damma Ahmed	Physicien Médical	EPH Ouargla	Co-encadreur

Année Universitaire : 2022/2023

Remerciements

La recherche a traversé de nombreux, mais j'ai essayé de les surmonter avec persévérance ·louange à Dieu et de sa part, je ne dois pas oublier mes qui ont eu le plus grand rôle en me soutenant et en me donnant de précieuses information le physicien médical AHMED DAMMA. Nous adressons nos sincères remerciements et notre reconnaissance au professeur superviseur ACHOURI ABDERRAHIM pour tous les précieux conseils et informations qu'il nous a fournis et qui ont contribué à compléter le sujet de notre étude dans ses différents aspects. Et n'oubliez pas de soumettre l'aimable formulaire à tous les professeurs et professeurs d'université respectés.

Je remercie en particulier l'hôpital Mohamed Boudiaf et le service de médecine nucléaire, pour m'avoir donné nous l'occasion extraordinaire de réaliser mon travail de terrain. Un grand merci également à madame Radia le chef service de médecine nucléaire et madame Kalthom le physicien médical dans le service de médecine nucléaire, pour avoir eu la patience de répondre à nos innombrables questions.

Merci à l'Université Kasdi Merbah-Ouargla, qui nous a embrassés durant notre parcours universitaire. Merci aux professeurs qui nous ont accompagnés lors de notre voyage universitaire. Merci particuliers au Département de Physique et à tous les responsables des opérations administratives de ce département.



Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A l'homme de ma vie, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, J'ai appris la persévérance et la diligence dans l'acquisition de connaissances de vous.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon Bonheur.

Merci mes parents pour la amour et le prière. Puisse dieu le tout puissant vous Procure la santé.

A cette personne lointaine, tu es présent dans mon coeur pour toujours Khaled.

A tous mes frères et mes sœurs.

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés,

Fatima et ses fils et son mari, Hammadi et ses deux filles, Ahlam et son fils, Asmaa et ses fils et son mari, Abdelbaset et son fils, sa fille et sa femme, Assala aussi.

A mon ange Kaltoum que dieu te garde dans son vaste paradis.

A mon oncle Himida, sa femme et leurs enfants .

A mes oncles et ma tante Khaira qui sont toujours présents. Mon oncle Muhammad et mon oncle Miloud.

A mon sourire, mes amis les plus proches qui m'ont accompagné dans les moments les plus difficiles et les moments les plus tristes, les moments de joie et moments de e-chacun en son nom

Dédicace

Je remercie tout d'abord Allah le tout puissant et clément de m'avoir aidé à réaliser ce travail que je dédie :

- **Au propriétaire d'une biographie parfumée et d'une pensée éclairée C'était le principal crédit pour mes études supérieures MOHAMED que Dieu lui fasse miséricorde, longue vie.**
- **A celui qui m'a mis sur le chemin de la vie et m'a apaisé, Tu as pris soin de moi jusqu'à ce que je grandisse MELOUDA grandisse Qui est-ce que je préfère à moi-même et pourquoi pas Tu t'es sacrifié pour moi Tu n'épargnes toujours aucun effort pour me rendre heureux.**
- **Que Dieu bénisse son âme. Pour mes sœurs AMEL ET MANEL et mon frère ZOUBIR, et Mes neveux Maram , Ahmed et Basmala.**
- **Qui a eu un grand impact sur de nombreux obstacles et difficultés. Je ne dois pas oublier mes amis surtout Marwa et Hana et Chers collègues en centre diagnostic ELMOURCHED et à tous ceux qui m'ont soutenu.**
- **A Tout la famille Zaatout et la Tanneh et la famille de mon binôme ben-ataillah,**
وكل الجهد بمجوه ! شعوري عندما أنجز *
Et aidé dans tout ce qu'ils ont et de tant de façon vous présente cette recherche, et j'espère qu'elle vous satisfera.

ZAATOUT CHAHINEZ

TABLE DES MATIERES

Remerciement	I
Dédicace	II
Table des matières	IV
Liste des tableaux	IX
Liste des figures	X
Glossaire	XII
Introduction générale	IX

Chapitre I : Introduction Au Physique Des Rayonnements

I.1. Introduction	1
I.1.1 Rappel sur les rayonnements	1
I.2 Interactions des photons avec la matière	2
I.2.1 Effet photoélectrique	2
I.2.2 Effet Compton	3
I.2.3 Effet Thomson Rayleigh	4
I.2.4 Création de paires	4
I.2.5 Domaine de prépondérance de ces effets	5
I.3 Interaction des électrons avec la matière	6
I.3.1 Phénomène d'excitation et d'ionisation	6
I.3.2 Rayonnement de freinage	7
I.3.3 Transfert linéique d'énergie (TEL)	8
I.4 Interaction des rayonnements avec la matière vivante (radiobiologie)....	9
I.4.1 Définition	9

I.4.2	L'influence des rayonnements ionisants sur les cellules	9
I.4.3	L'influence des rayonnements ionisants à l'échelle tissulaire	11
I.4.4	L'influence des rayonnements ionisants à l'échelle humaine	12
I.5	Grandeurs et unités dosimétriques	12
I.5.1	Activité d'une source radioactive	12
I.5.2	Loi de décroissance radioactive	13
I.5.3	Exposition	13
I.5.4	La Dose	14
I.5.5	La dose absorbée	14
I.5.6	Débit de dose absorbée	14
I.5.7	Kerma	15
I.5.8	Dose équivalente	15
I.5.9	Dose efficace	16
	Référence de chapitre I	18

Chapitre II : Médecine nucléaire

II.1	Introduction	20
II.2	Les radiopharmaceutiques	20
II.2.1	Définition	20
II.3	Les branches de la médecine nucléaire	21
II.3.1	La radiothérapie métabolique	21
II.3.2	La scintigraphie	22
II.3.3	Les différentes techniques de scintigraphie	22
a.	SPECT	22
b.	SPECT-CT	23

c.	Le PET	23
d.	Le PET-CT	25
II.4	Gamma caméra	26
II.4.1	Les collimateurs	27
II.4.2	Le détecteur	30
II.4.3	Le cristal	30
II.4.4	Le guide de lumière	31
II.4.5	Les photomultiplicateurs d'électrons	32
II.4.6	Le coutée électronique	33
II.5	L'indication de scintigraphie	33
II.6	Le circuit du patient	33
II.6.1	Préparation pour la scintigraphie	33
II.6.2	Un jour Avant l'examen	34
II.6.3	La journée de l'examen	34
II.6.4	Salle d'injection	34
II.6.5	Le labo chaud	34
II.6.6	Salle d'attente chaude	35
II.6.7	Salle de gamma camera	35
II.6.8	La salle de traitement	35
	Référence de chapitre II	36

Chapitre III : La Radioprotection En Médecine Nucléaire

III.1	Introduction	38
III.1.1	La radioprotection	38
III.2	Responsable de la radioprotection	39
III.3	Les principes de la radioprotection	39
III.3.1	Justification	39
III.3.2	Limitation de dose	39
III.3.3	Optimisation	40

III.4 Les règle de radioprotection	41
III.4.1 La distance	41
III.4.2 Le temps	41
III.4.3 L'écran	42
III.4.4 L'activité	42
III.5 Les zones on radioprotection	43
III.5.1 Zone contrôlée	43
III.5.2 Zone réglementée	43
III.5.3 Zone surveillée	43
III.5.4 Zone publique	43
III.6 Classification des travailleurs	45
III.7 Contamination radioactive	45
III.7.1 La contamination internée	46
III.7.2 La contamination externe	46
III.8 Décontamination	46
III.8.1 Décontamination externe	46
III.8.2 Décontamination interne	47
III.9 Transport des substances radioactives	47
III.9.1 Réglementations	47
III.9.2 Emballage	47
III.9.3 Étiquetage et marquage	48
III.9.4 Formation et qualification	48
III.9.5 Itinéraires et surveillance	48

III.9.6 Contrôles et inspections	48
Référence de chapitre III	50
 Chapitre IV : Etude De Radioprotection Dans Le Service Du Médecine Nucléaire	
IV.1 Introduction	52
IV.1.1 Présentation de l'hôpital Mohamed Boudiaf	52
IV.2 Radioprotection dans le service médecine nucléaire	53
IV.2.1 Le rôle du physicien médical dans le service MN	53
IV.2.2 L'architecteur de service	53
IV.3 Service Médecine nucléaire	55
IV.2.3 Salle du laboratoire chaud	57
IV.2.4 La salle d'injection	59
IV.2.5 La salle d'attente chaude	59
IV.2.6 Les salles gamma caméra	60
IV.2.7 La salle d'ostéodensitométrie (DMO)	62
IV.2.8 Les sols dans service médecine nucléaire	63
IV.3 La surveillance de l'exposition	64
IV.3.1 La surveillance externe	64
IV.3.1.1 La surveillance externe collective	64
a- La surveillance externe individuelle	65
IV.4 Le transport de la substance radionucléide	67
IV.5 Stockage des déchets :	67
IV.6 Le suivi MT :	68
Conclusion Général :	70

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Facteur de pondération tissulaire de l'organe W_R .

Tableau I.2 : Facteur de pondération tissulaire de l'organe W_t .

Tableau I.3 : Les radioéléments les plus fréquemment utilisés en médecine nucléaire.

Tableau III.4 : Valeurs limites d'exposition professionnelle.

Tableau III.5 : Zone radiologique contaminée ou avec risque probable de contamination.

Tableau IV.6 : Les statistiques des malades en service médecine nucléaire.

Liste des figures :

Figure I.1 : Classification des rayonnements.

Figure I.2 : Effet photoélectrique.

Figure I.3 : Effet Compton.

Figure I.4 : Effet Thomson Rayleigh.

Figure I.5 : Effet production de paires.

Figure I.6 : Probabilités de réalisation des effets photoélectrique, Compton et de Production de paires en fonction de l'énergie.

Figure I.7 : Phénomène d'ionisation.

Figure I.8 : Phénomène d'excitation.

Figure I.9 : Rayonnement de farinage.

Figure I.10 : Variation du TLE des électrons dans les tissus en fonction de l'énergie.

Figure I.11 : Les effets du rayonnement ionisant sur l'ADN.

Figure I.12 : Schémas boules et tiges de l'eau, d'ions hydrogène et d'ions hydroxyle.

Figure II.13 : SPECT.

Figure II.14 : PET.

Figure II.15 : PET-CT de l'Hôpital Mohammed Boudiaf Ouargla.

Figure II.16 : GAMMA CAMERA du service de médecine nucléaire L'hôpital Mohammed Boudiaf Ouargla.

Figure II.17 : Collimateur.

Figure II.18 : Trous parallèle.

Figure II.19 : Trous convergent.

Figure II.20 : Trous divergent.

Figure II.21 : Taille des trous et des septas .

Figure II.22 : Trou sténopé que.

Figure II.23 : L'intérieure d'un GAMMA CAMERA.

Figure II.24 : Composants du GAMMA CAMERA.

Figure II.25 : Photomultiplicateurs.

Figure II.26 : La traduction de signale.

Figure III.27 : Les principes de radioprotection proprement dits.

Figure IV.28 : L'hôpital Mohamed Boudiaf Ouargla.

Figure IV.29 : Service la médecine nucléaire en EPHO.

Figure IV.30 : Plan de service la médecine nucléaire à l'hôpital MOHAMED BOUDIAF.

Glossaries

ADN: Acide désoxyribonucléique.

ALARA: As Low As Reasonably Achievable

$^{241}_{95}\text{Am}$: Américium-241

ASN : Autorité de sûreté nucléaire

$^{133}_{56}\text{Ba}$: Baryum-133

Bq: Becquerel

C : Coulomb

CDA : Couche de demi-atténuation

$^{57}_{27}\text{Co}$: Cobalt-57

$^{60}_{27}\text{Co}$: Cobalt-60

COMENA : Commissariat à l'Energie Atomique

$^{137}_{55}\text{Cs}$: Césium 137 a

CRNA : Center de recherche nucléaire Alegria.

D : La dose absorbée

Ḑ: Débit de dose absorbée

D_{d1} : La dose reçue par une source ponctuelle à la distance d₁.

D_{d0} : La dose reçue à la distance d₀.

D₀ : dose après l'écran

D₁ : dose avant l'écran.

DMO : densitomètre minéral osseux

DXA : Absorptiomètre à rayons X à double énergie.

E : Energie.

EPHO : établissement public hospitalier Ouargla.

FDG: Fluorodeoxy glucose

$^{68}_{31}\text{Ga}$: Gallium-68

GPS : Global Positioning System

Gy: Gray

h: Constant de Blanc

ICRU: International Commission on Radiation Units and measurements

IAEA: International Atomic Energy Agency (AIEA: Agence Internationale de L'Energie Atomique)

ICRP: International Commission on Radiological Protection

$^{123}_{53}\text{I}$: Iode-125

$^{131}_{53}\text{I}$: Iode-131

J : Joule

Kerma: Kinetic Energy Released per unit Mass in the medium

KeV: Kilo Electro Volt

m : La masse

MeV: Méga Electro Volt

MN : médecine nucléaire.

MIBI: Methoxyisobutylisonitrile (MIBI), un produit chimique utilisé en médecine nucléaire.

MRP : médicament radiopharmaceutiques

MT : Médecin Travaille.

v : Longueur d'onde

NEM : un test de gamma caméra.

NRC: Nucléaire Régulateur Commission

NRD : niveaux de références diagnostiques

ONU : ORGANISATION DES NATIONS UNIES

OFSP : office fédéral de la santé public

PCR : personne compétente en radioprotection.

$^{32}_{15}\text{P}$: Phosphore-32

$^{238}_{94}\text{Pu}$: Plutonium-238

$^{239}_{94}\text{Pu}$ Plutonium-239

$^{210}_{84}\text{Po}$: Polonium-210

$^{226}_{88}\text{Ra}$: Radium-226

SI : Système International des unités

SPECT: Single photon émission computer tomographie.

SPECT-CT: Combination of a SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) scan with a CT (Computed Tomography) scan

$^{90}_{38}\text{Sr}$: strontium-90

T_{1/2} : Demi de vie

$^{99\text{m}}\text{Tc}$: Technétium-99 métastable

TEL : Transfert linéique d'énergie

TEP: Tomographie par émission de positons

TEP-CT: Combinaison d'une tomographie par émission de positons avec un CT (Computed Tomography)

$^{235}_{92}\text{U}$: Uranium-235

$^{238}_{92}\text{U}$: Uranium-238

Z : Numéro atomique d'un atome

Introduction Générale

Introduction générale

La physique est l'une des sciences les plus anciennes, et elle a commencé à apparaître dès le Moyen Âge. Elle s'est distinguée au XVIIe siècle comme une science moderne, et à cette époque elle a soulevé un scandale scientifique.

Le développement de la physique a été accompagné par des scientifiques, notamment Newton et Galilée, et des scientifiques musulmans tels qu'Ibn Sahl, Al-Kindi, Ibn Al-Haytham, Ibn Sina et Kamal Al-Din Al-Farsi dans le domaine de l'optique, qui ont hérité les origines de la physique aristotélicienne des Grecs, ont émergé en elle. Les musulmans ont développé ce dernier pendant l'âge d'or islamique. C'est ce qu'on appelle la physique classique ou la physique newtonienne.

Un saut quantique s'est produit qui a affecté tous les domaines de la physique au début du XXe siècle avec les travaux de Max Planck sur la théorie quantique et la théorie de la relativité d'Albert Einstein. Inaugurons un nouveau chapitre de la physique appelé Physique Modern, qui modifie les concepts de physique traditionnels. La physique moderne l'a associée à de nombreuses disciplines, par exemple la physique mathématique, qui est l'application des mathématiques à la physique, et la physique médicale, qui fait l'objet de notre étude.

La physique médicale est l'une des disciplines de la physique appliquée dans les domaines médicaux, en particulier dans le diagnostic et le traitement des maladies. L'importance de la physique en médecine remonte simplement au fait que la physique est présente dans tout, depuis les rayons X, l'imagerie par résonance magnétique et les ultrasons jusqu'aux appareils simples utilisés en médecine, tels que les balances, les thermomètres et autres.

Les dispositifs diagnostiques ou thérapeutiques en médecine dépendent entièrement de la physique, ou spécifiquement de la physique des rayonnements. Les rayons utilisés en médecine sont des rayons ionisants. Et lorsque ce dernier était l'élément utilisé, il fallait tenir compte de sa dangerosité, c'est ce qui nous a fait créer une science appelée la radioprotection. Qui est le titre de notre étude en particulier.

Les raisons les plus importantes qui nous ont fait prêter attention à cette science ou à ce titre d'abord pour des raisons personnelles, qui est de prendre connaissance de la science de la

protection contre les radiations, et ainsi savoir se protéger des rayonnements ionisants. Deuxièmement, sensibiliser les travailleurs de ce domaine au danger des rayonnements ionisants biologiques pour l'homme. L'importance du sujet et sa sensibilité nous ont fait prendre la responsabilité d'éduquer les gens sur nous-mêmes en étudiant un aspect de ce vaste sujet, afin d'en faire profiter les travailleurs et tout le monde.

L'objectif de nos travaux est de décrire le secteur de la médecine nucléaire et ce qu'il contient d'appareils de traitement et de diagnostic, mais aussi de savoir dans quelle mesure les normes et principes de radioprotection sont appliqués, et d'aborder les dangers des rayonnements. Basé sur nos connaissances antérieures lors de nos études dans le domaine de la physique médicale. Atteindre les objectifs fixés et rendre compte de notre travail.

Nous avons présenté cette thèse divisée en quatre chapitres, chaque chapitre traitant d'un sujet bien défini. Le premier chapitre a pour but de rappeler les bases de la physique des rayonnements. Dans le deuxième chapitre, nous en apprendrons davantage sur la médecine nucléaire en termes d'appareils que nous avons vus dans ce secteur. Nous aborderons également dans le troisième chapitre les principes de la radioprotection et les organisations internationales les plus importantes actives dans ce domaine. Nous terminons notre étude par un quatrième chapitre qui contient une synthèse de nos travaux appliqués dans le secteur de la médecine nucléaire.

