

MA-530-62-1
F.C.D....N° D'ordre.....

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Saad DAHLAB de Blida



Faculté des Sciences

Département de Physique

En vue d'obtenir le diplôme de Master

Domaine : Science de la matière.

Filière : Physique.

Spécialité : Physique Médicale.

Option : Radiothérapie.

Mémoire présenté par :

BENMOUSSA Khadidja

**ÉTUDE DES PARAMÈTRES TECHNIQUES INTERVENANT DIRECTEMENT
SUR L'EXPOSITION EN RADIOLOGIE INTERVENTIONNELLE**

Soutenu publiquement, le 14 Octobre 2015 devant le jury composé de :

Mr. KHELIFI Rachid	Maitre de conférence .A.	USDB	Président
Mr. IMATOUKENE Djamel	Chargé de recherche	CRNA	Examinateur
M ^{me} LARABI-HARFOUCHE Karima	Maitre- assistant A	USDB	Promotrice

2014/2015

MA-530-62-1



Remerciements



J'adresse toute ma gratitude à la directrice de ce mémoire Madame LARABI -HARFOUCHE Karima pour sa disponibilité, son suivi et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. J'admire votre perspicacité, votre pédagogie et votre clairvoyance aussi bien en physique .Je suis très reconnaissante pour son professionnalisme et sa remarquable efficacité qui m'ont permis de mener à bien ce travail.

Je remercie très vivement tous les membres de mon Jury, d'avoir accepté de juger ce travail.

Merci à Monsieur KHELIFI Rachid, Maitre de conférences A à USDB, d'avoir accepté d'endosser le rôle de Président du Jury. Veuillez trouver ici l'expression de ma respectueuse considération et ma profonde admiration pour toutes vos qualités scientifiques et humaines.

Merci également à Monsieur IMATOUKENE Djamel, Chargé de recherche au CRNA, pour sa participation en tant qu'examineur à mon jury. Veuillez trouver ici l'expression de mon grand respect et mes vifs remerciements.

Je désire aussi remercier Madame Zohra LOUNIS-MOKRANI Directrice de Recherche au Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) qui nous a fourni les outils nécessaires à la réalisation de ce travail.

Je tiens aussi à remercier Monsieur HARRATI Amar, Chargé de Recherche au Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) pour l'aide qu'il nous a apporté lors de la réalisation des mesures au niveau du Laboratoire Secondaire d'Etalons de Dosimétrie (LSED).

J'aimerais tout particulièrement remercier tous les professeurs de l'Université de Saad Dahlab de Blida qui ne m'ont ménagé aucun effort pour mener à bien notre formation. Vos qualités d'éducateurs et votre amour du métier font de vous de précieux guides. Recevez ici l'expression de mon entière gratitude.

Je tiens à remercier très chaleureusement ma famille et surtout mes parents pour leur soutien moral, leur encouragement et leur patience durant les étapes difficiles de ce travail.

Un grand merci à mes deux amies très spéciales HOURIAT El Batoul et YAGOUB Wafa qui n'ont cessé, tout au long de ces études de m'apporter leur concours tant moral que matériel. Trouvez à travers ce travail mon éternelle reconnaissance.

Ces remerciements ne seraient pas complet sans une pensée pour tous mes camarades de classe en souvenir des durs moments passés ensemble. Trouvez ici l'expression de toute ma sympathie.

Mes dernières pensées iront vers tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce travail.

DEDICACES

Je dédie ce mémoire :

Au Dieu Tout Puissant, qui m'a accordé santé, force et courage pour la rédaction de ce mémoire.

A mes très chers parents : mon père Djilali ma mère Aicha en témoignage de mon profond amour, mon dévouement et mon grand respect que j'ai eu pour vous.

Aucune dédicace ne serait être assez éloquente pour exprimer ce que vous méritez pour tous les sacrifices que vous n'avez cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte et pour tous les efforts fournis jour et nuit pour mon éducation et mon bien être. Puisse Dieu, le tout Puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

A ma chères sœurs et mes frères : Hania et Youssef, Karim en témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que je porte pour vous.

Je vous dédie ce travail avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de réussite.

A mes très chères tantes : Ouahiba , Houaria, Mama, vous avez été toujours présente pour les bons conseils. Votre affection et votre soutien m'ont été d'un grand secours au long de ma vie.

Veillez trouver dans ce modeste travail, mon affectueuse reconnaissance pour tous vos efforts.

A tous mes cousins et cousines en particulier : Anfel, Rania, Hayat, Aicha, Houria, Aek, Med amine, Ameer, Zohra .

A tous mes ami(e)s, mes camarades en particulier El Batoul, Wafa, Imen, Cherifa, Zahira, Hamza et tous ceux de la faculté des sciences de l'Université Saad Dahlab de Blida.

Vous qui m'admirez tant, soyez surs que ce travail est le résultat de votre confiance en moi, soyez-en remerciés.

Sommaire

LISTE DES FIGURES	<i>i</i>
LISTE DES TABLEAUX	<i>iv</i>
LISTE DES ABREVIATIONS.....	<i>vi</i>
INTRODUCTION GENERALE	1

Chapitre I : Les aspects physiques en radiologie interventionnelle

I.1. Introduction	3
I.2. Les rayonnements électromagnétiques RX.....	3
I.2.1. Généralités sur les RX.....	3
I.2.2. La production des rayons X dans un tube RX	4
I.3. Les interactions des rayonnements ionisants électromagnétiques (RX) avec la matière	5
a) L'effet photoélectrique	6
b) L'effet Compton	6
I.4. La contribution des effets d'interactions des photons avec la matière	8
I.5. La dosimétrie des rayonnements ionisants	8
I.5.1. Les grandeurs et les unités de radioprotection en radiologie interventionnelle	8
I.5.1.1. Les grandeurs physique	9
a) Le kerma (K)	9
b) La dose absorbée (D)	9
c) La fluence (Φ)	10
> La fluence particulaire	10
> La fluence énergétique	10
I.5.1.2. Les grandeurs de protection	10
> La dose équivalente (H_T).....	11
> La dose efficace (E)	12
I.5.1.3. Les grandeurs opérationnelles	13

➤ L'équivalent de dose individuel (personnel) $H_p(d)$	14
➤ L'équivalent de dose ambiant $H^*(d)$	14
➤ L'équivalent de dose directionnel $H'(d, \Omega)$	15
I.5.2.La dosimétrie individuelle externe.....	16
I.5.3.Les types de dosimètres utilisés dans la surveillance individuelle ...	17
➤ Les dosimètres photographiques et les dosimètres à TLD	16
➤ Le stylo dosimètre	18
➤ Les Dosimètres bagues et le doigtier	18
➤ Le dosimètre électronique	18
I.5.4.La dosimétrie d'ambiance	19
 <i><u>Chapitre II : Généralités et radioprotection en radiologie</u></i>	
<i>interventionnelle</i>	
II.1. Introduction	20
II.2. Les techniques d'imageries utilisées en Radiologie interventionnelle.....	20
a. La radioscopie	20
b. La radiographie	21
c. Le scanner (Tomodensitométrie « TDM »)	22
d. L'échographie – doppler	23
e. L'imagerie par résonance magnétique (IRM)	23
II.3. Les maladies traitées avec la radiologie interventionnelle	25
II.4. Description d'une unité de radiologie interventionnelle	25
II.5.Le principe de la radiologie interventionnelle.....	26
II.5.1. Principe médicale	26
II.5.2. Principe physique	27
II.6. La problématique en radiologie interventionnelle	27
II.6.1. Les risques radiologiques encourus par le patient	27
II.6.2. Les risques radiologiques encourus par le personnel médical.....	28

II.7. Les effets biologiques des rayonnements ionisants en radiologie interventionnelle.....	28
II.7.1. Les effets déterministes.....	29
II.7.2. Effets stochastiques.....	29
II.8. Les principes de base de la radioprotection	29
II.8.1. Justification des pratiques.....	29
II.8.2. Limitation	29
II.8.3. Optimisation (principe ALARA).....	30
II.9. Les paramètres techniques intervenant sur l'exposition des opérateurs en radiologie interventionnelle	30
II.9.1. Temps.....	30
II.9.2. Distance.....	30
II.9.3. Ecran	31
II.10. L'organisation d'un service en radiologie interventionnelle de point de vue radioprotection et la répartition des responsabilités...	32
<i>a.</i> L'employeur	32
<i>b.</i> Le chef de service	32
<i>c.</i> Le médecin du travail	33
<i>d.</i> Médecins radiologue	33
<i>e.</i> Personnel du service de radiologie interventionnelle.....	34
➤ Le manipulateur en radiologie interventionnelle.....	34
➤ Le personnel paramédical	34
<i>f.</i> Personne spécialisée en radiophysique médicale (PSRPM)	34
<i>g.</i> Personne Compétente en Radioprotection (PCR)	35
II.11. La classification des travailleurs en radiologie interventionnelle.....	36
<i>a.</i> Les travailleurs de catégorie « A ».....	36
<i>b.</i> Les travailleurs de catégorie « B ».....	36
II.12. La classification des zones de travail en radiologie interventionnelle.....	37