Références de l'introduction générale

- [1]. Article online <https://kizildenizgroup.com/ar/specialty/68Unité> .
- [2]. Unité de physique médicale – Université McGill, QC Canada.
- [3]. Faculté des sciences – Département de physique biomédicale, Université de Yarmouk – Jordanie.

Chapitre I :
Introduction Au Physique Des Rayonnements

I.1 Introduction :

L'être humain est exposé aux radiations pendant sa journée. Il est exposé à la lumière visible du soleil accompagné de celui-ci rayonnement invisible connu comme le rayonnement ultraviolet et infrarouge. Ces rayonnements sont des ondes électromagnétiques, des ondes radio et rayons X et gamma γ [1].

Dans la médecine et en biologie, ce sont en particulier les rayonnements ionisants que l'on rencontre. Il est constitué soit de particules de matière chargée (électrons, protons, deutérons, Ions...), ou bien des neutres (neutrons), ou bien des photons (précisément les rayons X et γ)[2].

I.1.1 Rappel sur les rayonnements :

•Définition et classification des rayonnements :

Le rayonnement ou radiation est le processus d'émission ou de transmission d'énergie sous la forme d'ondes électromagnétiques ou de particules [3].

- ❖ **Rayonnement ionisant** : le rayonnement est dit ionisant quand il est susceptible d'arracher des électrons à la matière.
- ❖ **Rayonnement non-ionisant** : l'énergie est insuffisante pour ioniser l'atome [4].

Les rayonnements classifiés selon la façon de produire des ionisations dans la matière en utilisant leur propre pouvoir d'ionisation :

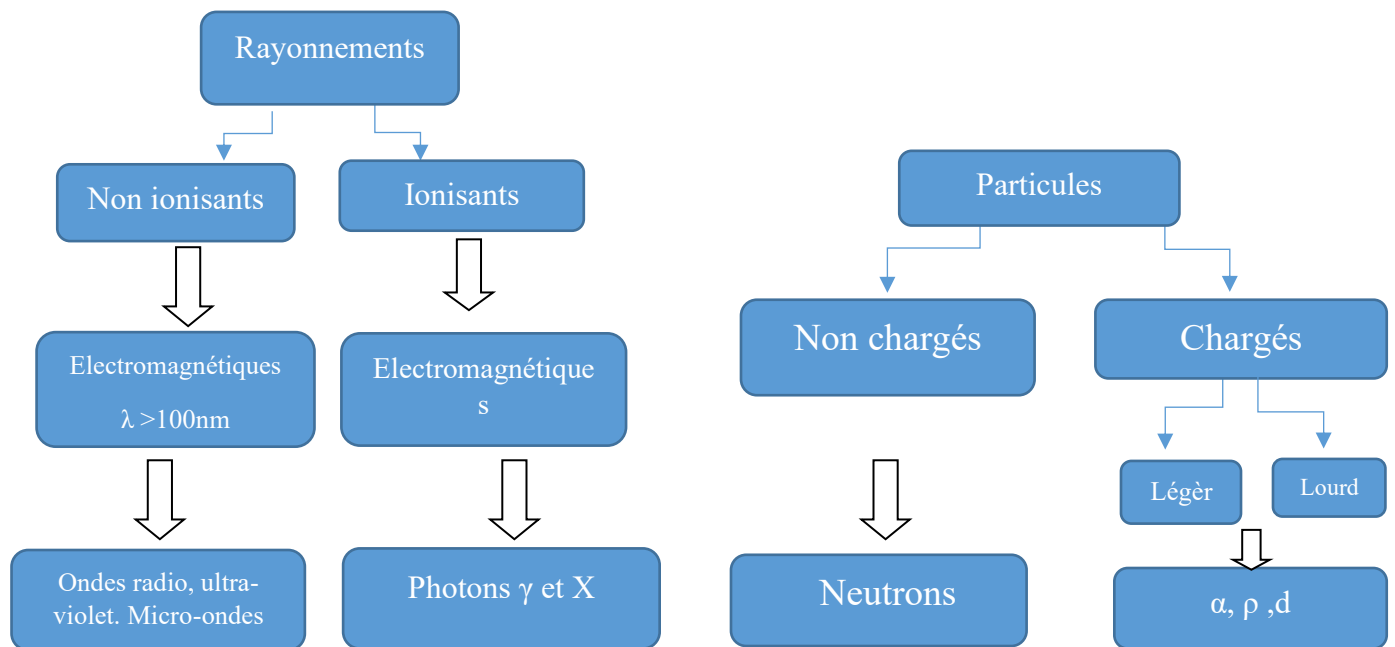


Figure I.1 : Classification des rayonnements.

- **Radiations directement ionisantes** : comme les électrons, particules α , positrons, Protons, deutons...
- **Radiations indirectement ionisantes** : comme les neutrons, rayons X, rayons γ .

I.2 Interaction photon-matière :

Il faut que de multiples interactions se produisent entre les photons et la matière. Pour qu'un faisceau de photons soit atténué par le milieu.

Quatre types d'interactions photon-matière peuvent se produire : l'effet photo-électrique, l'effet Compton, l'effet Thomson-Rayleigh, et création des paires.

I.2.1 Effet photoélectrique :

L'effet photoélectrique est le mode dominant d'interaction pour les photons de basse énergie (0.01 et 0.1 MeV) [2]

C'est un processus par lequel le photon incident, cède toute son énergie à un électron des couches profondes (couche K ou L), qui est alors éjecté de l'atome, il y a absorption totale du photon et ionisation de l'atome (Figure I.2). [5]

L'énergie de l'électron est égale à l'énergie du photon incident, moins l'énergie de liaison de l'électron qui a été éjecté :

$$E_{\text{cin}} = h\nu - |W_e| \quad (\text{I.1})$$

Où W_e est l'énergie de liaison d'un électron atomique et $h\nu$ l'énergie initiale du photon incident.

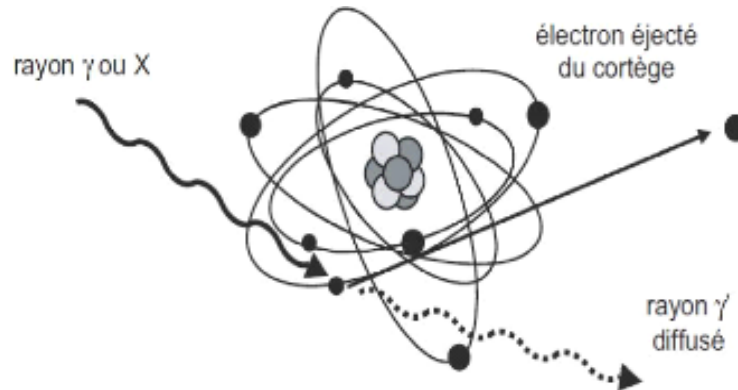


Figure I.2 : Effet photoélectrique

I.2.2 Effet Compton :

L'effet Compton est produit si le photon incident possède une énergie de 0.1 à 0.5 MeV. Le photon interagit avec un électron libre ou peu lié, l'interaction conduit l'éjection de l'électron, le photon incident subit une diffusion avec une énergie inférieure à son énergie initiale. L'énergie du photon diffusé et électron de Compton est donnée simplement, en appliquant les lois de la conservation de l'énergie et du moment cinétique au choc du photon avec un électron libre, ce qui trouve la relation suivante [2] :

$$h\nu = h\nu' + E_{\text{cin}} \quad (\text{I.2})$$

L'énergie du rayonnement électromagnétique incident est $h\nu'$ (ici rayon γ), et l'énergie cinétique de l'électron éjecté est E_{cin} .

Au cours de l'interaction, une partie de l'énergie du photon est transmise à l'électron, qui recule et le reste de l'énergie, $h\nu$ apparaît sous la forme d'un photon diffusé (Figure I.3).

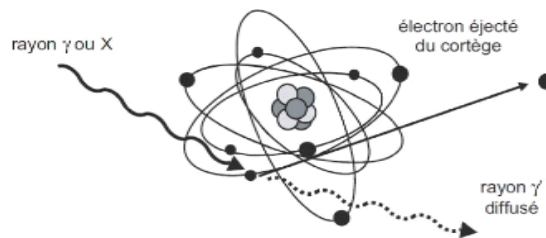


Figure I.3: Effet Compton.

I.2.3 Effet Thomson Rayleigh :

On appelle effet Thomson Rayleigh ou la diffusion cohérente, la diffusion simple, c'est une interaction entre un rayonnement électromagnétique de faible énergie et un atome du milieu traversé. Le rayonnement incident excite l'atome, qui réémet aussitôt ce surplus d'énergie sous forme de rayonnement secondaire. Ce dernier, qui possède la même énergie que le rayonnement primaire, est émis vers l'avant et avec très peu de diffusion par rapport au premier (Figure I.4).

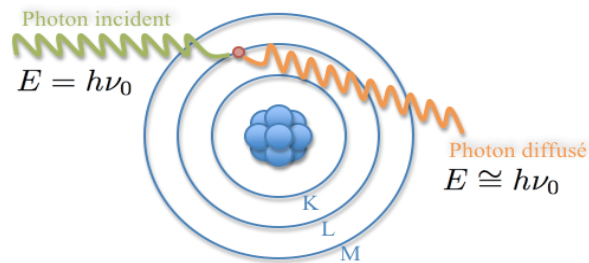


Figure I.4 : Effet Thomson Rayleigh

I.2.4 Création de paires :

Quand le photon ayant une énergie suffisante passe au voisinage d'un noyau, le photon interagit avec le champ électrique créé par le noyau, il disparaît en donnant naissance à un électron et un positron, les deux particules se partagent l'énergie du photon cette matérialisation nécessite une énergie minimale du photon incident d'au moins 2 fois 511keV, soit $E_{min} = 1,02 \text{ MeV}$ (Figure I.5).

Par application du principe de conservation de l'énergie, on a :

$$E = (T^- + m_0c^2) + (T^+ + m_0c^2) = T^- + T^+ + 2m_0c^2 \quad (\text{I.3})$$

$$E = T + 1.022\text{Mev} \quad : T = T^- + T^+ \quad (\text{I.4})$$

E : énergie du photon

T^- : énergie cinétique.

T^+ : énergie cinétique du positron.

Pour qu'un photon puisse créer une paire électron-positon il faut que :

$$E \geq 2m_0c^2$$

$$E \geq 2 * 0.511\text{Mev}$$

$$E \geq 1.022\text{Mev}$$

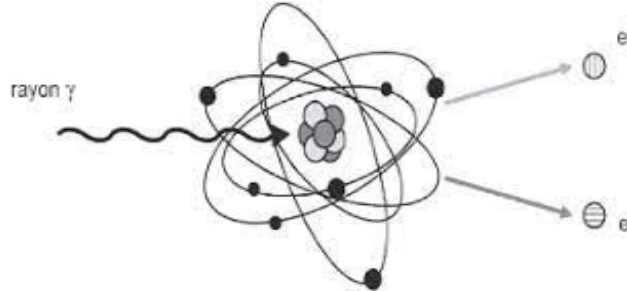


Figure I.5 : Effet création des paires.

Après plusieurs collisions et lorsque le positon est pratiquement au repos il va rencontrer un autre électron avec lequel il va s'annihiler .l'annihilation va provoquer l'émission de deux photons ayant chacun une énergie .ces deux photons sont émis dans la même direction mais dans des sens opposés

I.2.5 Domaine de prépondérance de ces effets :

L'importance relative des différents types d'interaction est en fonction de l'énergie de la radiation et du numéro atomique du milieu: on reporte dans le plan $(h\nu, Z)$ les lieux de probabilité des effets :

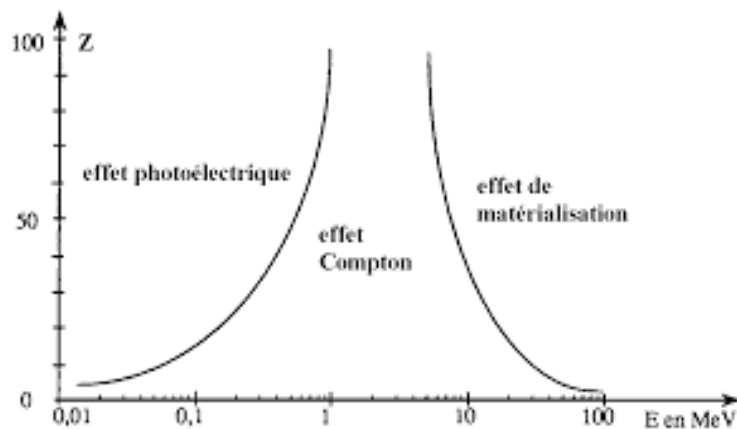


Figure I.6 : Probabilités de réalisation des effets photoélectrique, Compton et de création des paires en fonction de l'énergie.

D'après la figure I.6 précédente, on trouve que :

- Premièrement : l'effet photoélectrique prédomine aux basses énergies. La probabilité d'occurrence est une fonction décroissante de l'énergie du rayonnement incident.
- Deuxièmement : l'effet Compton est l'effet prédominant aux énergies intermédiaires et la valeur du facteur μ varie relativement un petit peu en fonction de l'énergie.
- Troisièmement : la probabilité d'occurrence de l'effet de production de paires, au-dessus de son seuil d'apparition de 1,022 MeV, est une fonction croissante de l'énergie. Pour les énergies des rayonnements γ émis par les radionucléides (0.1 à quelques MeV), on peut constater que l'effet Compton est le mode d'interaction privilégié.[3]

I.3 Interaction électro-matière :

Les électrons sont des particules légères porteuses d'une charge électrique élémentaire, négative pour les « négatons » et positive pour les « positons » [1].

L'électron traversant un milieu matériel va perdre de l'énergie par :

“Collisions”, ou bien les interactions coulombiennes avec les électrons des atomes du milieu traversé, ce qui conduit à l'ionisation ou à l'excitation de ces atomes [6].

I.3.1 Phénomène d'excitation et d'ionisation :

Ces interactions sont les plus probables, tel que l'électron incident transfère une partie de son énergie cinétique à l'électron atomique ; selon la valeur de la quantité d'énergie transférée, l'une de ces réactions aura lieu [3]:

Notons ΔE l'énergie cinétique de l'électron incident et WL l'énergie de liaison de l'électron de l'atome cible.

Selon que ΔE est suffisante ou non pour éjecter l'électron de son orbite, deux phénomènes peuvent se produire : [1]

- $\Delta E \geq WL$: l'électron de la cible est éjecté de son orbite avec une énergie cinétique ($\Delta E - WL$), il se produit une **ionisation** de l'atome cible. L'électron éjecté "électron secondaire», peut à son tour créer d'autres ionisations si son énergie cinétique est suffisante (Figure I.7).

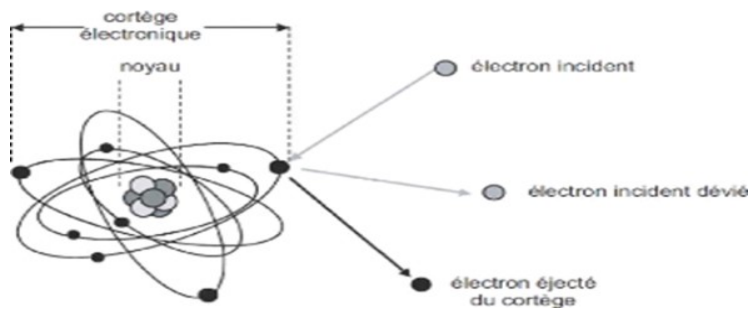


Figure I.7 : Phénomène d'ionisation.

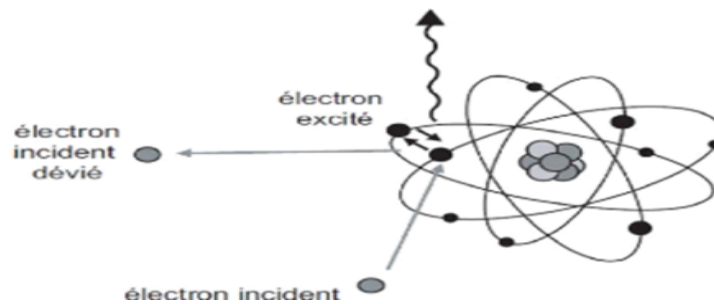


Figure I.8 : Phénomène d'excitation

- $\Delta E < WL$: le transfert d'énergie ΔE ne peut produire aucune ionisation, mais, peut porter l'électron cible à un niveau énergétique supérieur, avec **excitation** de l'atome cible

Si $\Delta E \ll WL$: cette excitation aboutit à une dissipation thermique (par augmentation de l'énergie de translation, de rotation ou de vibration des molécules cibles) (Figure I.8).

I.3.2 Rayonnement de freinage :

Rarement, l'électron incident peut interagir avec un noyau des atomes de la substance traversée. Il subisse l'influence du champ coulombien du noyau, il est dévié et cède une partie de sa énergie au noyau (Figure I.9) .

Cela se manifeste par un ralentissement ou freinage. L'énergie perdue est émise comme des rayonnements X, dits de « **freinage** ».

Littéralement, on peut employer le terme de «**Bremsstrahlung**» («**rayonnement de freinage** », en allemand).

Le phénomène de Bremsstrahlung n'est important que dans le cas des forts électrons (énergie supérieure à 1 MeV) traversant une matière constituée d'atomes lourds (numéro atomique Z élevé) [3].

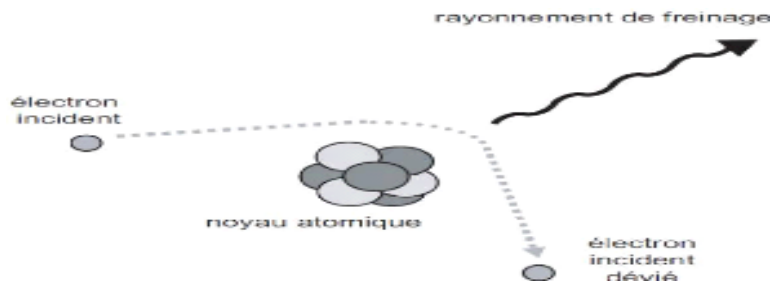


Figure I.9 : Rayonnement de freinage

I.3.3 Transfert linéique d'énergie (TEL) :

Le TEL est la quantité d'énergie transférée au milieu cible par la particule incidente, par unité de longueur de trajectoire.

il s'exprime en keV/ μm ou keV.cm⁻¹.