a. La zone surveillée	37
b. La zone contrôlée.....	37
II.13. Les équipements de protection.....	38
a. Les équipements de protection individuelle	38
b. Les équipements de protection collective	39
<i>Chapitre III : Matériels et Méthodes</i>	
III.1.Introduction	40
III.2.Matériels expérimentaux utilisés	40
III.2.1. Tube à RX	40
III.2.2. Un Fantôme (PMMA)	42
III.2.3.Un Radiamètre	42
III.3.La Méthodologie de mesure	43
III.3.1.L'incidence normale	43
III.3.1.L'incidence angulaire	45
<i>Chapitre IV : Résultats et discussions</i>	
IV. Résultats et discussions	46
IV.1.L'effet de la distance sur le rayonnement diffusé en radiologie interventionnelle	46
IV.1.1. L'incidence normale	46
a) L'effet de la distance entre le patient et l'opérateur sur le rayonnement diffusé en radiologie interventionnelle.....	46
b) L'effet de la distance entre le Tube rayon X - Fantôme sur le rayonnement diffusé.....	49
c) L'effet de l'épaisseur du patient sur le rayonnement diffusé en radiologie interventionnelle	51
IV.1.2. L'incidence angulaire	52
IV.2.L'effet de tension sur les rayonnements diffusés en radiologie interventionnelle (Etude comparative).....	54
IV. 3.Conclusion.....	56

Sommaire

Conclusion général	58
Référence Bibliographique	60

Liste des figures

Figure I.1	: Spectre des rayonnements électromagnétiques.....	3
Figure I.2	: Schéma représente le tube RX et son principe de production.....	5
Figure I.3	: Effet photoélectrique.....	6
Figure I.4	: L'effet Compton.....	7
Figure I.5	: Domaine de prépondérance des trois effets en fonction de l'énergie et de Z de l'absorbeur.....	8
Figure I.6	: Relation entre les différentes grandeurs.	16
Figure I.7	: Le dosimètre film photographique.....	17
Figure I.8	: Le dosimètre à TLD	17
Figure I.9	: Le stylo dosimètre.....	18
Figure I.10	: Le dosimètre-bague et le dosimètre-poignet.	18
Figure I.11	: Le dosimètre électronique.....	19
Figure II.1	: L'appareil de la radioscopie utilisé en radiologie interventionnelle.....	21
Figure II.2	: L'appareil de la radiographie utilisé en radiologie interventionnelle.....	22
Figure II.3	: L'appareil de scanner (TDM) utilisé en radiologie interventionnelle.....	22
Figure II.4	: L'appareil de l'échographie – doppler utilisé en radiologie interventionnelle.....	23
Figure II.5	: L'IRM interventionnelle à aimant fermé.....	24
Figure II.6	: IRM interventionnelle à aimant ouvert.....	24
Figure II.7	: La représentation schématique d'une unité de radiologie interventionnelle à RX.....	26
Figure II.8	: Les différents cathéters utilisés en radiologie interventionnelle.	26
Figure II.9	: Les principales sources d'exposition du personnel dans une unité de radiologie interventionnelle.....	28
Figure II.10	: La réduction du débit de dose avec la distance en radiologie interventionnelle.....	31

Figure II.11	: Les paramètres d'influence sur la dose des patients en radiologie interventionnelle.....	32
Figure II.12	: Les équipements de protection individuelle en radiologie interventionnelle.....	38
Figure II.13	: Les équipements de protection collective en radiologie interventionnelle.....	39
Figure III.1	: Le tube radiogène utilisé pour les irradiations par la qualité N-150 de spectre étroit des RX [ISOa].....	41
Figure III.2	: Le fantôme plaques en PMMA équivalent patient.....	42
Figure III.3	: Le radiamètre de type FH40 utilisé pour la mesure de $\dot{H}^*(10)$	43
Figure III.4	: Le dispositif de mesure pour l'incidence normale.....	44
Figure III.5	: Le dispositif de mesure pour l'incidence angulaire.....	45
Figure IV.1	: Le dispositif de mesure et les distances choisies pour l'incidence normale.....	46
Figure IV.2	: Débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction de la distance fantôme -radiamètre avec la distance tube RX-fantôme de 60cm pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme.....	47
Figure IV.3	: Débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction de la distance fantôme -radiamètre avec la distance tube RX-fantôme de 80cm pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme.....	49
Figure IV.4	: Débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction de la distance RX-fantôme pour la distance fantôme-radiamètre de 50cm pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme.....	50
Figure IV.5	: Dispositif de mesure utilisé pour l'étude d'effet d'épaisseur du fantôme sur le rayonnement diffusé pour l'incidence normale.....	51
Figure IV.6	: Le débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction de l'épaisseur du fantôme pour la distance tube RX- fantôme de 60cm et ce, pour la distance fantôme- radiamètre de 50 cm.....	52
Figure IV.7	: Le dispositif de mesure pour l'incidence angulaire.....	53

<i>Figure IV.8</i>	<i>: Débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction des angles d'incidence du tube RX pour une distance le tube RX- fantôme 60 cm avec une distance fantôme-.....</i>	54
	<i>radiamètre de 50cm pour l'épaisseur du fantôme de 23cm.....</i>	
<i>Figure IV.9</i>	<i>: Le débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction de la tension pour les qualités N-150 et N-100 du spectre étroit RX.....</i>	55

Liste des tableaux

Tableau I.1	<i>: Les valeurs recommandées pour les facteurs de pondération pour les rayonnements.</i>	11
Tableau I.2	<i>: Les facteurs de pondération pour les organes et les tissus.....</i>	13
Tableau II.1	<i>: Le classement de travailleurs en radiologie interventionnelle....</i>	37
Tableau III.1	<i>: Les caractéristiques des qualités RX utilisé développées au LSED.....</i>	41
Tableau III.2	<i>: Les caractéristiques dosimétriques de la qualité N-150.....</i>	42
Tableau III.3	<i>: Les paramètres utilisés pour les mesures en incidence normale..</i>	44
Tableau III.4	<i>: Les paramètres utilisés pour les mesures en incidence angulaire.....</i>	45
Tableau IV.1	<i>: Le résumé des résultats de l'effet de la distance entre fantôme-radiamètre pour une distance RX-fantôme de 60cm sur le rayonnement diffusé de l'incidence normale et ce, pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme.....</i>	47
Tableau IV.2	<i>: Le résumé des résultats de l'effet de la distance entre fantôme-radiamètre pour une distance RX-fantôme de 80cm sur le rayonnement diffusé de l'incidence normale et ce, pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme.....</i>	48
Tableau IV.3	<i>: Le résumé des résultats de l'effet de la distance entre le tube RX-fantôme sur le rayonnement diffusé pour la distance fantôme-radiamètre de 50 et ce, pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme et pour les distances RX-fantôme.....</i>	50
Tableau IV.4	<i>: Le résumé des résultats obtenus pour l'étude de l'effet d'épaisseur du fantôme à une distance tube RX-fantôme de 60cm et ce, pour la distance le fantôme –radiamètre de 50cm de l'incidence normale.....</i>	52
Tableau IV.5	<i>: Le résumé des résultats de l'effet angulaire à une distance tube RX-fantôme de 60cm et une distance fantôme-radiamètre de 50cm pour l'épaisseur de 23cm.....</i>	53

Tableau IV.6 : *Le résumé des résultats de comparaison des débits d'équivalent de doses d'ambiances entre les qualités N-150 et N-100 de spectre étroit pour la distance RX-fantôme de 80cm et la distance fantôme-radiamètre de 50cm pour l'épaisseur de 23cm.* **55**

Liste des abréviations

- ALARA** : As Low As Reasonably Achievable.
- BRI** : Bloc de Radiologie Interventionnelle
- CHU** : Centre Hospitalier Universitaire.
- CI** : Cardiologie Interventionnelle.
- CIPR** : Commission Internationale de Protection Radiologique.
- CRNA** : Centre de Recherche Nucléaire d'Alger.
- E_A** : Energie absorbée.
- E_D** : Energie diffusée.
- ICRU** : International Comite on Radiation Units.
- IRM** : Imagerie par résonance magnétique.
- ISO** : International Organization for Standardization.
- LSED** : Laboratoire Secondaire d'Etalonnage en Dosimétrie.
- MERM** : Manipulateur en électroradiologie médicale
- PCR** : Personne Compétente en Radioprotection
- PMMA** : polyméthylméthacrylate.
- PSRPM** : Personne spécialisée en radiophysique médicale.
- SI** : Système International.
- RX** : Rayon X.
- TDM** : Tomodensitométrie.
- TLD** : Dosimètre Thermoluminescence.
- Z** : Numéro atomique.

Introduction générale

23 cm respectivement. Par la suite, on a varié la distance entre l'opérateur et le patient d'ordre de 50, 80cm et 100cm pour chaque épaisseur étudié ainsi que la distance entre le patient -tube RX d'ordre de 60 et 80 cm pour l'incidence normale des RX. Aussi, et dans le but de simuler les procédures cliniques pratiquées pour des différentes incidences en radiologie interventionnelle, une étude angulaire a été proposé dans ce présent pour les angles 30° et 45° . Enfin, une étude comparative des débits d'équivalents de doses d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ enregistrés pour deux qualités des RX : N-100, N-150 du spectre étroit a été faite et ce, par rapport à deux paramètres physiques tel que la tension (kV) et l'énergie (keV).