Pour les particules de vitesse faible devant celle de la lumière, le TEL est donnée par la formule approchée :

$$\text{TEL} = k \cdot (z^2/v^2) \cdot n \cdot Z \quad (\text{I.5})$$

Le **k** est une constante ; **z** est la charge de la particule incidente ; **v** est la vitesse ; **n** est le nombre d'atomes de la cible/unité de volume et **Z** est le numéro atomique de la cible.

Dans le cas particulier des tissus vivants,

Les «**dégâts biologiques**» créés par les électrons sont d'autant plus importants que l'énergie cédée localement aux cellules est grandes

Donc le TEL est une grandeur très importante dans la détermination de «**l'effet biologique**».

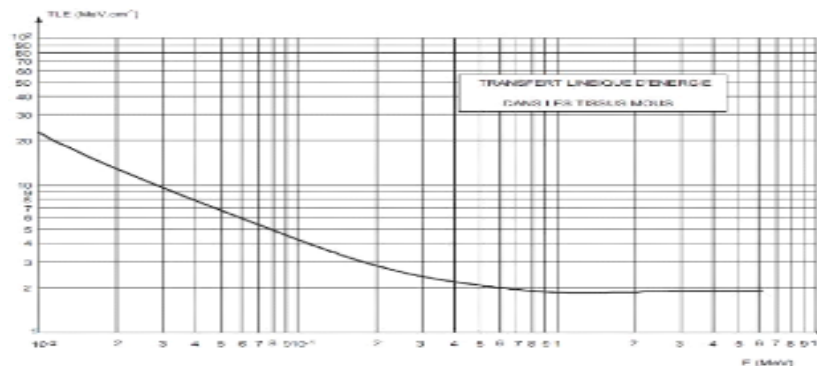


Figure I.10 : Les variations du TEL dans les tissus en fonction de l'énergie des électrons.

On peut déduire de la figure(I.10) :

- La première phase (basse énergie) : le TLE est une fonction décroissante de l'énergie. On peut en déduire que plus les électrons sont ralentis, plus la quantité d'énergie cédée à la matière par interaction est grande, plus leur aptitude à léser les cellules constitutives des tissus devient grande. Les électrons sont donc plus dangereux à la fin de leur parcours.
- La deuxième phase ($500 \text{ keV} < E < 5 \text{ MeV}$) : le TLE peut être considéré comme sensiblement constant est égal à environ 2 MeV.cm^{-1} .

I.4 Interaction des rayonnements avec la matière vivante (Radiobiologie) :

I.4.1 Définition :

C'est l'étude de l'action des rayonnements ionisants sur les organismes vivants, l'étude de l'interaction rayonnement-matière vivante nécessite la combinaison de plus d'une discipline : la radiochimie, la physique des rayonnements et la biologie.

Les rayonnements ionisants interagissent avec la matière vivante par modification de sa structure intrinsèque (fraction de liaison chimique, recombinaison, ...), de façon différente selon la particule impliquée, le transfert d'énergie linéique, la densité de dépôt d'énergie dans le milieu ainsi que la dose déposée.

I.4.2 L'influence des rayonnements ionisants sur les cellules :

Les cellules de l'organisme contiennent de l'acide désoxyribonucléique (ADN), l'ADN est une molécule très importante, elle est semblable à un manuel d'instruction pour le corps, elle donne les instructions aux cellules de quoi faire, quand le faire et comment le procéder.

La structure d'ADN est comme une échelle torsadée. Les longs montants sont composés de molécules de sucre et de phosphate. Ils constituent ce qu'on appelle le « squelette » d'une molécule d'ADN. Chaque barre est constituée d'une combinaison de quatre bases de nucléotides, soit l'adénine, la guanine, la cytosine et la thymine. Chaque nucléotide est représenté par sa lettre initiale. « A » désigne l'adénine, « G », la guanine ; « C », la cytosine, et « T » la thymine.

Les rayonnements ionisants affectent sur l'ADN (au bien atome d'une molécule d'ADN) soit par une action directe ou bien indirecte, ainsi empêcher les cellules de se reproduire. L'action directe est également susceptible d'endommager des structures cellulaires essentielles, parfois, de provoquer l'apparition d'un cancer.

Les particules alpha "α", bêta "β", et les rayons X, sont capables de modifier une molécule d'ADN de l'une des façons suivantes, en causant :

- Un bris du squelette sucre-phosphate.
- Un changement dans la structure chimique des bases.
- Une rupture des liaisons hydrogène connectant les paires de bases.

L'action directe peut endommager l'ADN ou provoquer des mutations.

Les dommages physiques peuvent être causés par les lésions de l'ADN, Ceux-ci comprennent des modifications à la structure chimique de la molécule d'ADN (numéros 2 et 3 de la liste et sur le schéma Figure I.11).

Les changements dans la séquence des paires de bases mènent à des mutations de l'ADN (numéro 1 de la liste et sur le schéma Figure I.11), une lésion de l'ADN non réparée est susceptible de provoquer des mutations. Les mutations empêchent notamment les gènes de produire les protéines appropriées, une conséquence très dommageable pour l'organisme.

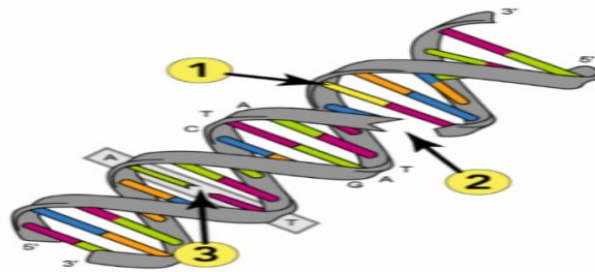


Figure I.11 : les effets du rayonnement ionisant sur l'ADN.

Les effets directs du rayonnement ionisant sont notamment :

- 1) Le bris du squelette sucre-phosphate.
- 2) La modification de la structure chimique d'un nucléotide.
- 3) La rupture des liaisons hydrogène entre les bases.

❖ **L'action indirecte influe sur l'ADN :**

Le rayonnement ionisant exerce également son influence sur d'importantes molécules autres que l'ADN, par exemple, il peut détruire les liaisons qui maintiennent les molécules d'eau ensemble, libérant des ions hydrogène (H⁺) et hydroxyle (HO⁻) que l'on désigne par les **radicaux libres**.

Les radicaux libres sont très réactifs, ils se combinent facilement avec d'autres ions à l'intérieur des cellules, par exemple, les ions hydroxyle (HO^-) peuvent réagir avec des atomes hydrogène à l'intérieur d'une molécule d'ADN pour former du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Cette réaction causerait les types de lésions de l'ADN dont il a été question plus haut, les dommages occasionnés par les radicaux libres peuvent s'accumuler avec le temps, les scientifiques pensent que ces lésions contribuent au vieillissement et à l'apparition de maladies comme **le cancer**, **l'Alzheimer** et **le parkinson**.

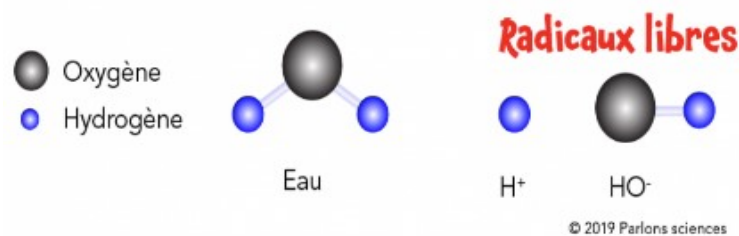


Figure I.12 : Schémas boules et tiges de l'eau, d'ions hydrogène et d'ions hydroxyle.

Les rayonnements ionisants induisent des lésions dans la cellule, si les lésions persistent, elles ont des conséquences à l'échelle des tissus, des organes voire de l'organisme tout entier. Ces effets sur l'organisme dépendent de plusieurs facteurs comme le type de rayonnement, la dose absorbée et la durée de l'exposition... [7]

I.4.3 L'influence des rayonnements ionisants à l'échelle tissulaire :

Un tissu est une population de cellules (un très grand nombre de cellules de l'ordre de 10^{12}) qui est organisée et hiérarchisée afin d'assumer une fonction. On peut distinguer deux grands types de tissus :

- **Les tissus compartimentaux:**

Les tissus compartimentaux sont les plus radiosensibles, et ce sont des tissus à renouvellement rapide et dont les cellules fonctionnelles ont une durée de vie relativement courte (de quelques jours à quelques mois).

- **Les tissus non comportementaux :**

Ce sont des tissus à renouvellement lent (voire même sans renouvellement) donc sans mitose et composés de cellules fonctionnelles. Ces tissus seront très peu radiosensibles.

I.4.4 L'influence des rayonnements ionisants à l'échelle humaine :

Dans le corps entier, les rayonnements ionisants peuvent avoir deux types d'effets : les effets obligatoires ou bien déterministes, déclenchés par la mort des cellules ; les effets aléatoires, liés à des mutations qui pourraient entraîner ultérieurement l'apparition d'un cancer.

Les effets obligatoires sont produites obligatoirement quand l'organisme est soumis à une dose supérieure à le seuil donné. Le seuil est spécifique pour chaque type de tissu biologique ou chaque organe.

Les effets obligatoires être visible aux alentours de 0,1 à 0,2 Gy pour des expositions partielles. Généralement, ces effets se produisent dans le cas d'une exposition unique à fort débit de dose, correspondant à des situations d'incident ou d'accident.

Les effets sont réversibles chez l'homme, la stérilité temporaire peut être observée dans le cas d'irradiation partielle.

Les effets peuvent apparaître selon le tissu atteint, dans un délai de quelques heures à quelques semaines (brûlures cutanées, modification du nombre de spermatozoïdes, ...) voire quelques années (cataracte, hypothyroïdie) après l'irradiation.

La gravité varie basé sur la dose reçue, la nature des organes et l'étendue de la zone du corps irradié. Le pronostic vital engage en cas de forte irradiation globale (corps entier) et en l'absence de traitement. [7]

I.5 Grandeurs et unités dosimétriques :

Les définitions évoquées dans cette partie sont celles des grandeurs qui représentent l'outil nécessaire pour corréler des mesures physiques aux effets des irradiations. Ce sont des grandeurs macroscopiques se rapportant aux effets dans un milieu, pouvant être utilisées pour prévoir les conséquences d'une irradiation [8].

L'action d'un rayonnement ionisant est définie par plusieurs grandeurs, auxquelles correspondent des unités particulières. Les grandeurs usuellement utilisées en dosimétrie, sont [9] :

I.5.1 Activité d'une source radioactive :

C'est le nombre de noyaux qui se transforment spontanément par seconde. L'activité s'exprime en Becquerel (1 Bq = 1 désintégration par seconde).

- **Le curie :** est l'ancienne unité de radioactivité. Il correspond à $3,7 \times 10^{10}$ désintégrations par seconde (symbole Ci), il a été remplacé par l'unité SI correspondante, le becquerel (Bq).

On a :

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ giga becquerels, ou } 1 \text{ Bq} = 27,03 \text{ pico curies}$$

$$1 \text{ Ci} = 2,22 \times 10^{12} \text{ dpm (désintégrations par minute)}$$

Le curie est une unité très grande, bien adaptée aux très fortes radioactivités.

I.5.2 Loi de décroissance radioactive :

Le noyau radioactif à une probabilité λ de se désintégrer par unité de temps, caractéristique du noyau radioactif et constante dans le temps. Si le caractère aléatoire de la désintégration ne permet pas de définir l'instant de la désintégration d'un noyau, on décrit statistiquement le comportement d'un grand nombre de noyau.

$$dN = -\lambda N dt \quad (I.6)$$

Par intégration, on trouve :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (I.7)$$

Où $N(t)$ est le nombre de noyaux radioactifs restants, N_0 est le nombre de noyaux radioactifs primaires, t est le temps, λ est la constante de radioactivité (la probabilité qu'un noyau se désintègre en une seconde)

• **La demi-vie ou période radioactive :** est définie par le temps nécessaire pour que la moitié de la population de noyaux initialement présente se soit désintégrée :

$$N(t) = \frac{N_0}{2} \quad (I.8)$$

$$T(1/2) = \ln 2 / \lambda \quad \text{et} \quad \lambda = \ln 2 / T \quad (I.9)$$

Où $N(t)$ est le nombre de noyaux radioactifs restants, N_0 est le nombre de noyaux radioactifs primaires, $T(1/2)$ est le temps, λ est la constante de radioactivité.

I.5.3 Exposition :

L'exposition s'applique à des rayonnements indirectement ionisants seulement et parmi ceux-ci uniquement aux rayons X et γ .

La quantité d'exposition est définie par l'ICRU (**International Commission on Radiation Unit and mesurément**) comme " le quotient de la charge ΔQ par le volume d'air de masse Δm ». [10.2.11]

$$X = \Delta Q / \Delta m \quad (\text{I.10})$$

L'unité : C/Kg

L'unité : C. L'ancienne unité utilisée était le Roentgen (R)

$$1R = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C/Kg}$$

ΔQ est la charge électrique totale de tous les ions d'un signe donné.

I.5.4 La Dose :

Est la quantité totale de radiation reçue par le corps irradié. Elle est calculée avec précision et prescrite en unités appelées grays (Gy).

$$D = \frac{E}{m} \quad (\text{I.11})$$

E est l'énergie, et **m** est la masse.

I.5.5 La dose absorbée :

Cette grandeur est très intéressante dans le domaine radiothérapie et radiobiologie.[2]

La dose absorbée **D** est définie par le quotient de \overline{dE} par **dm**.

\overline{dE} Est l'énergie moyenne cédée par le rayonnement ionisant à la matière de masse **dm** :

$$D = \overline{dE} / dm \quad (\text{I.12})$$

Unité S.I. : J/Kg le nom spécial de l'unité de la dose absorbée est le gray (symbole est : Gy) :

$$1\text{Gy} = 1 \text{ J/Kg}$$

Le **rad** est l'ancienne unité de dose absorbée, qu'a une valeur correspondante : $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J/Kg}$

I.5.6 Débit de dose absorbée :

C'est le quotient de **dD** par **dt**, où **dD** est l'incrément de dose absorbée pendant l'intervalle de temps **dt** correspondant :

$$\dot{D} = dD / dt \quad (\text{I.13})$$

Unité S.I : J/Kg /s

- Le gray (Gy), substitué au joule par kilogramme :

$$1\text{Gy/s} = 1 \text{ J/Kg /s}$$

- Le rad/s est l'ancienne unité de débit de dose absorbée, a la valeur correspondante :

$$1 \text{ rad/s} = 10^{-2} \text{ J/Kg /s} [12.13.14]$$

I.5.7 Kerma:

Le Kerma définie par l'énergie cinétique libérée dans le milieu par le rayonnement indirectement ionisant (photon, neutron).

$$\mathbf{K = dE_{cin}/dm} \quad \mathbf{(I.14)}$$

- **Le débit de Kerma** : un quotient d'une variation du Kerma ΔK pendant l'intervalle de temps Δt .

$$\mathbf{K = \Delta K / \Delta t} \quad \mathbf{(I.15)}$$

L'unité de Kerma est le gray par minute. **Gy/min**

I.5.8 Dose équivalente :

La nouvelle grandeur de protection est connue sous le nom de **dose équivalente**, préconisée par l'ICRP, apporte une solution plus simple à l'estimation du risque. Le quotient de base s'écrit :

$$\mathbf{HT = \sum W_R \cdot D_{TR}} \quad \mathbf{(I.16)}$$

HT : dose équivalente dans le tissu, ou l'organe T

D_{TR} : Dose absorbée moyenne dans le tissu ou l'organe T résultant du rayonnement

W_R : Facteur de pondération radiologique

Les caractéristiques de W_R sont les suivantes :

Le W_R est un facteur multiplicatif dépendant du type de rayonnement incident sur le tissu ou

L'organe, il dépend du rayonnement incident.

Tableau I.1 : Facteur de pondération tissulaire de l'organe W_R .

Type et gamma d'E	W_R
Photons	1
Electrons	1
Neutrons (E<10KeV)	5
Neutrons (10KeV>E<2MeV)	20
Protons	5
Particules alpha (α)	20

I.5.9 Dose efficace :

C'est la généralisation dans l'organisme de la notion de dose équivalente.

La dose efficace est en fait une dose, qui administrée de façon homogène au corps entier entraînerait les mêmes dommages tardifs que l'ensemble des doses reçues par le même individu au niveau des différents organes et à des moments différents.

Donc cette dose s'agit bien de prendre en compte uniquement les effets stochastiques.

La dose efficace s'exprime par la relation :

$$E = \sum W_t \cdot HT \quad (\text{I.17})$$

E : dose efficace

HT : dose équivalente relative à l'organe T

W_t : Facteur de pondération tissulaire de l'organe.

$$1\text{Sv}=1\text{Gy}=1\text{ J /Kg}$$

Tableau I.2 : Facteur de pondération tissulaire de l'organe W_t .

Tissu ou organe	facteur de pondération tissulaire W_t
Gonades	0.20
Seins	0.05
Moelle osseuse rouge	0.12
Colon	0.12
Poumons	0.12
Estomac	0.12
Vessie	0.05
Foie	0.05
Œsophage	0.05
Thyroïde	0.05
Os (surface osseuse)	0.01
Peau	0.01
Reste de l'organisme	0.05
Total	1.00

Références du chapitre I

- [1]. Dr. MEGHELLI. “Interactions entre les rayonnements ionisants et la matière “, Biophysique-Médicale. Service Médecine Nucléaire, CHU Tlemcen.
- [2]. MELLE. BERKOK HOURIA, MR. FARSI ABDELSAMAD. “ Détermination de la Qualité des faisceaux de photons de haute énergie utilisés en radiothérapie à l’aide des Différents fantômes”. Physique médicale. Université de Science et de la Technologie Mohamed Boudiaf. Oran : s. N, 2009. Projet de Fin d’Etudes.
- [3]. CHRISTINE JIMONET ET HENRI METIVIER. “Personne compétente en Radioprotection”. Principes de radioprotection-réglementation. EDP Sciences 2007. France. ISBN : 978-2-86883-948-0
- [4]. TIINA SUOMIJÄRVI. Physique Nucléaire et Applications ; IPN-Orsay
- [5]. INTERACTION DES PARTICULES CHARGEES AVEC LA MATIERE.[Online]. <http://coursplbichat-lariboisiere.weebly.com>
- [6]. MICHAËL BEUVE. “ Modélisation de l’interaction des ions de haute énergie avec la Matière inerte, la matière vivante et la matière en mouvement”. Université CLAUDE BERNARD – LYON 1: s. N, 2007.Projet HDR
- [7]. Les effets biologique des rayonnements ionisants sur la matière vivant.[online] <https://www.cea.fr/comprendre/Pages/accueil/culture-scientifique.aspx>
- [8]. ASMA MARZOUK. “ Etude d’une solution d’Alanine par Spectrophotométrie UVVisible pour une application dosimétrique”. Chimie Industrielle. Institut national de Sciences Appliquées et de Technologie. Université de 7 Novembre. Carthage : s .n ,2007.Projet de Fin d’Etudes.
- [9]. TILAHUN TESFAYE. “Physique nucléaire”. Université Virtuelle Africaine Addis Ababa, License (Creative Commons), Version 2.5.

Chapitre II

Médecine nucléaire

II.1 Introduction :

La médecine nucléaire née à la fin de la seconde guerre mondiale, elle est un domaine spécialisé de la médecine dans lequel les substances radioactives sont utilisées pour diagnostique ou thérapeutique, on fait appel à la médecine nucléaire pour le diagnostic et le surveillance de très nombreuses pathologies (par exemple le cancer), des maladies cardio-vasculaires (artériosclérose, infarctus), des troubles neurologiques (démences de type Alzheimer, maladie de Parkinson, épilepsie et tumeurs cérébrales) et des maladies ostéo-articulaire.

II.2 Les radiopharmaceutiques :

II.2.1 Définition :

En médecine nucléaire on utilise Les radiopharmaceutiques, il sont des médicaments contenant des éléments radioactifs , se présentant sous forme de sources non scellées, destinées à être administrées par voie parentérale, orale ou pulmonaire, dans un but diagnostique ou thérapeutique.

- **Les actes diagnostiques** sont les explorations scintigraphies ou Tomoscintigraphies. Ces examens permettent de réaliser des études cinétiques, Fonctionnelles ou métaboliques et d'obtenir des images par comptage externe de la Fraction de radioactivité administrée et fixée par un organe. Ils nécessitent l'utilisation d'émetteurs de rayonnement dont le pouvoir de pénétration élevé permet d'explorer l'organisme en profondeur (émetteurs γ purs ou $\gamma + \beta$). Il est possible d'explorer par Scintigraphie de nombreux organes (squelette, cœur, poumons, cerveau, thyroïde, Reins...) et certaines pathologies (infections, tumeurs...). Pour ces examens, les Radiopharmaceutiques doivent être administrés à une dose dépourvue de toxicité Chimique et à une activité la plus faible possible, de façon à limiter l'exposition du patient Aux radiations. Les isotopes utilisés sont caractérisés par la délivrance d'une très faible Dose d'irradiation pour les organes cibles et le corps entier. [20]
- **Les actes thérapeutiques** utilisent des radiopharmaceutiques contenant des Radioéléments à haute énergie (émetteurs β) destinés à irradier de façon sélective Certains tissus, entraînant le blocage des processus de division cellulaire puis la mort des cellules cibles. Les émetteurs utilisés doivent avoir un tropisme sélectif élevé pour le tissu Cible et

être d'une grande pureté nucléidique. Les principales pathologies traitées sont Les affections thyroïdiennes, ostéo-articulaires et les douleurs osseuses métastatiques. [20]

Tableau II.3 : Les radioéléments les plus fréquemment utilisés en médecine nucléaire

Utilisations diagnostiques		
Isotope	Période	Principales applications
Technétium 99m	6 h	Nombreuses explorations scintigraphies
Iode 123	13.2 h	Explorations thyroïdiennes
Iode 125	60 j	Volume plasmatique
Fluor 18	1.83h	Nombreuse explorations cancérologiques
Utilisations thérapeutiques		
Iode 131	8.02 j	Traitement hyperthyroïdiens Hépatocarcinome Cancer de la thyroïde
Phosphore 32	14.3 j	Traitement des polyglobulies
Strontium 89 Samarium 153	50.6 j	Traitement des douleurs liées aux métastases osseuses

II.3 Les bronches de la médecine nucléaire :

En médecine nucléaire le patient reçoit un radiopharmaceutiques par voie intraveineuse, ou par voie orale, ou par inhalation pour le diagnostic (examen de scintigraphie) ou bien dans le but thérapeutique (radiothérapie métabolique).

II.3.1 La radiothérapie métabolique :

Les sources radioactives sont administrées par voie orale (boisson ou capsule) ou par injection intraveineuse. Ces sources radioactives se fixent ensuite sur les cellules cancéreuses pour les détruire.

II.3.2 La scintigraphie :

La scintigraphie est une imagerie d'émission (c'est-à-dire que le patient devient une source radioactif après l'injection du traceur appelé radiopharmaceutiques), par contre à l'imagerie radiographique qui est une imagerie de transmission (le faisceau est externe, donc il est traversé le patient).

Le patient est injecté par un traceur, c'est l'association d'une molécule vectrice et d'un marqueur radioactif, la molécule vectrice est choisie pour se fixer de façon sélective sur une structure particulière de l'organisme (un organe, un secteur liquidien, une lésion), dans cette molécule se trouve un isotope radioactif, le radiotraceur permet de suivre la position de la molécule dans le corps humain, parce qu'il émet le rayonnement gamma que l'on peut visualiser à l'aide d'une gamma-caméra (c'est une caméra à scintillation qui donne les scintigraphies).

Il existe plusieurs techniques de scintigraphies comme le « **TEP, TEP-CT, SPECT et SPECT-CT** »

II.3.3 Les différentes techniques de scintigraphie :

a. SPECT :

La tomographie par émission nanophotonique, ou bien le TEMP, ou même SPECT (Single photon emission computed tomography), on appelle tomoscintigraphie par émission nanophotonique, cette technique est basée sur le principe de la scintigraphie, qui permet d'effectuer des images que des reconstructions en trois dimensions d'organes et de leur métabolisme à l'aide d'un ensemble de gamma caméras tournant autour du patient (Figure I.13).

Pour effectuer une TEMP, il faut injecter préalablement au patient un émetteur de rayonnement gamma «**produit radioactif**» (constitués de photons), ce radiopharmaceutique est choisi en fonction de ses propriétés chimiques pour se fixer sélectivement dans l'organisme et mettre en évidence certains processus biologiques. [15]

La réalisation d'image de la distribution du radiopharmaceutique à l'aide d'une gamma-caméra tournant autour du patient. Celle-ci est constituée d'un collimateur (permettant la sélection angulaire des photons) et de détecteurs de rayons gamma. Grâce à un algorithme de reconstruction

tomographique, la cartographie tridimensionnelle de l'activité radioactive est estimée, donc la distribution du radiopharmaceutiques dans l'organisme. [15]

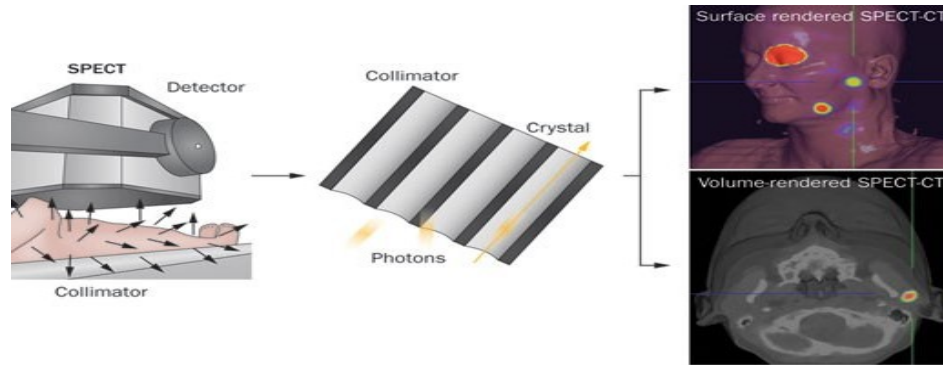


Figure II.13 : Le SPECT.

b. SPECT-CT :

Deux modalités d'imagerie médicale différentes coexistent au sein d'une seule caméra. Le SPECT-CT est une technique d'imagerie hybride entre SPET et CT, signifie par le terme « hybride ». Ces deux techniques (le SPECT et le CT) sont utilisées séparément depuis longtemps, respectivement dans la médecine nucléaire et l'imagerie médicale. [16]

La gamma caméra donner des informations fonctionnelle (par exemple l'augmentation de fabrication osseuse en cas de fractures ou de métastases dans l'os), alors que le scanner multi-détecteurs (CT) donner des informations structurelles, anatomiques et morphologiques.

Soit le SPECT ou bien le CT sont par essence tomographiques, veut dire que, dans les deux types d'imagerie, il s'agit d'une imagerie tridimensionnelle qui fournit la fusion des informations des images dans les trois dimensions. [16]

Les informations sont obtenues après l'injection intraveineuse d'une molécule spécifique marquée d'une infime quantité d'une substance radioactive (le plus souvent du Technétium-99m) dont le rayonnement est détecté par la gamma caméra. [16]

c. Le PET :

La technique de PET est basée sur la détection de petites quantités (picomolaires) de substances biologiques qui sont marquées avec l'émetteur de positrons. Les plus couramment

utilisés sont le carbone $11\text{}^1_6\text{C}$, oxygène- $15\text{}^{15}_8\text{O}$, azote- $13\text{}^{13}_7\text{N}$ et fluor- $18\text{}^{18}_9\text{F}$. Les avantages des substances marquées par des positrons sont leur très grande spécificité (ciblage moléculaire), la possibilité d'utiliser substances actives biologiques sans modification de leur comportement par l'étiquette, et respect du principe du traceur. Ainsi, le processus d'intérêt reste inchangé pendant la mesure. Les structures cibles de ces molécules sont par ex. métabolisme glucidique, potentiel de liaison au récepteur, transport des catécholamines, transport des acides aminés ou protéine la synthèse. Tous les nucléides mentionnés ci-dessus ont des demi-vies radioactives très courtes (2 min pour O-15, 109 min pour F-18), ce qui nécessite un cyclotron et une installation de radiochimie à proximité. [17]

L'imagerie de la concentration régionale du traceur est obtenue par travers aux propriétés uniques de désintégration et annihilation des positrons. Après l'émission du noyau parent, le positron énergétique parcourt quelques millimètres à travers le tissu jusqu'à ce qu'il se thermalise par interaction électrostatique entre les électrons et les noyaux atomiques du milieu et se combine avec un électron libre pour former un positronium. Le positronium se désintègre Par annihilation, générant une paire de rayons gamma qui voyagent dans des directions presque opposées avec une énergie de 511 keV chacun (Figure I.14). [17]

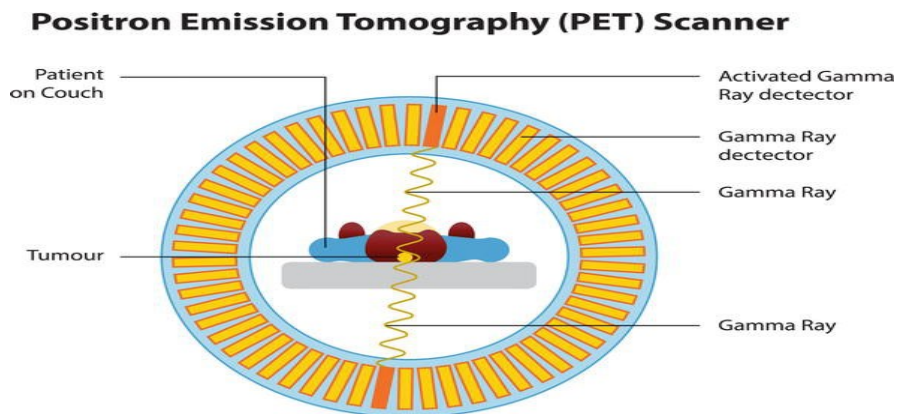


Figure II.14 : le PET.

d. Le PET-CT :

Le PET-CT est constitué d'un scanner CT conventionnel à rayons X, accolé à un scanner PET, généralement constitué d'un anneau de détecteurs à scintillation, capable de détecter et d'enregistrer des photons gamma émis par l'annihilation des positrons émis par les isotopes injectés aux patients. L'examen est effectué après l'injection d'un radiotracer émetteur de positron. Dans le cas du FDG marqué au Fluor-18, il convient d'attendre environ 60 minutes pour la fixation du traceur dans les tissus. Les images des deux modalités ne sont pas enregistrées simultanément mais séquentiellement avec le déplacement du patient à travers les deux scanners. [18]

Généralement les images de CT sont acquises en premier, suivies par les images de PET. Les images de CT sont utilisées pour appliquer une correction d'atténuation des photons gamma afin de corriger les effets de l'atténuation tissulaire des photons qui ont pour effet de diminuer l'intensité apparente des parties profondes par rapport aux parties superficielles de l'organisme(Figure I.15). [18]

Le PET a également considérablement évolué avec des détecteurs capables d'acquisitions beaucoup plus courtes que les scanners PET conventionnels. Une nouvelle génération de cristaux à scintillation d'Oxyorthosilicate de Lutétium (LSO) remplace aujourd'hui les cristaux de Silicate de Germanium (GSO) avec des taux de comptage nettement plus élevés permettant des acquisitions plus courtes avec des qualités d'image comparables. Les PET traditionnels aux cristaux de GSO nécessitaient des acquisitions dépassant les 45 minutes, il est possible aujourd'hui d'effectuer un examen PET de qualité comparable avec des cristaux de LSO en moins de 10 minutes. [18]

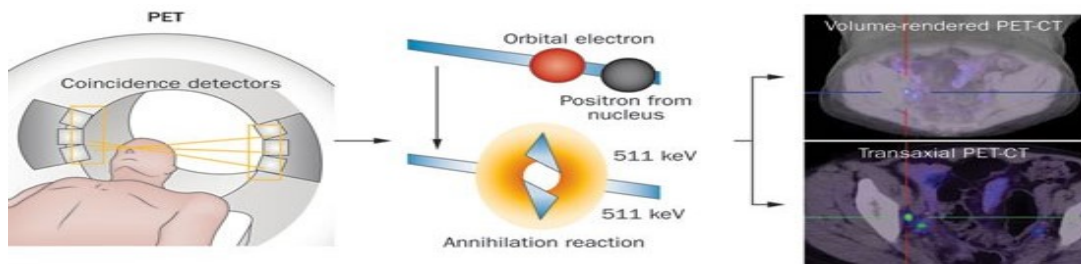


Figure II.15 : Le PET-CT de L'EPHO.

II.4 Gamma caméra :

Les caméras à scintillation sont des appareils connus sous le nom « **gamma-caméra** », qui permet aux médecins nucléaires d'effectuer des « scintigraphies », examens qui fournissent des diagnostics détaillés sur le fonctionnement des poumons, de la thyroïde, du cœur, et de bien d'autres parties du corps.

L'examen de scintigraphie consiste à administrer au patient une molécule radiopharmaceutiques contient un isotope radioactif gamma, les rayons pénétrants sont susceptibles de sortir du corps et d'atteindre les dispositifs de détection. La molécule dont on cherche à suivre le devenir dans l'organisme est choisie en fonction du diagnostic et l'organe à effectuer. Une fraction minime d'isotope radioactif suffit, étant donnée l'extrême sensibilité des systèmes de détection capables de ramasser les désintégrations d'atomes individuels.

La « gamma-caméra » détecte les scintillations produites par les rayons gamma émis par le marqueur radioactif. Ainsi l'observation d'un grand nombre de scintillations, pour localiser l'activité des molécules émettrices.[19]

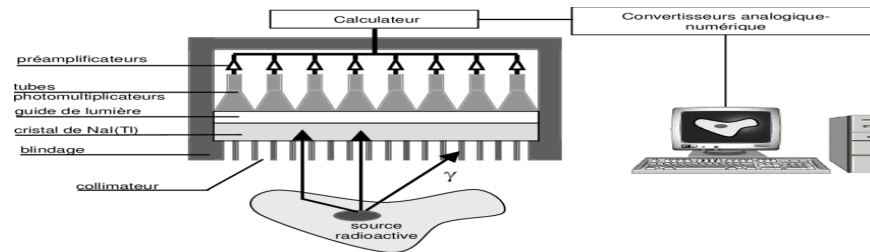


Figure II.16 : GAMMA CAMERA du service de médecine nucléaire L'EPHO.

II.4.1 Les collimateurs :

Il se présente sous la forme d'une galette de plomb (Figure II.17), de tungstène ou d'un autre métal de numéro atomique élevé, dans laquelle des trous cylindriques ou coniques sont percés suivant un système d'axes déterminé. La cloison séparant deux trous voisins est appelée septum. Le collimateur agit comme un " filtre ", cette dernière effectue le processus de filtrage les photons gammas émis par la source vers le cristal et d'absorption les photons diffusés. Seuls les photons qui proviennent de la partie de l'organe située à la verticale des trous peuvent atteindre le détecteur. Les autres sont arrêtés par les septas (épaisseurs de Plomb séparant deux trous). [19]

Éléments intervenant dans le calcul des collimateurs

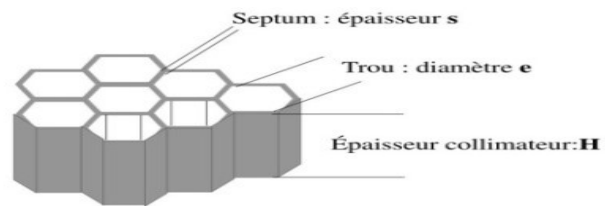


Figure II.17 : Collimateur

- Les différents types de collimateur :

Suivant l'orientation des trous :

- **Parallèles** : Les septas sont parallèles et les trous verticaux. (Figure II.18)

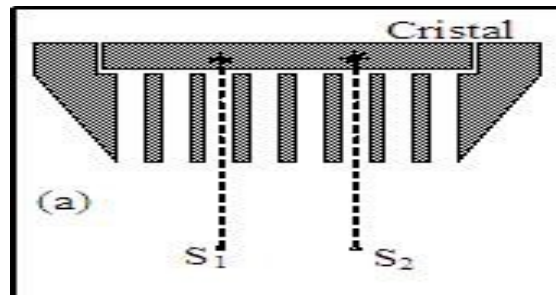


Figure II.18 : Trous parallèles.