L'ensemble de ces expériences ont été réalisé au niveau du Laboratoire Secondaire d'Etalonnage en Dosimétrie (LSED) du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) en utilisant un fantôme plaque en PMMA (30*30) équivalent patient et un tube radiogène (RX) modèle MG320 de marque PHILIPS.

Ce présent travail est structuré en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre nous abordons tous les aspects physiques liés à la radiologie interventionnelle. Le deuxième chapitre aura pour objectif de citer les généralités sur la radiologie interventionnelle et de définir les appareils utilisés, pour la réalisation des différentes procédures, ainsi que de donner le principe d'organisation de la radioprotection en radiologie interventionnelle et ce, dans le but d'assurer une meilleur protection du personnel praticien.

Quant au troisième chapitre, nous présentons le matériel et la méthode expérimentale utilisés dans les mesures. Par contre, le quatrième chapitre on présentera les résultats ainsi que leurs interprétations. Et en fin, on termine notre travail par une conclusion générale.

Chapitre I

*Les aspects physiques en
radiologie interventionnelle*

La radiologie interventionnelle a fait son apparition au cours des années soixante pour le traitement des pathologies cardio-vasculaires. Cette technique s'est depuis considérablement développée et aujourd'hui elle est utilisée dans d'autres domaines, tel que la neurologie.

La radiologie interventionnelle associe une technique d'imagerie radiologique à un geste invasif à visée diagnostique et/ou thérapeutique. L'intervention, effectuée sous anesthésie, elle est guidée et contrôlée par l'image radiologique et ce, en utilisant soit des rayons X comme le scanner et la fluoroscopie ou le champ magnétique pour l'IRM ou encore des ultra-sons pour les échographies. Cependant, l'utilisation de ces appareils émettrice de rayonnements en particulier les rayons X peuvent présenter des risques pour la santé des praticiens (les chirurgiens, les cardiologues, les anesthésistes, le personnel médicale). Du fait de leurs expositions externes complexes et hétérogènes qui est due principalement aux :

1. Rayonnements de fuite de gaine du tube RX,
2. Rayonnements primaires si le générateur RX est placé au-dessus du patient et
3. Rayonnement diffusé produit par le patient ou même par la table d'opération ainsi que les accessoires se trouvant sous le faisceau.

Des études ont démontré que les parties du corps, les plus exposées aux rayonnements des opérateurs en radiologie interventionnelle sont : les extrémités et la Thyroïde, le cristallin mais les doses reçues par ces organes peuvent être réduites si certaines règles de radioprotection.

De ce fait, dans ce présent travail on s'est intéressé à la mesure des rayonnements diffusés en radiologie interventionnelle et ce, à travers l'étude des paramètres techniques intervenant directement sur l'exposition des opérateurs en radiologie à savoir :

- ❖ La distance entre le tube RX et le patient.
- ❖ La distance entre le patient et l'opérateur.
- ❖ L'épaisseur du patient traité.
- ❖ La tension du tube RX utilisée.
- ❖ L'incidence des procédures cliniques et l'orientation du tube RX.

Par ailleurs, on s'intéresse plus spécifiquement à la mesure du diffusé en utilisant une grandeur opérationnelle qui est le débit d'équivalent de dose d'ambiance $\dot{H}^*(10)$, on a procédé à mesure le $\dot{H}^*(10)$ engendré par la variation des épaisseurs du patient qui sont de 10, 18 et

I.1. Introduction

La radiologie interventionnelle est reconnue comme une pratique susceptible de délivrer des doses importantes des RX aux patients et aux opérateurs. L'utilisation de ces derniers (RX) impose cependant des précautions particulières liées aux risques encourus à court et à long terme.

Dans ce chapitre on va aborder les différents aspects physiques liés aux paramètres techniques intervenant sur l'exposition des opérateurs en radiologie interventionnelle.

En effet, et d'une manière générale, le rayonnement ionisant est un mode de transfert d'énergie dans la matière, sous formes d'ondes électromagnétiques ou particules subatomique et on peut distinguer plusieurs types de rayonnements à savoir:

- Rayonnements particulaires chargés (α et β).
- Rayonnements électromagnétique (X et gamma).
- Rayonnements particulaires non chargés (neutron).