- **Divergents** : Les trous sont obliques de façon à augmenter le champ de la caméra. (figureII.19)

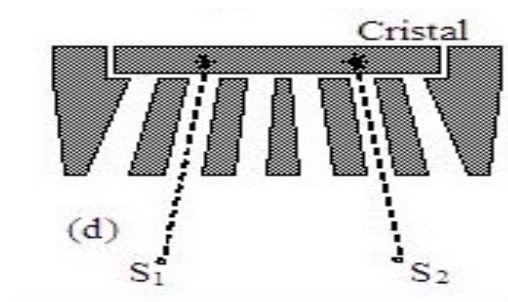


Figure II.19 : Trous divergents.

- **Convergents** : Les trous obliques dans l'autre sens permettant un agrandissement de l'image.(figure II.20)

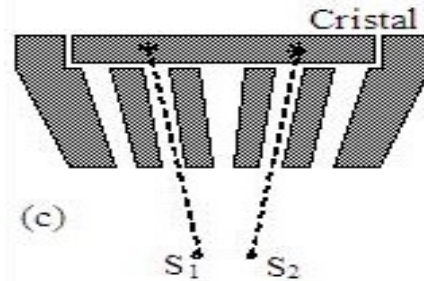


Figure II.20 : Trous convergents.

- **Pin-hole ou sténopéique** : Utilisé pour de petits organes (Thyroïde essentiellement), de forme conique, il présente un seul petit trou à son sommet. Il agrandit et inverse l'image. (Figure II.21)

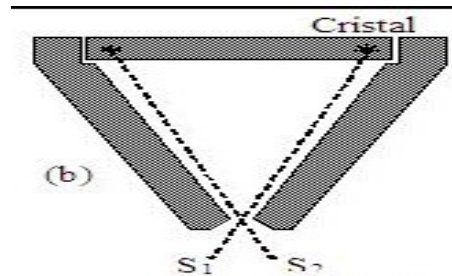


Figure II.21 : Trous sténopéique.

- **Suivant la taille des trous et des septas :**

- **Haute et moyenne énergie** : Les septas sont épais afin d'arrêter les photons diffusés qui sont très pénétrants
- **Haute résolution** : Le diamètre des trous est petit afin de réduire les photons diffusés et ceux pas tout à fait verticaux. Peu de photons atteignent le détecteur, le taux de comptage est faible. L'image est de très bonne définition mais très longue à acquérir.
- **Haute sensibilité** : les trous ont un diamètre plus grand. Cela entraîne un fort taux de comptage car il laisse passer un nombre élevé de photons. Cela réduit le temps de l'examen au détriment de la définition. (Figure II.22)[19]

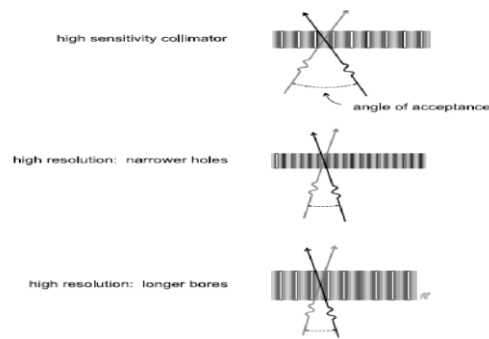


Figure II.22 : Taille des trous et des septas

II.4.2 Le détecteur :

Le détecteur contient a un scintillateur dont le diamètre et l'épaisseur peuvent varier, des photomultiplicateurs (PM) dont le nombre varie également.

Le cristal et l'ensemble des PM sont enfermés dans une enceinte plombée, étanche à l'humidité et la lumière. Le rôle essentiel du blindage est de protéger le détecteur des rayonnements provenant de régions situées en dehors de la zone explorée.(Figure II.23)[19]

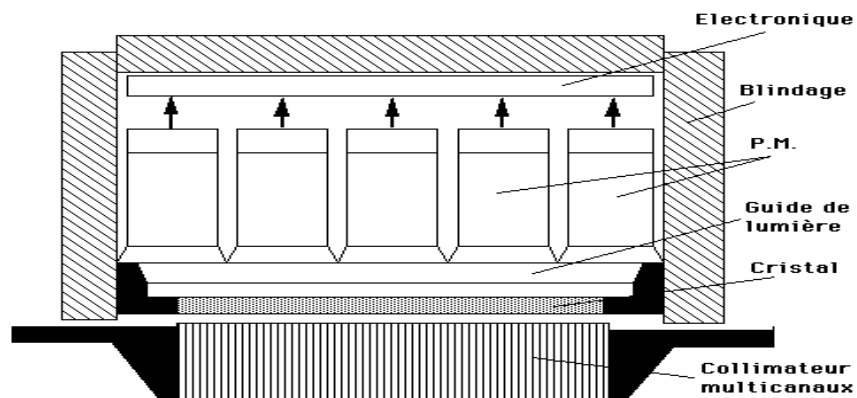


Figure II.23 : l'intérieure De la GAMMA CAMERA.

II.4.3 Le cristal :

En utilise un cristal d'Iodure de Sodium (INa) contenant des impuretés de Thallium (Tl). Il est transparent et laisse la scintillation lumineuse se propager partout dans sa masse. C'est lourd et arrête facilement les particules incidentes et interagit avec elles. Il émet après excitation par un rayonnement gamma, des photons lumineux qui ne sont pas situés dans le domaine visible.

Les interactions des gammas dans le cristal sont des interactions élémentaires du type effet photoélectrique, effet Compton. Le rayonnement gamma incident parvient dans le cristal et lui

transmet son énergie en produisant une gerbe scintillante. Cette scintillation provient des électrons du cristal qui ont reçu l'énergie du gamma, transmettant cette énergie aux atomes de Thallium, qui en se désexcitant produisent un rayonnement de fluorescence (lumière bleue). A la suite des interactions élémentaires, les électrons créés ou déplacés dans le cristal perdent progressivement leur énergie en excitant les atomes de Thallium après l'émission des photons lumineux (visible), les électrons vont retourner à l'état fondamental. En créant un niveau d'énergie supplémentaire, de déplacer les longueurs d'onde de ces photons. C'est ce qui permet l'ajout de Thallium(Tl). Toutes les désexcitations ne sont pas suivies d'émission lumineuse. Une partie de l'énergie absorbée par le cristal est dissipée sous forme de chaleur.

Le nombre de photons lumineux émis est proportionnel à l'énergie des photons incidents (si l'absorption est totale). Principe de détection.

On a recours à un système d'amplification (P.M), puisque les photons lumineux n'étant pas directement détectables.

Ionisation ou excitation du cristal --> Excitation du TL ---> Rayonnement de fluorescence visible (après désexcitation du TL) [19]

II.4.4 Le guide de lumière :

Entre le cristal et la batterie de photomultiplicateurs se trouve une plaque en verre, avec des joints optiques (graisse de silicones) entre ces différents milieux transparents, constitue le guide de lumière (regarde la figure II.24) (il ne s'agit donc pas d'un guide de lumière au sens des fibres optiques utilisées par exemple en endoscopie). Son rôle se résume à :

- une adaptation d'indice de réfraction entre le cristal INa (indice très élevé) et le vide des photomultiplicateurs (indice = 1). L'interposition d'un milieu d'indice de réfraction intermédiaire (verre) permet d'éviter la transition trop brutale entre le cristal et le vide, et donc d'éviter la réflexion totale des rayons lorsqu'ils sont inclinés par rapport aux interfaces.
- l'éloignement des photomultiplicateurs par rapport au cristal. Ainsi, par le jeu des angles solides, un plus grand nombre de photomultiplicateurs reçoivent une quantité mesurable de lumière, et l'effet de l'épaisseur du cristal est atténué, celle-ci devenant faible par rapport à l'épaisseur totale, cristal + guide de lumière. [19]

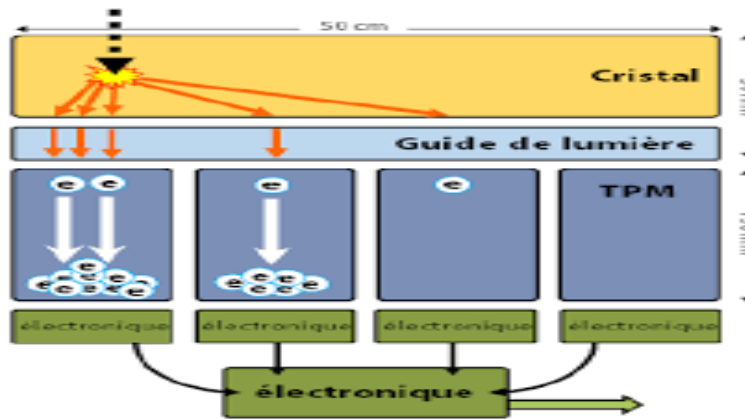


Figure II.24 : Composants du GAMMA CAMERA.

II.4.5 Les photomultiplicateurs d'électrons :

La photocathode a un rôle de transformer le photon lumineux émis par le scintillateur en électrons par effet photoélectrique.

Pour multiplier le nombre réduit d'électrons par un facteur de 10^6 à 10^{10} , on utilise le P.M. On obtient ce résultat en accélérant les électrons produits vers une électrode (dynode) sur laquelle ces électrons vont arracher, grâce à leur énergie, des électrons secondaires qui sont à leur tour accélérés et vont frapper la deuxième dynode à laquelle ils arrachent des électrons tertiaires et ainsi de suite. Il en résulte une impulsion électrique négative pour chaque photon gamma incident. L'amplitude de cette impulsion est proportionnelle au nombre d'électrons initiaux, c'est à dire, à l'énergie déposée dans le cristal par le rayonnement gamma initial. A chaque gamma incident le détecteur émet une impulsion proportionnelle à l'énergie placée. [19]

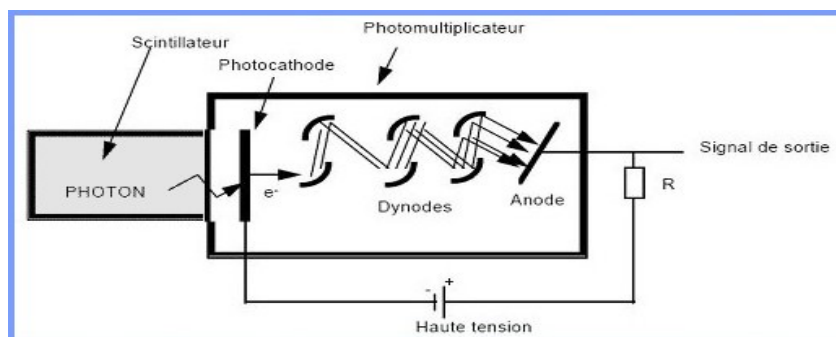


Figure II.25 : Photomultiplicateur.

II.4.6 Le cotée électronique :

A travers tous les effets physiques, on arrive à l'étape de la traduction du phénomène physique par un phénomène électrique (signale électrique). Ensuite, le signale électrique est traduit en une image.

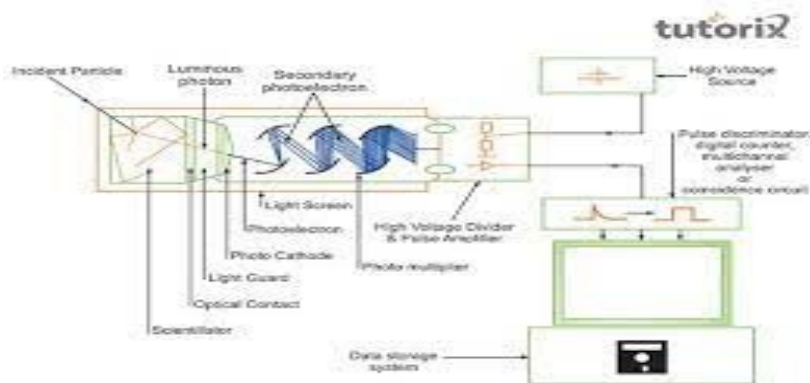


Figure II.26 : La traduction de signale.

II.5 L'indication de la scintigraphie :

Les médecins utilisent généralement ce test d'imagerie pour rechercher des problèmes tels que :

- Blocage du flux sanguin vers le cœur
- Cancer qui s'est propagé aux os ou au foie
- Inflammation (gonflement et douleur) ou infection dans les organes

Saignement, par exemple dans les intestins Parfois, les médecins utilisent ce test d'imagerie pour voir dans quelle mesure une partie du corps se porte. Par exemple, les médecins peuvent vérifier le fonctionnement du cœur lorsqu'il pompe fort en faisant ce test en marchant ou en courant sur un tapis roulant. Si une personne a eu une crise d'épilepsie avant les arythmies cardiaques. Les médecins peuvent effectuer ce test d'imagerie pour voir comment le cœur se rétablit

II.6 Le circuit du patient :

Cela commence par l'examen du patient par le médecin, en effectuant les tests nécessaires. Ensuite, le patient est envoyé au service de médecine nucléaire pour diagnostiquer l'état du patient

II.6.1 Préparation pour la scintigraphie :

- Les tests ne nécessitent pas de préparations particulières, et certains d'entre eux obligent le patient à jeûner pendant un certain temps et à s'arrêter certains médicaments pouvant affecter le résultat du test.

- Certains tests nécessitent de donner au patient des médicaments avant d'injecter la substance radioactive.

- Les tests de médecine nucléaire ne fonctionnent pas pour les femmes enceintes, et s'il y a une possibilité de grossesse, un test de laboratoire doit être fait pour le confirmer.

Si le résultat est positif, l'examen sera reporté.

- Certaines matières radioactives sont excrétées avec le lait maternel. Par conséquent, le médecin doit être informé si la patiente allaite, afin qu'elle puisse en être informée. Période nécessaire d'arrêt de lactation.

- Il est conseillé au patient de boire des liquides et d'aller aux toilettes pour se débarrasser plus rapidement de la substance radioactive de son corps

II.6.2 Un jour Avant l'examen :

La direction du service de médecine nucléaire contacte les patients qui subiront la scintigraphie un jour ou 2 jours avant le rendez-vous, donnant aux patients les instructions à suivre en fonction du type d'examen que le patient subit

II.6.3 La journée de l'examen :

Le patient se rend au service de médecine nucléaire, accompagné d'une demande scintigraphie du médecin. Il effectue toutes les démarches administratives nécessaires à la réception. Puis le patient attend son tour

II.6.4 Salle d'injection :

A ce phase, l'infirmier prend son fiche, puis elle est prend le poids et l'âge du patient, et le temps d'injection, noter les informations sur le fiche. Ensuite, le patient est injecté avec la substance radioactif nécessaire (ex : L'iode 123 est en lui-même vecteur de la thyroïde et émetteur radioactive. On utilise le MIBI comme un radiopharmaceutiques dans l'examen myocardique).

II.6.5 Le labo chaud :

Préparation journalière des médicaments radiopharmaceutiques dans le Laboratoire de préparation (dit « labo chaud ») du Service de Médecine Nucléaire

La préparation des médicaments radiopharmaceutiques doit se réaliser dans un Environnement d'air contrôlé

- En termes de radioprotection
- En termes de préparation stérile sous isolateur

La préparation des médicaments radiopharmaceutiques doit se réaliser selon des Protocoles de préparation stricts avec des contrôles de qualité (marquage et stérilité)

II.6.6 Salle d'attente chaude :

Cette salle est destinée aux patients qui ont été injectés avec l'élément radioactif, avec des toilettes pour les patients, Le patient doit boire beaucoup d'eau pendant le temps d'attente pour augmenter la qualité de l'image.

Il est spécialement conçu pour protéger contre les radiations (les patients dans cet état sont considérés comme une source radioactive).

Le temps d'attente d'un patient dépend du type d'examen qu'il a, Il faut généralement attendre entre 2et 4 heures pour que la substance radioactive se fixe dans l'organe.

II.6.7 Salle de gamma caméra :

Le patient se rend dans une salle de gamma-caméra. Le manipulateur redresse la position du patient sur la table, puis se dirige vers l'endroit où la gamma caméra est contrôlé. Lorsque L'examen se termine. Il envoie les images à l'ordinateur de la salle de traitement d'images

II.6.8 Salle de traitement d'images (salle d'interprétation) :

Le physicien médical traite les images transmises. Puis il l'envoie à l'ordinateur du médecin. Qui examine l'état du patient à travers la scintigraphie et prépare le Compte rendu, et à la fin le service de médecine nucléaire envoie le Compte rendu au médecin responsable de l'état du patient ou délivre au patient le résultat.

Référence de chapitre II :

- [10]. HIGH-DOSE DOSIMETRY. IAEA, International Atomic Energy Agency, Vienna, 1985
- [11]. CHRISTOPHE CHAMPION. “ Interaction des ondes et des particules avec la Matière biologique». Laboratoire de physique moléculaire et des collisions ; Institut de Physique de Metz ; Université de Metz, Technopôle 2000, Doc.
- [12]. THE PHYSICS OF RADIOLOGY. 4^{ème} édition. Harold Elford Johns- John Robert Cunningham.
- [13]. PR. MALIKA ÇAOUI. “ Interaction des rayonnements ionisants avec la matière”. Université Mohamed V-Souissi. : s. N, 2009
- [14]. ASMA MARZOUK. “ Etude d’une solution d’Alanine par Spectrophotométrie UVVisible pour une application dosimétrique”. Chimie Industrielle. Institut national de Sciences Appliquées et de Technologie. Université de 7 Novembre. Carthage : s .n ,2007.Projet de Fin d’Etudes.
- [15]. Ali I, Ruddy TD, Almgrahi A, Anstett FG, Wells RG (2009) Half-time SPECT myocardial perfusion imaging with Attenuation correction. J Nucl Med 50(4):554–562 Bai C, Shao L, da Silva AJ, Zhao Z (2003) A generalized Model for the conversion from ct numbers to linear Attenuation coefficients. IEEE Trans Nucl Sci 50(5):1510–151
- [16]. Prise de position de la Commission fédérale de protection contre les radiations et de surveillance de la radioactivité (CPR) sur les examens SPECT-CT
- [17]. Kinahan PE et al (1998) Attenuation correction for a combined 3D PET/CT scanner. Med Phys 25(10):2046–2053 Levin CS, Dahlbom M, Hoffman EJ (1995) A Monte Carlo correction for the effect of Compton scattering In 3-D PET brain imaging. IEEE Trans Nucl Sci NS-42(4) :1181-1185
- [18]. Directive L-09-04. QAP Gamma-caméras, TEP et TEP-CT
- [19]. Gamma caméra[online]. <https://www.phys4med.be/camera-anger>
- [20]. BARBIER Y., GALY G. – Les radio pharmaceutiques : Guide pratique du contrôle de Qualité en médecine nucléaire – 1994, éditions de l’ACOMEN (Groupe d’Action Concertée En Médecine Nucléaire du sud de la France), 8 av. Rockefeller, 69008 Lyon.