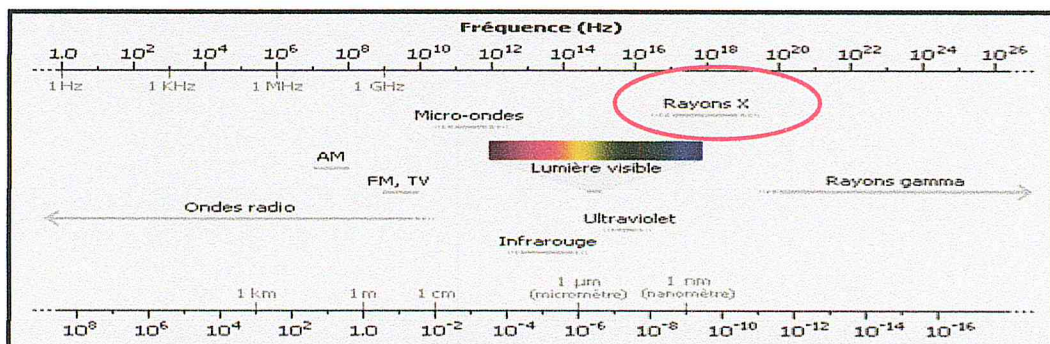
L'interaction du rayonnement avec la matière dépend de la nature des rayonnements incidentes et de leurs énergies ainsi que du milieu traversé lui-même.

I.2. Les rayonnements électromagnétiques RX

I.2.1. Généralités sur les RX

Les rayons X sont des rayonnements électromagnétique à haute fréquence qui sont constitués de photons dont la longueur d'onde est comprise approximativement entre 0,01 nanomètre et 10 nanomètres (10^{-11} m et 10^{-8} m) voir *la figure I.1*, correspondant à des fréquences de 30 pétahertz à 30 exahertz (3×10^{16} Hz à 3×10^{19} Hz).

Sur le spectre d'énergie des rayonnements électromagnétiques, les rayons X se situent après l'ultraviolet (*Figure I.1*). Selon le mode de production, ils peuvent avoir une énergie plus ou moins élevée, de quelques keV ou à des centaines de MeV.



Figures I.1 : Spectre des rayonnements électromagnétiques.

I.2.2. La production des rayons X dans un tube RX

Les rayons X sont produits par un faisceau d'électrons bombardant une anode cible dans un tube sous vide très poussé. Le matériau de la cible est de numéro atomique élevé résistant à la chaleur. Le tungstène, de numéro atomique 74 (et de symbole chimique W) répond bien à ces deux exigences et ce constitue très souvent la cible des tubes à rayons X (*Figures I.2*). Le chauffage de la cathode émet un faisceau d'électrons, orienté vers l'anode et accéléré par une forte différence de potentiel (40 à 140 kV) entre les deux électrodes. Lorsque le faisceau d'électrons bombarde l'anode, une partie de son énergie cinétique est transformée par freinage en photons X, et le reste de cette énergie est dissipée en chaleur. [MON10]

La surface de l'anode émet des rayons X dans toutes les directions, avec une intensité maximale au niveau d'un angle compris entre 60° à 90° par rapport au faisceau d'électrons, du fait de l'inclinaison de l'anode. Le tube est pourvu d'une petite "fenêtre" permettant de laisser sortir les rayons X sans trop atténuer leur intensité, tout en maintenant le vide nécessaire dans le tube. [MON10]

Généralement, un tube est équipé d'un générateur servant à contrôler la différence de potentiel entre la cathode et l'anode, ainsi que l'intensité du courant électrique (mA) qui chauffe la cathode. Par contre, dans le cas où le courant (ou intensité) est élevé, les électrons arrachés de la cible seront plus nombreux, et l'anode produira plus de rayons X. En outre, Si la différence de potentiel (ou tension) entre les électrodes augmente, les électrons seront plus rapides et les rayons X émis seront plus nombreux et de plus grande énergie. Il est donc possible de modifier le débit du tube à rayons X et ce, en réglant le courant (mesuré en mA) et la différence de potentiel (kV).

En radiologie interventionnelle, le faisceau de rayons X produit est projeté sur le patient dans un but diagnostique ou thérapeutique. Ces derniers sont recueillis par des détecteurs comme dans le cas des scanners modernes dispose de détecteurs constitués de cristaux à scintillation, qui convertissent l'énergie des rayons X en lumière visible, et de photodiodes à semi-conducteurs, qui mesurent l'intensité de la lumière. [MON10]

a) L'Effet photoélectrique

L'effet photoélectrique est un processus d'absorption totale d'un photon d'énergie $E_\gamma = h\nu$ par un électron atomique, lequel acquiert une énergie cinétique E_c qui représente l'énergie suffisante pour être éjecté de son atome (relation I.1). *La figure I.3* illustre ce processus.

$$E_C = E_\gamma - E_L \quad (I.1)$$

E_L : est l'énergie de liaison de l'électron éjecté elle est comprise entre 0.01 et 100 keV et ce selon l'atome cible et la couche occupée par l'électron atomique.

Elle est d'autant plus grande que Z est plus élevé, ce qui favorise le phénomène à basse énergie et dans les milieux lourds.