Chapitre III
La Radioprotection En Médecine
Nucléaire

III.1 Introduction :

La découverte de ces rayonnements ne date que d'un siècle et leur usage incontrôlé révéla rapidement leur danger potentiel. La nécessité d'une protection se fit donc jour. Amenant à la création d'organismes nationaux puis d'un comité international de radioprotection qui allait devenir en 1928 la commission internationale de protection radiologique (CIPR). Concernant initialement les travailleurs exposés aux RI.

III.1.1 La radioprotection :

C'est une science désigne l'ensemble des mesures prises pour assurer la protection de l'Homme et de son environnement contre les effets néfastes que peut générer une exposition à des rayonnements ionisants.

Pour comprendre les dangers des rayonnements et éviter les expositions inutiles, nous devons d'abord comprendre la nature et les propriétés de ces rayonnements, comment ils sont émis et comment ils interagissent avec des matériaux tels que le plomb, le matériau de protection le plus important, et avec le corps humain. Cependant, lorsqu'elles sont soumises à une évaluation impérieuse, les matières radioactives peuvent entraîner des expositions inutiles pour les patients du personnel et les visiteurs du service MN d'un hôpital ou d'une clinique.

Il est servir de guide notamment pour l'élaboration de prescriptions de sécurité aux autorités et aux services officiels, aux organismes spécialisés, aux entreprises, aux comités de sécurité et d'hygiène et de façon générale, aux employeurs et aux travailleurs concernés. Longtemps, et au moins durant les trente dernières années, la radioprotection en médecine nucléaire a principalement été conçue autour du technétium-99m pour les applications diagnostiques et de l'iode-131 pour la thérapie.

Les directives, qui énoncent les principes généraux et indiquent les différents éléments de la radioprotection, portent sur les questions suivantes : obligations et responsabilités ; système de notification, d'enregistrement ou d'autorisation ; classification des travailleurs, des conditions de travail et des zones de travail ; limitation de l'exposition aux rayonnements ; programme de protection radiologique.

III.2 Responsable de la radioprotection :

Personne techniquement compétente Il travaille dans le service désigné par l'employeur et son travail principal est pour surveiller l'application des règlements, normes et consignes de radioprotection et pour dispenser des conseils sur tous les aspects pertinents de la radioprotection.

III.3 Les principes de la radioprotection :

En 1996 déjà, la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) a proposé l'utilisation de niveaux de références diagnostiques (NRD) comme moyen important d'optimiser la dose reçue par le patient .La réglementation en matière de radioprotection s'appuie sur trois grands principes fondamentaux.

III.3.1 Justification :

Toute activité humaine augmentant l'exposition aux RI ne doit être adoptée que si elle produit suffisamment d'avantage pour les individus ou pour la société. Une activité par laquelle l'homme ou l'environnement sont exposés à des rayonnements ionisants ne doit être exercée que si elle se justifie par rapport aux avantages et aux dangers qui y sont liés» indique la loi fédérale du 22 mars 1991 sur la radioprotection, qui fixe aussi le mandat de l'OFSP dans ce domaine. Cette législation a pour but de protéger l'homme et l'environnement contre les dangers dus aux rayonnements ionisants. Elle s'applique à toutes les activités, installations et situations et à tous les événements qui peuvent présenter un danger lié à des rayonnements ionisants et provoquer une augmentation de la radioactivité de l'environnement.

III.3.2 Limitation de dose :

Les doses de rayonnement auxquelles les personnes sont exposées pour des activités justifiées ne doivent pas dépasser certaines valeurs limites (doses d'exposition individuelle) lesquelles diffèrent selon qu'elles s'appliquent à la population ou aux personnes exposées aux rayonnements dans l'exercice de leur profession. Les deux principales limites sont celle qui s'applique à la population en générale de 1 mSv par an et celle qui concerne les travailleurs de 20 mSv par an.

Tableur III.4 : Valeurs limites d'exposition professionnelle

VALEURS LIMITEES D'EXPOSITION EN MILLISIEVERT SUR 12 MOIS CONSÉCUTIFS				
	Corps Entier (dose efficace)	Extrémités : mains, avant- bras, pieds, chevilles (dose équivalente)	Peau (dose équivalente sur tout cm ² quelle que soit la surface exposée)	Cristallin (dose équivalente)
Travailleurs	20 mSv	500 mSv	500 mSv	100 mSv /20msv
Jeunes travailleurs (entre 16 et 18ans sous réserve d'y être autorisés pour les besoins de leur formation)	6 mSv	150 mSv	150 mSv	15 mSv
Femmes enceintes	Dose équivalente à l'enfant à naître inférieur à 1 mSv de la déclaration de la grossesse à l'accouchement			
Femme allaitant	Interdiction de les maintenir ou de les affecter à un poste entraînant un risque d'exposition interne			

III.3.3 Optimisation :

Obtenir une protection meilleure que le simple respect des limites de dose sans chercher à obtenir une dose nulle. L'OFSP s'engage à maintenir l'exposition de la population aux radiations si elle est justifiée, à un niveau aussi bas que raisonnablement possible. Il suit pour cela le principe ALARA (« As Low As Reasonably Achievable » Aussi bas que raisonnablement possible) reconnu au niveau international. Si une activité implique une exposition justifiée aux radiations il convient ainsi de respecter le principe directeur de l'optimisation qui est d'éviter toute dose inutile.

III.4 Les règles de radioprotection :

Il existe quatre règles fondamentales de protection contre les sources de rayonnements externes.

III.4.1 La distance :

Plus la distance entre la personne et la source de rayonnement n'est grande, la quantité de dose reçue est plus faible et, par conséquent, la quantité de dose reçue diminue inversement avec le carré de la distance de la source radioactive. En effet dans le cas de rayonnement qui s'atténue peu dans l'air la dose reçue par une source ponctuelle à la distance d_1 est plus faible que la dose reçue à la distance d_0 et peut-être calculée en utilisant la relation suivante :

$$D_{d_1} = \frac{D_{d_0}}{\left(\frac{d_1}{d_0}\right)^2}$$

D_{d_1} : La dose reçue par une source ponctuelle à la distance d_1 .

D_{d_0} : La dose reçue à la distance d_0 .

III.4.2 Le temps :

La réduction du temps d'exposition aux rayonnements réduit la dose reçue et le taux de réduction est directement proportionnel au temps.

III.4.3 L'activité :

Réduire l'activité de la source comme par exemple : diminuer les quantités de matière radioactive engagées.

III.4.3 L'écran :

Dans le cas d'une exposition externe il est possible d'utiliser des écrans de protection entre la source et les personnes.

Ces écrans sont choisis en fonction des caractéristiques des rayonnements ionisants émis :

- Le rayonnement alpha (α) peut être arrêté par une simple feuille de papier.

- Le rayonnement bêta(β) doit être arrêté par des écrans dont les atomes qui le constituent ont un faible numéro atomique afin de ne pas favoriser l'émission de rayonnement de freinage. Quelques millimètres d'aluminium permettent d'arrêter ce rayonnement le laiton et le plexiglas permettent également d'arrêter ce rayonnement quelques mètres d'air permettent également de l'arrêter.
- Pour le rayonnement électromagnétique on utilise les notions d'épaisseur demi (ou couche de demi atténuation : (CDA) et d'épaisseur dixième. Elles correspondent aux épaisseurs permettant de réduire la dose efficace respectivement d'un facteur deux et d'un facteur dix. Ces valeurs sont étroitement liées au coefficient d'atténuation linéique (ou coefficient massique d'atténuation) μ (en cm^{-1}) lui-même dépendant du numéro atomique de l'élément utilisé comme écran .En toute logique, un tablier de 0,5 mm de plomb arrêtera plus de rayons incidents qu'un tablier de 0,25 mm de plomb. Mais cela dépend évidemment de l'énergie des rayons incidents car un tablier de 0,25 mm de plomb suffira amplement à arrêter des rayons de basse énergie (tel que 40 keV) et cela est moins lourd sur les épaules. Toutefois, le tablier devient inefficace aux hautes énergies ($> 100 \text{ keV}$) car il ne permet plus d'arrêter les rayonnements de manière significative. Il ne convient pas non plus pour le rayonnement de particules chargées (ex : bêta β) à cause du rayonnement de freinage qui peut être induit. Pour les rayonnements de hautes énergies ($> 100 \text{ keV}$) on peut utiliser des murs de béton, ou des parois en plomb, ou des verres spéciaux chargés en plomb pour les rayonnements électromagnétiques : gamma et x)

$$D_0 = D_1 e^{-\mu x}$$

Avec : D_0 : dose après l'écran.

D_1 : dose avant l'écran.

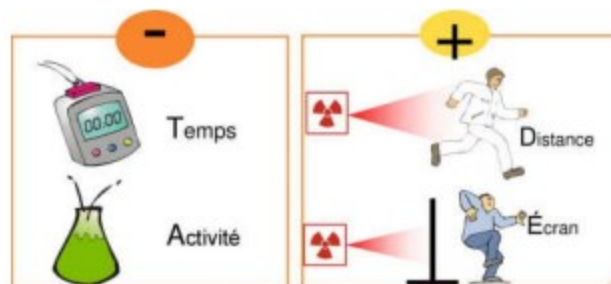


Figure III.26 : Les principes de radioprotection proprement dits.

III.5 Les zones on radioprotection :

Les locaux dans lesquels on trouve des rayons ionisants sont catégorisés par zones. Zones identifiées par des trèfles de couleur avec pour chacune un suivi dosimètre spécifique à noter le dosimètre passif des zones.

III.5.1 Zone contrôlée :

Cette zone est généralement délimitée autour de sources radioactives ou de dispositifs utilisant des rayonnements ionisants. L'accès à cette zone est réglementé et réservé aux personnes autorisées, telles que les travailleurs formés en radioprotection. Des mesures régulières de radioactivité sont effectuées pour garantir la sécurité des personnes et l'application des limites réglementaires.

III.5.2 Zone réglementée :

Cette zone est établie autour de la zone contrôlée. Bien qu'elle puisse être moins restrictive, elle est également soumise à des réglementations spécifiques en matière de radioprotection. Les personnes y travaillant peuvent être exposées à des niveaux de rayonnement inférieurs à ceux de la zone contrôlée, mais elles doivent tout de même respecter des procédures et des mesures de protection.

III.5.3 Zone surveillée :

Il s'agit d'une zone où des activités potentiellement génératrices de rayonnements ionisants sont effectuées, mais où les niveaux de rayonnement sont généralement faibles et ne nécessitent pas de restrictions d'accès. Des contrôles de surveillance sont néanmoins réalisés périodiquement pour s'assurer que les niveaux de rayonnement restent dans les limites acceptables.






III.5.4 Zone publique :

Cette zone est accessible au grand public et est généralement située à l'extérieur des installations nucléaires ou des zones de travail où des rayonnements ionisants sont présents.

Les niveaux de rayonnement dans cette zone sont régulièrement surveillés pour garantir que les doses reçues par le public restent en dessous des limites réglementaires.

Il convient de noter que les différentes zones surveillées en radioprotection peuvent varier en fonction de la réglementation et des normes spécifiques de chaque pays. Les zones et leurs caractéristiques précises sont définies dans les réglementations nationales et sont mises en œuvre par les autorités compétentes en radioprotection.

Tableau III.5 : zone radiologique contaminée ou avec risque probable de contamination

Zone surveillée Bleue	Zone contrôlée Verte	Zone réglemente Jaune	Zone réglemente Orange	Zone interdit Rouge
De 80µSv/mois A 1.25mS/mois	De 1.25mS/mois à 4mS/mois	De 4mS/mois à 2mS/mois	De 2à 100mS/mois	>100mS/mois
<1	<1	De 1 à 80	De 80à 4000	>4000
Séjour réglemente pour les travailleurs exposés	Séjour réglemente pour les travailleurs exposés (dosimètre opérationnelle +dosimètre passive	Séjour réglemente pour l'ensemble exposé	Enregistrement nominatif obligatoire	Enregistrement nominatif obligatoire
				
Dosimètre à Lecture différée (Obligatoire)	Dosimètre opérationnelle et dosimètre à lecture différée(obligatoir)	Dosimètre opérationnelle et dosimètre à lecture différée(obligatoire)	Dosimètre opérationnelle et dosimètre à lecture différée(obligatoir)	Dosimètre opérationnelle et dosimètre à lecture différée(obligatoire)

III.6 Classification des travailleurs :

Les travailleurs exposés sont classés en deux catégories. Ce classement est fait par l'employeur sur la base des résultats de l'évaluation individuelle préalable.

Sont classés en **Catégorie A**, les travailleurs susceptibles de recevoir sur 12 mois consécutifs :

- une dose efficace supérieure à 6 mSv ;
- et/ou une dose équivalente supérieure à 150 mSv pour la peau et/ou les extrémités.

Sont classés en **Catégorie B**, tous les autres travailleurs susceptibles de recevoir sur 12 mois consécutifs :

- une dose efficace supérieure à 1 mSv ;
- et/ou une dose équivalente supérieure à 15 mSv pour le cristallin et/ou à 50 mSv pour la peau et/ou les extrémités.

À noter : Les valeurs limites d'exposition professionnelle ne doivent pas être confondues avec les niveaux de dose réglementaires déterminant le classement.

L'employeur doit recueillir l'avis du médecin du travail sur le classement et l'actualiser en tant que de besoin au regard, notamment, de l'avis d'aptitude médicale du salarié, des conditions de travail et des résultats de la surveillance de l'exposition des travailleurs.

Les travailleurs bénéficient d'une surveillance dosimétrique individuelle adaptée au mode d'exposition.

Les femmes enceintes et les jeunes travailleurs de 16 à 18 ans sont exclus des travaux impliquant un classement en catégorie A.

III.7 Contamination radioactive :

Les contaminations internes et externes sont inévitables dans une activité mettant en œuvre des sources non scellées telle que la médecine nucléaire. En les ignorant, elles peuvent être problématiques. En les prenant en compte, elles peuvent être facilement maîtrisées.

Présence d'une substance ou de substances radioactives à l'intérieur ou à la surface d'une matière ou en un endroit où cette présence est indésirable.

III.7.1 La contamination interne :

La contamination interne correspond à l'incorporation et à la rétention d'un radionucléide à l'intérieur du corps ou est un dépôt involontaire de matières radioactives dans l'organisme, par ingestion, inhalation ou par rupture de la peau.

III.7.2 La contamination externe :

C'est le dépôt d'un radionucléide sur la peau ou les vêtements, desquels il peut tomber ou être balayé et aller contaminer d'autres sujets ou objets.

Le radionucléide incorporé est transporté vers différents organes (par exemple : moelle osseuse, thyroïde), où il continue d'émettre son rayonnement tant qu'il n'est pas éliminé ou désintégré. La contamination interne est plus difficile à éliminer. Bien que la contamination interne par n'importe quel radio-isotope soit possible, historiquement, la plupart des cas de contamination grave ont impliqué un nombre relativement faible de radio-isotopes tels que le phosphore-32, le cobalt-60, strontium-90, le césium-137, l'iode-131, l'iode-125, le radium-226, l'uranium-235, l'uranium-238, le plutonium-238, le plutonium-239, le polonium-210 et l'américium-241.

III.8 Décontamination :

Élimination des polluants radioactifs dans le dessein d'abaisser l'activité résiduelle à l'intérieur ou à la surface des matières ou des personnes, ou encore dans l'environnement.

III.8.1 Décontamination interne :

Les substances radioactives absorbées doivent être éliminées rapidement à l'aide de vomitifs ou par lavage si l'exposition est récente.

Un rinçage fréquent de la bouche avec du sérum physiologique ou du peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée) dilué est indiqué en cas de contamination orale.

En cas d'exposition des yeux, ceux-ci doivent être décontaminés en les plaçant sous un filet d'eau ou de sérum physiologique de manière latérale pour éviter de contaminer le canal nasolacrimal.

III.8.2 Décontamination externe :

Les séquences et priorités typiques sont les suivantes

- Retirer les vêtements et les débris externes
- Décontaminer les blessures avant de décontaminer la peau intacte
- Nettoyer les zones les plus contaminées en premier
- Utiliser un radiomètre pour suivre les progrès de la décontamination
- Continuer jusqu'à ce que les zones de décontamination soient à < 2 à 3 fois les niveaux de rayonnement de fond ou en cas d'absence de réduction significative entre les tentatives de décontamination.

III.9. Transport des substances radioactives :

Le transport des substances radioactives est strictement réglementé pour assurer la sécurité des personnes et de l'environnement. Les réglementations varient d'un pays à l'autre, mais il existe des principes communs largement acceptés au niveau international.

Les substances radioactives sont généralement classées en différentes catégories en fonction de leur niveau de radioactivité et de leur danger potentiel. Ces catégories déterminent les mesures de sécurité et les exigences de transport spécifiques qui doivent être respectées.

Voici quelques éléments clés concernant le transport des substances radioactives :

III.9.1 Réglementations :

Les organismes de réglementation nationaux, tels que l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) en France, la Nuclear Regulatory Commission (NRC) aux États-Unis ou l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), établissent des réglementations strictes pour le transport des matières radioactives.

III.9.2 Emballage :

Les matières radioactives doivent être emballées dans des contenants spéciaux conçus pour résister aux chocs, aux incendies et aux conditions environnementales extrêmes.