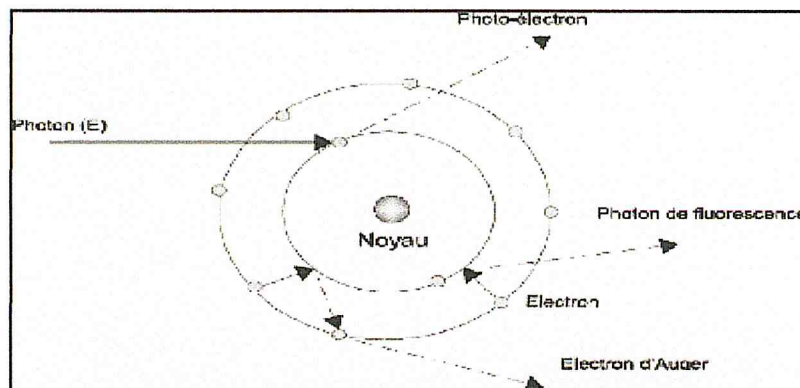


Figure I.3 : Effet photoélectrique.

b) L'effet Compton

Le processus de l'effet Compton se réalise par la rencontre du photon incident d'énergie $E = h\nu_0$ avec un électron orbitale périphérique dit peu lié, diffusé d'un angle θ par rapport à sa direction originale et cède une partie de son énergie à un électron du cortège électronique. L'électron cible est extrait du cortège avec une énergie cinétique E_C et dans une direction déterminée avec un angle ϕ (Voir *figure I.4*). L'énergie du photon incident $E = h\nu_0$, est répartie entre le photon diffusé, $E_\gamma = h\nu'$ et sur l'électron éjecté de Compton, note E_C (énergie cinétique). Au cours de ce processus, il y a conservation d'énergie et de la quantité de mouvement (relation I.2). En négligeant la liaison de l'électron dans l'atome, l'énergie cinétique de cet électron vaut (relation I.2) :

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2}(1 - \cos\theta)} \quad (\text{I.2})$$

La longueur d'onde du rayonnement diffusé est :

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{m_0c}(1 - \cos\theta) \quad (\text{I.3})$$

Avec :

c : c'est la vitesse de propagation dans le vide ($c = 2,98 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$).

m_e : c'est la masse d'électron ($m_e = 5,4859 \times 10^{-4} \text{ uma}$).

Avec : $\varepsilon = \frac{E}{m_e c^2}$ représente le rapport entre l'énergie du photon incident et celle de

la masse de l'électron. Dans le cas d'un photon d'énergie de 511 keV, $\varepsilon = 1$.

L'énergie acquise par l'électron est maximale lorsque $\cos\theta = -1$ c'est-à-dire $\theta = \pi$.

L'énergie du photon diffusé est donc inférieure à l'énergie du photon initiale :

$$E_\gamma = E - E_c$$

Corrélativement, il y a accroissement de la longueur d'onde du photon diffusé : $\lambda' > \lambda_0$. Par conséquent, la relation entre la longueur d'onde du photon incident λ_0 et celle du photon diffusé est donnée par la relation (I.4).

$$\lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta) \quad (\text{I.4})$$

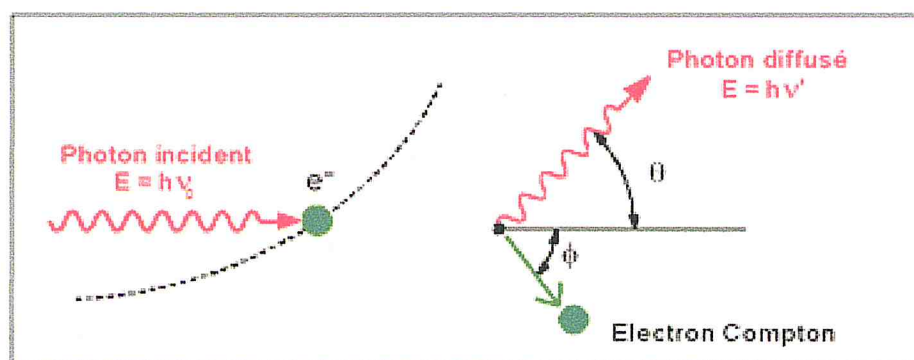


Figure I.4 : L'effet Compton.

Pour minimiser la diffusion Compton au profit de l'effet photoélectrique, il convient d'utiliser préférentiellement un matériau à Z élevé comme dans le cas du Plomb ($Z=82$) utilisé

- Les grandeurs opérationnelles.

I.5.1.1. Les Grandeurs physique

Les grandeurs physiques sont des grandeurs accessibles quantitativement par le calcul ou par la mesure et on distingue parmi ces grandeurs:

- ❖ Les grandeurs radiométriques servant à caractériser le champ de rayonnement telles que : La fluence particulaire et la fluence énergétique.
- ❖ Les grandeurs dosimétriques servant à caractériser l'effet physique des rayonnements sur la matière en terme d'énergie transférée ou de dépôt d'énergie telles que : l'exposition, le Kerma, la dose absorbée et la dose à l'organe. Ces dernières sont des grandeurs macroscopiques définies de façon formelle par l'ICRU.