Ces emballages sont soumis à des tests rigoureux pour garantir leur intégrité parce qu'il contient :

- **Les sources scellées et générateur x** : d'émission de rayonnements provenant de sources d'étalonnage et de sources de repérage exemples : cobalt 57 pour les caméras à scintillations..., baryum 133 ou césium 137 pour les activimètres... émission de rayonnements x si utilisation d'un scanner.
- **La Sources non scellées** : émission de rayonnement x, et dispersion de radionucléides exemples : technétium 99m, iode 123, thallium 201.

III.9.3 Étiquetage et marquage :

Les colis contenant des matières radioactives doivent être clairement étiquetés et marqués avec des symboles internationaux de radiation et des informations sur le contenu, le niveau de radioactivité et les précautions à prendre.

III.9.4 Formation et qualification :

Les personnes impliquées dans le transport des matières radioactives doivent être formées et qualifiées pour manipuler et transporter ces substances en toute sécurité. Cela inclut les chauffeurs, les opérateurs de chargement et de déchargement, ainsi que le personnel de soutien.

III.9.5 Itinéraires et surveillance :

Des itinéraires spécifiques peuvent être prévus pour le transport des matières radioactives, en évitant les zones densément peuplées ou les zones sensibles. De plus, les transports peuvent être soumis à une surveillance étroite, y compris le suivi par GPS et la communication régulière avec les autorités compétentes.

III.9.6 Contrôles et inspections :

Les autorités compétentes effectuent des contrôles et des inspections réguliers des colis et des véhicules transportant des matières radioactives pour vérifier la conformité aux réglementations et aux normes de sécurité.

L'objectif principal de toutes ces mesures est d'assurer la protection des travailleurs, du public et de l'environnement contre les dangers liés aux matières radioactives lors de leur

transport. Les réglementations strictes et les protocoles de sécurité rigoureux sont en place pour minimiser les risques et prévenir les accidents ou les fuites potentielles

Référence de chapitre III :

[21]. Livre de radioprotection des travailleurs (rayonnements ionisants).

[22]. Article ; NOVA radioprotection. Zone.

[23]. Article ; <https://www.msmanuals.com/>.

[24]. La radioprotection en médecine nucléaire.

Chapitre IV :
Etude De Radioprotection Dans Le Service
Du Médecine Nucléaire

IV.1 Introduction

La radioprotection est un sujet important dans le domaine de la médecine nucléaire, car elle implique l'utilisation de sources radioactives pour le diagnostic et le traitement des maladies. Les travailleurs et les patients sont exposés aux rayonnements ionisants, ce qui peut entraîner des effets nocifs sur la santé. Pour minimiser les risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants, des mesures de radioprotection doivent être mises en place, ainsi que la surveillance régulière de l'environnement pour détecter toute fuite radioactive. Dans ce chapitre on parle sur le stage pratique au niveau de service médecine nucléaire à l'hôpital **MOHAMED BOUDIAF OUARGLA**.

IV.1.1 Présentation de l'hôpital Mohamed Boudiaf :

L'EPH Mohamed Boudiaf couvre une superficie de 66252 m², il compte un ensemble des services médicaux, chirurgicaux, radiologie, laboratoire d'analyses médicales, diagnostic, traitement et de réadaptation, ainsi qu'un service d'administration. Et aussi il dispose également d'un centre de recherche et de formation pour améliorer constamment la qualité des soins et former les professionnels de la santé de demain.



Figure IV 1: Hospital Mohamed Boudiaf Ouargla.

IV.2 Radioprotection dans le service médecine nucléaire :

Suivant les règles de la radioprotection (la distance, temps, écran, l'activité). La manipulation de sources radioactives non scellés a lieu dans des laboratoires isotopes ou dans des salles d'application située à l'intérieur d'une zone contrôlée signalés par le symbole jaune danger de radioactivité.

IV.2.1 Le rôle du physicien médical dans le service MN :

Le physicien médical à un rôle très important à jouer selon la législation concerne la dosimétrie, la radioprotection du patient, l'optimisation et l'assurance qualité, le développement et l'utilisation des techniques et d'équipements complexes.

Le physicien médical est par évidence le PCR de service chargé de :

- surveillance périodique des expositions collectives et individuelles.
- Mesure de l'activité administrée au patient.
- Contrôle de qualité du matériel à sa réception puis régulièrement en utilisation clinique.
- Contrôle et gestion des déchets radioactifs.

IV.2.2 L'architecture de service :

Le service de médecine nucléaire est constitué de plusieurs secteurs (zone contrôlé, zone surveillance) dont l'agencement, régi par le niveau d'exposition aux rayonnements. Doit nécessairement tenir compte des contraintes de préparation et de distribution des médicaments radiopharmaceutiques, de stockage/gestion des déchets et effluents contaminés et du parcours patient (accueil, injection du MRP, acquisition des images).

La COMENA précise spécifiquement les règles de conception et d'exploitation des services de médecine nucléaire. Suivant le plan (figure IV.3) :

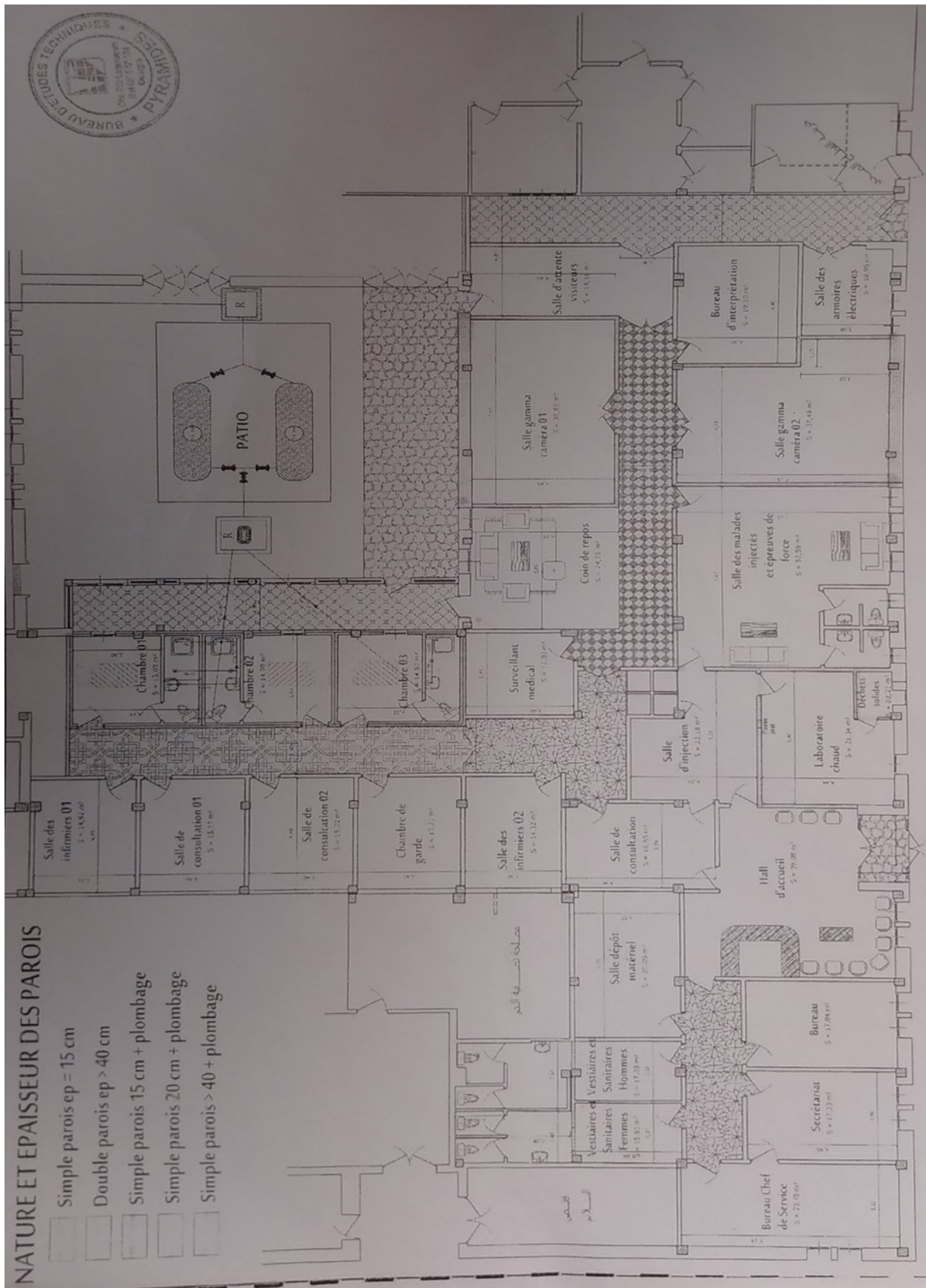


Figure IV 3 : le plan de service de la médecine nucléaire à l'hôpital MOHAMED BOUDIAF.

IV.3 Service Médecine nucléaire :

Le service de médecine nucléaire à l'EPH Mohamed Boudiaf à Ouargla, en Algérie, est un département médical spécialisé dans l'utilisation de substances radioactives à des fins diagnostiques et thérapeutiques.



Figure IV2 : service de la médecine nucléaire en EPHO.

Considéré actuellement comme service l'unique de médecine nucléaire fonctionnel au niveau du sud Algérien, il est doté des dernières technologies mondiales (2 machines gamma caméra dont une hybride couplée à un scanner 16 barrettes, et le deuxième gamma camera seule, Un appareil de DMO, une salle pour le test d'effort...), et le service répond aux normes de radioprotection internationales (zone contrôlée, zone surveillée et zone publiques) biens définis conformément à la réglementation en vigueur. Conçu dans le cadre du centre de lutte contre le cancer de l'EPH de Ouargla. Officiellement fonctionnel depuis le 05janvier 2020 sous l'autorisation du Commissariat à l'Energie Atomique (COMENA). Nous incluons également des statistiques pour les mois janvier, février et Mars :

Tableau IV 1 : statistiques de nombre des malades en service médecine nucléaire.

Des études	Janvier		Février		Mars		Avril	
	Malades	Études	Malades	Études	Malades	Études	Malades	Études
Scintigraphie Osseuse	64	111	87	174	19	45	0	0
Scintigraphie Rénal	49	113	35	76	8	25	0	0
Scintigraphie Myocardique	29	38	30	51	13	14	0	0
Scintigraphie Thyroïde	12	20	9	24	4	13	0	0
Scintigraphie Parathyroïde	0	0	0	0	0	0	0	0
Scintigraphie Perfusion Pulmonaire	1	5	0	0	0	0	0	0
Scintigraphie MIBI ^{131I} _{59I}	0	0	2	4	0	0	0	0
Sodium Iodide ^{131I} _{59I} (traitement)	0	0	4	-	-	-	-	-
Ostéodensitométrie	8	16	16	32	57	114	38	76
Total	163	303	183	361	101	211	38	76

IV.3.1 Salle du laboratoire chaud :

Au niveau de la salle laboratoire chaud se faire la préparation des doses des radiopharmaceutiques par le technicien requis pour l'injection des patients.




- La dose prescrit standard pour les patients adultes est égale à **25 milli curies** pour les différents examens scintigraphie, sauf la scintigraphie rénale la dose est mesurée par kilogramme (poids du patient). Et pour les enfants la dose est variée entre (5 -15) **milli curie**.

	<p>Le symbole jaune danger de radioactivité.</p>
	<p>Labo chaud : Au niveau de cette machine le manipulateur fait l'opération de préparation des injections qui se déroule par des procédures et des accessoires spéciaux.</p>
	<p>Activimètre : est utilisé pour la mesure d'activité des sources radioactives liquides de volumes variables dans des flacons ou des seringues. les radionucléides généralement utilisés dans les services de médecine nucléaire pour les mesures d'activité sont : ^{18}F, ^{67}Ga, ^{90}Y, ^{99}Tcm, ^{111}In, ^{123}I, ^{125}I, ^{131}I, ^{201}Tl. dans le service médecine nucléaire de EPHO utilise que le Technétium $^{99\text{m}}$.</p>

	<p>Une technicienne prépare la dose de radiopharmaceutiques qui sera pris par les patients pour la scintigraphie. Toutes les manipulations doivent se fait rapidement et si possible à l'aide de pinces.</p>
	<p>Une fenêtre spéciale a des ports plombé pour passer les injections a la salle d'injection, cette fenêtre connecte entre le labo chaud et la salle</p>
	<p>Un cache de thyroïde pour protéger le technicien pour les précautions nécessaires contre toute fuite de matériau.</p>
	<p>une blouse de protection pour les précautions nécessaires contre toute fuite de matériau.</p>
	<p>la corbeille plombée est destinée aux déchets qui sont entrées en contact avec des matières radioactives, ces déchets sont traités de manière spéciale c'est-à-dire qu'il a un endroit spécifique pour être jeté.</p>



IV.3.2 La salle d'injection :

Les opérations d'injections doivent se faire rapidement pendant l'utilisation des applications qui contiennent la radioactivité et pour éviter la contamination d'injection qui sera réalisée durant plusieurs minutes en différentes phases avec des pauses entre elles, il convient de s'éloigner des zones non protégées des instruments d'injection. La dose aux extrémités peut être considérablement réduite par le port de gants en caoutchouc renforcés au plomb pour éviter de toucher le patient et aussi d'utiliser des instruments à émetteurs bêta qui facilitent l'application. Il est important que l'utilisation de tels moyens auxiliaires soit simple n'entrave pas l'application et n'augmente pas la durée de manipulation et d'injection.

	Deuxième La face e de la fenêtre de contact entre le labo chaud et la salle d'injection.
	Le lit et le matériel nécessaires d'injection des patients dans la salle d'injection.
	La corbeille plombée de la salle d'injection est destinée aux matières qui sont entrées en contact avec des matières radioactives et qui sont traitées de manière privée, c'est-à-dire qu'il a un endroit spécial pour être jeté.



IV.3.3 La salle d'attente chaude :

Après l'injection le patient passe à une autre salle appelée la salle d'attente chaude, cette expression (la salle d'attente chaude) provient de l'activité de radiopharmaceutiques injectés dans les patients qui s'assoient pour attendre le moment de leur diagnostic. Cette salle peut accueillir 09 patients en même temps. Avec une hypothèse majorant de 06 patients injectés avec 700 MBq de Tc99m, le débit de dose instantané mesuré au centre de la pièce est de 40 μ Sv/h. Cette zone sera donc classée en zone contrôlée jaune. Dans cette salle se trouvent des chaises et des sanitaires pour les patients pour éviter la circulation des patients au dehors de la salle chaude.

	<p>Dans cette salle se trouve le sanitaire spéciale pour les patients (pour éviter la circulation des patients au dehors la salle chaud).</p>
	<p>Des chaises destinées spécialement pour les patients.</p>

IV.3.4 Les salles gamma caméra :

Dans la salle gamma caméra le manipulateur mis le patient sur la table avec la position correspond à l'examen. L'opération de positionnement se fait rapidement si possible.

	<ul style="list-style-type: none"> - la machine Gamma caméra. - L'opération d'acquisition des images. - verre plombé pour la protection dans rayonnements ionisants.
	<ul style="list-style-type: none"> - la machine Gamma caméra CT. - L'opération acquisition des images. - verre plombé pour la protection contre rayonnements ionisants.

a- Contrôles de stabilité :

En radioprotection il est important d'assurer la sécurité et le bon fonctionnement des appareils utilisé pour effectuer les examens des appareils de mesure ainsi que de leurs accessoires pour la vérification régulière. Les contrôles de stabilité garantissent que les installations de caméras gamma sont surveillées et que les installations de caméras gamma sont rapidement restaurées en cas de panne.

b- Le contrôle de qualité de gamma caméra :

La machine gamma caméra est soumise à des contrôles de qualité périodiquement. Ces contrôles de qualité comportent plusieurs tests qui se font selon une période : journalier, Hebdomadaire, par 6 mois et par 12 mois pour :

- Maintenir la performance des appareils et des accessoires disponibles.
- Assurer l'utilisation sécuritaire de ceux-ci.
- Assurer l'étalonnage.

S'assurer que les tests de contrôle de qualité des équipements et l'évaluation des résultats sont en conformité avec les recommandations du fabricant. Il s'agit entre autres :

- Caméra à tomographie à émission de positrons (TEP-TDM) : Calibration journalière, Calibrations hebdomadaires, Calibrations trimestrielles.
- Activimètre : Stabilité, Réponse relative, Linéarité en activité. (Labo chaud)
- Ostéodensitométrie : Mise au point et étalonnage.
- Glucomètre : Bandelettes de test, Solutions de contrôle, Pile.

Nous prenons un exemple de tests de contrôle de qualité : **le teste de conformité**

Le teste de traitement d'image : (le teste de conformité)

Le but essentiel de ce test est de confirmer que la réponse de gamma camera exposée à un flux de rayonnement gamma uniforme est absolument uniforme :

- Injecter une dose de substance radioactive dans le fantôme qui a rempli de l'eau.
- mixer le mélange très bien.
- faire l'acquisition d'image en mode contrôle de qualité.
- comparer les résultats avec les recommandations du fabricant.

	<ul style="list-style-type: none"> - Remplissez le photon d'eau avec 15-20 mCi Tc99m isotopique et mélangez.
	<ul style="list-style-type: none"> - Positionnement de fantôme entre les deux composantes de la machine gamma caméra. - place le détecteur tête par une position verticale et après le placement la source d'inondation d'eau entre les détecteurs. - réglage des détecteurs à 180 degrés. - Acquisition images.
	<ul style="list-style-type: none"> - Après la procédure on traite a, examinez l'image dans le test NEMA et vérifiez les résultats dans la spécification. - Définir l'isotope sur Tc99m dans le menu Isotopes. - le protocole standard défini la limite d'uniformité intégrale à ± 6, en Algérie la limite est à ± 8.

IV.3.5 La salle d'Ostéodensitométrie (DMO) :

Osseuse densitomètre mesure le densitomètre minéral osseux. On le DXA centré la zone traite (hanche et colonne lombaire et les genoux).

	<ul style="list-style-type: none"> - La machine de DMO ostéodensitométrie : utilisé pour mesurer densitomètre minéral osseux.
	<ul style="list-style-type: none"> - utilisé des accessoires spéciaux pour un corps bien droit car la structure balayée doit être bien droite.
	<ul style="list-style-type: none"> - Fantôme de calibration de machine DMO ostéodensitométrie.

IV.3.6 Les sols dans service médecine nucléaire :

Les sols dans les salles (labo chaud et la salle d'injection chaud et les salles de gamma caméra) sont couverts par une couche de matériaux polymère (la résine) pour faciliter le nettoyage en cas de contamination. L'opération de nettoyage se fait par des étapes suivant :

- balayage le sol avec un appareil radiamètre pour déterminer les zones contaminées.
- Traçant les limites des zones par des cônes.
- Nettoyage spéciale de ces zones.
- Refaire le balayage, si il reste des traces on doit enlever la résine qui couvre les zones contaminées.
- Gestion des déchets.

	<ul style="list-style-type: none"> - Le sol de salle labo chaud.
	<ul style="list-style-type: none"> - Le sol de la salle d'injection.
	<ul style="list-style-type: none"> - Les sols des salles de la Gamma caméra.

IV.4 La surveillance de l'exposition :

IV.4.1 La surveillance externe :

IV.4.1.1 La surveillance externe collective :

La surveillance de l'ambiance du poste de travail est réalisée au moins chaque mois par un personne compétente en radioprotection, à la recherche d'éventuels signes de détérioration du matériel ou de dégradation de service. Il peut s'agir

- De détecteurs actifs ou passifs pour surveiller des salles à risque d'exposition externe : salles d'examens, local de stockage des déchets ;
- De balises d'alerte dans les locaux à risque de contamination atmosphérique (détecteurs bêta-gamma), dans les salles de manipulation des sources non scellées (salle de préparation des injections) ;
- De frottis périodiques sur les plans de travail, contrôlés par des sondes adaptées aux radionucléides.

	<p>Dosimètre Témoin : Il est l'estime la dose reçue Pour réaliser correctement une estimation de dose d'un travailleur (la salle Gamma caméra et labo chaud).</p>
	<p>Radiamètre : est utilisé pour la mesure d'activité de source radioactive liquide qui a un volume variable contenu, Les radionucléides généralement utilisés dans les services de la médecine nucléaire pour les mesures d'activité de ^{131}I, ^{90}Y, $^{99}\text{Tc}^m$...etc.</p>
	<p>Un test de surveillance collective par le radiomètre :</p> <ul style="list-style-type: none"> - on fait une mesure de dose la dose reçus par le manipulateur : <p>Exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Test de surveillée de zone : $2.18 \times 10^{-3} \times 24 \times 30 = 1,5696 \text{ mSv}$ <p>Donc la zone optent est la zone surveille</p> <p>_ Test de surveillance de personnel :</p> $2.18 \times 10^{-3} \times 8 \times 20 \times 12 = 4.1856 \text{ mSv}$

IV.4.1.2 La surveillance externe individuelle :


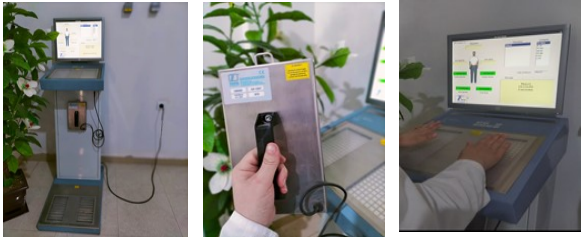
La dosimétrie externe est l'outil de surveillance de l'exposition à un risque d'exposition externe.

- Elle peut être **passive, c'est à dire** à lecture différée après une période de port la dosimètre dont la durée est directement conditionnée par la catégorisation du personnel, Le **dosimètre individuel** se porte au thorax chez le personnel manipulant et injectant les radionucléides. L'analyse du dosimètre thoracique fournit la dose efficace reçue par l'organisme entier pendant la période de port du dosimètre. Le dosimètre **bague** ou de **poignet** apprécie la dose équivalente reçue localement. La surveillance dosimétrique **passive** est réalisée par un organisme extérieur (service dosimétrie au CRNA).
- Elle peut être **opérationnelle**, c'est-à-dire à lecture directe sur un dosimètre électronique. Le débit de dose est immédiatement disponible, des niveaux d'alarme permettent d'optimiser le temps de

travail et donc l'exposition. La dosimétrie **opérationnelle** est organisée localement par la PCR. Elle en exploite les résultats afin d'optimiser l'exposition du personnel et en transmet les résultats au médecin de prévention ainsi au service dosimétrie à CRNA.



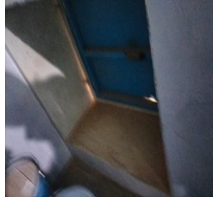



Les personnels de catégorie A est surveillé mensuellement, et les personnels de catégorie B est surveillé chaque trimestriel. Ceci permet de corréler la qualité de la surveillance au risque d'exposition : compte tenu des limites de détection des dosimètres utilisés (0,1 à 0,3 mSv selon la technologie), il convient de surveiller sur un temps plus long le personnel de la catégorie B exposé à de plus faibles niveaux de doses. Le zonage radiologique conditionne directement la surveillance dosimétrique :

- Dans la zone surveillée seule la dosimétrie passive est obligatoire.
- Dans la zone contrôlée, elle est complétée par la dosimétrie personnelle. En pratique, dans le service de médecine nucléaire, l'ensemble du personnel travaillant en zone surveillée porte un dosimètre passif de poitrine. Les techniciens qui préparent et injectent les molécules marquées doivent être équipés d'un dosimètre passif de poignet. Ils portent un dosimètre opérationnel dans les zones contrôlées, au moins dans la salle de préparation des injections.

	<p>Dosimètre personnalité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tous les collaborateurs travaille dans des zones contrôlée sont considérés comme étant professionnellement exposés au rayonnement et ils devront se soumettre à une dosimétrie individuelle porté un ou trois mois selon la réglementation.
	<ul style="list-style-type: none"> - Radiamètre de détection pour mesure la contamination au niveau (les mains, les pieds, l'estomac, les thyroïde et les vêtements).

IV.5 Le transport de la substance radionucléide :

Le transport de la générateur de technétium est réalisée par des procédures spécifique de confiné la source de rayonnement pour la protection de transporteur.

 <p>-1-</p>  <p>-2-</p>	<p>Le Colis de produit radioactif (photo -1-) placé dans Emballage plomb et scellé (photo-2-).</p> <p>ce colis devrait contenir les informations des normes résistance suivantes :une description générale de la substance, la classification de danger n° 7 soit le numéro attribué par l'ONU aux substances radioactives, le nom de la classification du danger, à savoir «substance radioactive», le numéro d'identification, les lettres «UN» suivies d'un nombre à quatre chiffres :</p> <p>la substance et ses dangers, les radionucléides contenus dans le colis, l'activité totale de la substance radioactive, la forme physique et chimique de la substance radioactive, la catégorie d'étiquette apposée sur le colis, emballage de type A ou B.</p>
   	<p>Cette petite porte se trouve dans un laboratoire qui relie le laboratoire à l'extérieur du département, son but est de transporter des matières radioactives directement à l'intérieur du laboratoire pour éviter de passer par d'autres salles.</p>

IV.6 Stockage des déchets :

Le service de médecine nucléaire est le plus gros producteur de déchets radioactifs. Ceux-ci sont issus de la préparation des produits radioactifs permettant la réalisation des examens, de l'injection des patients (aiguilles, cotons, gants, ...).

Les règles techniques auxquelles doit satisfaire de l'élimination des effluents et des déchets contaminés par les radionucléides, ou susceptibles de l'être du fait d'une activité nucléaire. Dans le service MN, les lieux de production sont :

- Le laboratoire chaud : Effluents et déchets.
- La salle d'injection : Effluents et déchets.
- La salle d'épreuve d'effort : Effluents et déchets.
- Les salles des examens : Déchets.
- Les toilettes réservées aux patients injectés : Effluents.

L'ensemble des déchets générés au sein du service de médecine nucléaire a une période de stockage inférieure à 30 jours, après ces déchets peuvent être gérés par la décroissance radioactive selon la réglementation.

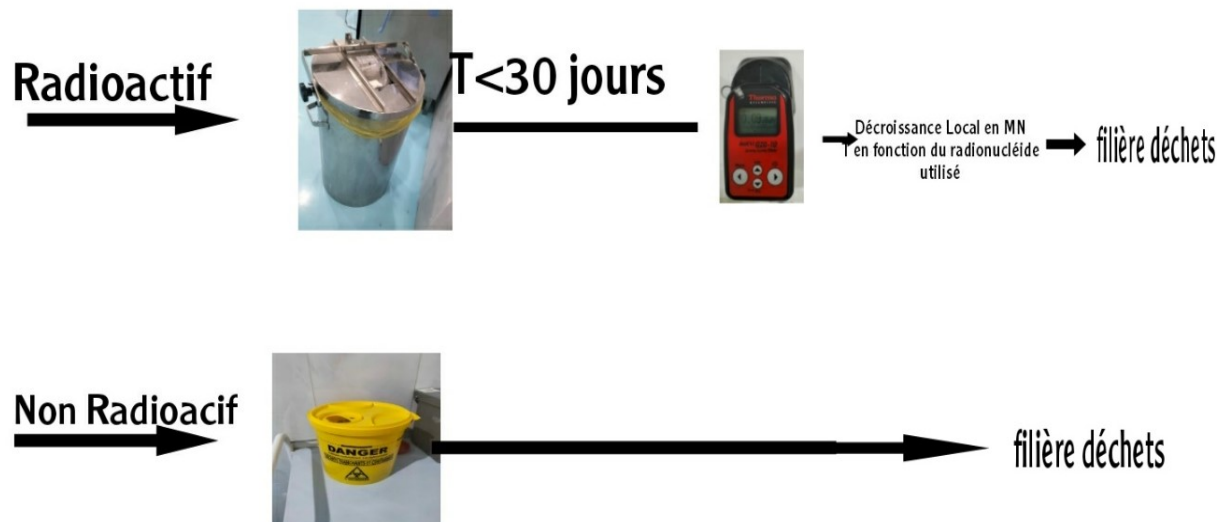


Figure IV4 : La Gestion des Déchet.

IV.7 Le suivi du médecin travaille (MT) :

Le médecin travaille doit rechercher et prévenir l'apparition tardive de cancers solides ou de leucémies. Pour cela il doit, dès la visite initiale, veiller à l'intégrité corporelle du personnel susceptible d'être exposé en réalisant les examens suivants :

- **un examen hématologique et biologique** de référence à la recherche d'anomalies pouvant révéler des hémopathies suspectes ou un dysfonctionnement hépatique ou rénal fonctions potentiellement impliquées dans l'élimination d'un radionucléide.

- **un examen ophtalmologique** de référence (milieux transparents), uniquement pour le personnel exposé chroniquement à un risque d'exposition externe, à la recherche d'opacités cristalliniennes.
- **un examen clinique** à la recherche des pathologies favorisant la pénétration des radionucléides en cas d'exposition accidentelle : tympan perforé, colopathie irritative, pathologie cutanée chronique.

La visite médicale initiale est une visite d'aptitude annuelle suivie par le MT, celle-là qui va décider la statue sur l'absence de contre-indication médicale aux travaux sous rayonnements ionisants. À chaque fois le médecin peut demander la réalisation d'examens complémentaires de son choix. Il est guidé par l'étude de poste et la fiche d'emploi par la PCR, et aussi par les résultats de la surveillance dosimétrique, et sa propre connaissance de l'environnement professionnel acquise lors du tiers temps.

- **Femme enceinte :**

La période la plus radiosensible est la phase d'embryogenèse pour une femme enceinte qui sera, globalement entre le **dixième jour** et la **dixième semaine de la grossesse** qui doit impérativement être déclarée : à partir de la date de la déclaration, ou l'exposition à l'embryon doit être limitée à 1 mSv jusqu'à l'accouchement.

Le poste de travail de la femme enceinte doit être aménagé et il ne s'agit pas d'interdire le travail dans le service, mais on doit limiter au maximum les risques sur elle-même. Il faut être particulièrement attentif à empêcher toute contamination interne, et cela également pendant la période d'allaitement. L'accès aux salles de préparation ou d'injection des radionucléides, et local de stockage des déchets, doit être évité. Par contre, le risque d'exposition externe est moins contraignant, et la surveillance du bon déroulement des examens est autorisée derrière les vitres plombées.

Conclusion générale

La protection contre les rayonnements nécessite une bonne connaissance des principes, des bases et des lois de cette science, ainsi qu'une connaissance de tous les développements et progrès dans le cadre des normes internationales déclarées par les organisations internationales de radioprotection.

L'homme étant exposé aux rayonnements ionisants, il est nécessaire de prendre les mesures nécessaires pour protéger les personnes et la nature de ce danger qui ne se voit ni ne se touche.

Lors des journées de formation dans le service de médecine nucléaire, nous avons constaté qu'il existe une application de nombreuses règles de prévention pour se prémunir contre le danger des radiations. En réduisant le temps de conversation avec le patient injecté avec la substance pharmaceutique radioactive, au respect de la distance entre l'infirmière et le patient injecté, car à ce stade, il est considéré comme une source radioactive. Mettre des barrières renforcées avec du plomb, en plus de la corbeille qui est en plomb, également la blouse renforcé avec du plomb, jusqu'au cache thyroïde et d'autres outils, pour accéder aux sols recouverts de résine. Tout cela pour éviter la contamination radioactive et atténuer la dose de rayonnement.

Le mode de transport des sources radioactives à l'hôpital s'inscrit dans un processus organisé et étudié par une personne habilitée à transporter des sources radioactives par l'administration hospitalière. En plus des examens périodiques des travailleurs pour leur sécurité et leur protection.

L'utilisation de produits pharmaceutiques radioactifs est soumise à un contrôle médical et pharmaceutique afin d'assurer la sécurité des patients contre la contamination radioactive interne

Nous avons choisi cette étude parce qu'elle n'est pas moins importante que le reste des sujets. Et de là, et à travers cette étude, nous avons conclu l'importance de la radioprotection, et les risques résumés par les principes de cette science pour l'homme et l'environnement en général.

De notre point de vue :

Travailler dans le domaine de la santé être très gratifiant sur le plan personnel, car on sait que l'on contribue à améliorer la vie des patients et en résumé, la spécialité de la physique médicale offre des perspectives de carrières intéressantes, des salaires élevés et une satisfaction professionnelle élevée. Tout d'abord, il y a de nombreuses opportunités de carrière dans ce domaine, notamment dans les hôpitaux, les centres de recherche et les entreprises pharmaceutiques.

Bien que la spécialisation en physique médicale offre de nombreux avantages, il existe également des risques associés à cette profession. Tout d'abord, le travail peut être très stressant et exigeant, car les physiciens médicaux sont souvent responsables de la sécurité des patients. Par conséquent, les principes et méthodes de radioprotection doivent être suivies et non sous-estimées à celles-ci.

Il est important de peser les avantages et les risques de la spécialisation en physique médicale avant de décider si elle convient à votre personnalité et à vos objectifs professionnels.

ملخص:

يتلخص عملنا في دراسة حول الحماية من الإشعاع المؤين في قسم الطب النووي، حيث تطرقنا في هذه الدراسة إلى أساسيات فيزياء الأشعة، خصوصا إلى تصنيف الأشعة إضافة إلى ذلك، تطرقنا إلى تفاعل المادة مع الفوتونات وتفاعل المادة مع الالكترونات، تحدثنا أيضا عن التأثيرات البيولوجية للإشعاع، وعرفنا أيضا بعض المقادير المستخدمة في هذا المجال. كما أعطينا لمحة عن الطب النووي وأهم الأجهزة المستخدمة في هذا التخصص سواء أكانت للعلاج أو للتشخيص، كما تحدثنا عن الحماية من الإشعاع ومبادئه والقوانين الأساسية المطبقة فيه، ثم تطرقنا إلى أهم المنظمات المتخصصة في هذا المجال إضافة إلى أدوات الحماية، وتصنيف المناطق كما جاء في بيان المنظمة العالمية للإشعاع، وختمنا هذا العمل بحوصلة عملنا التطبيقي في قسم الطب النووي بمستشفى محمد بوضياف بورقلة، حيث شرحنا مختلف وسائل الحماية من الإشعاع المؤين التي تعرفنا عليها على مستوى هذا القسم.

Abstract:

This work aims at a study on protection against ionizing radiation in the nuclear medicine department of the Mohamed Boudiaf hospital in Ouargla. In this study, we have discussed the basics of radiation physics, in particular the classification of radiation, as well as the biological effects of radiation, and we have determined some of the quantities used in this field. We also gave an overview of nuclear medicine and the most important devices used in this specialty, whether for treatment or diagnosis, and we talked about radiation protection, its principles and the fundamental laws that are applied to it, then we approached the most important devices specialized organizations in this field in addition to the protection tools, and the classification of the zones as mentioned in the declaration of the International Radiation Organization, and we concluded this work with the result of our practical work in the nuclear medicine department, where we explained the different means of protection against ionizing radiation which we learned about at the level of this department.

Résumé :

Ce travail vise à une étude sur la protection contre les rayonnements ionisants dans le service de médecine nucléaire de l'hôpital Mohamed Boudiaf de Ouargla. Dans cette étude, nous avons abordé les bases de la physique des rayonnements, en particulier la classification des rayonnements, ainsi que sur les effets biologiques des rayonnements, et nous avons déterminé certaines des quantités utilisées dans ce domaine. Nous avons également donné un aperçu de la médecine nucléaire et des dispositifs les plus importants utilisés dans cette spécialité, que ce soit pour le traitement ou le diagnostic, et nous avons parlé de la radioprotection, de ses principes et des lois fondamentales qui y sont appliquées, puis nous avons abordé les plus importants dispositifs spécialisés organisations dans ce domaine en plus des outils de protection, et la classification des zones comme mentionné dans la déclaration de l'Organisation internationale des rayonnements, et nous avons conclu ce travail avec le résultat de notre travail pratique dans le service de médecine nucléaire, où nous avons expliqué les différents moyens de protection contre les rayonnements ionisants dont nous avons pris connaissance au niveau de ce service.