Les grandeurs physiques essentielles sont :

1. Le kerma (K)

Le Kerma (Kinetic Energy Released per unit Mass) est une grandeur physique utilisée pour la dosimétrie des faisceaux des rayonnements indirectement ionisants (photons ou neutrons) , Il traduit le premier acte de transfert d'énergie dans la matières, elle représente la somme des énergies cinétiques initiales de toutes les particules chargées directement ionisantes libérées par les photons ou par des neutres dans un volume élémentaire de masse dm . [ROP05]

$$K = \frac{\sum dE_{cin}}{dm} \quad (I.5)$$

L'unité de cette grandeur est le (J /kg).Etant donnée l'importance de cette grandeur, on lui a attribué le nom particulier de Gray, symbolisé par (Gy).

2. La dose absorbée (D)

Le terme « dose absorbée » désigne la dose moyenne reçue par un organe ou un tissu. La pénétration des rayonnements ionisants dans la matière se traduit par une session d'énergie, la quantité d'énergie moyenne (dE) communiquée par le rayonnement à la matière par unité de masse (dm). [SFP07]

$$D = \frac{dE}{dm} \quad (I.6)$$

La dose absorbée est une grandeur physique mesurable, et elle ne tient pas compte ni de la nature des rayonnements, ni des propriétés du tissu exposé. L'unité de dose absorbée est le joule par kilogramme (J/kg), appelée Gray symbolisé par (Gy).

3. La fluence (Φ)

➤ La fluence particulaire

Elle représente le nombre de particule dN par unité de surface dA , plus généralement employée pour des faisceaux de proton, neutron. Cette quantité sert à décrire un faisceau de rayonnement ionisant mono énergétique: [ATT86]

$$\Phi = \frac{dN}{dA} \quad (\text{I.7})$$

L'unité de la fluence particulaire s'exprime en (particules /cm²)

➤ La fluence énergétique

Elle représente le rapport de l'énergie radiante R (transportée par les dN particules) à la surface dA du plan diamétral de la sphère :

$$\Psi = \frac{dN}{dA} E \quad (\text{I.8})$$

$$\Psi = \Phi \cdot E \quad (\text{I.10})$$

L'unité : J.m⁻²

I.5.1.b. Les grandeurs de protection

Les grandeurs de protection, à savoir la dose équivalente à l'organe et la dose efficace, sont associées aux doses absorbées dans l'organisme résultant d'une exposition externe ou interne. Ces grandeurs sont utilisées pour indiquer les effets biologiques de l'exposition aux rayonnements à des niveaux de doses absorbées rencontrées en radioprotection dans les organes et les tissus. Ce type de grandeurs ne sont pas directement mesurables, elle permet d'établir des limites réglementaires d'exposition des travailleurs et du public ainsi que de vérifier le respect de ces limite dans le cadre de radioprotection définie par la CIPR, leurs unités est le sievert (Sv). [CIP09]

➤ La dose équivalente (H_T)

La dose équivalente est la grandeur qui caractérise et quantifie les différents effets biologiques liés à chaque type de rayonnement. La définition des grandeurs de protection telle que la dose équivalente H_T s'appuie sur la dose absorbée moyenne $D_{T,R}$ dans le volume d'un organe ou d'un tissu T spécifié, due à un rayonnement de type R (voir le *tableau I.1*). Le rayonnement R est caractérisé par le type et l'énergie du rayonnement incident sur le corps. La grandeur de protection dose équivalente dans un organe ou un tissu H_T , est alors définie par: [ICR85]

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R} \quad (\text{I.11})$$

Où D_T : La dose absorbée moyenne à l'organe ou au tissu T délivrée par le type de rayonnement R

W_R : Le facteur de pondération radiologique pour le type de rayonnement R (voir le *tableau I.1*).

L'ancienne unité utilisée était le (rem) qui est égale au produit de la dose absorbée, exprimée en (rad), par le facteur de pondération.

$$1 \text{ Sievert} = 100 \text{ rem}$$

Le tableau suivant donne les valeurs des facteurs de pondération définis par la CIPR : [10]

Type de rayonnement	Facteur de pondération pour les rayonnements W_R
Photons	1
Electrons et muons	1
Proton et pions chargés	2
Particules alpha, fragments de fission	20
Neutrons	Une fonction continue de l'énergie des neutrons

Tableau I.1 : Les valeurs recommandées pour les facteurs de pondération pour les rayonnements.

Comme le facteur de pondération est une grandeur sans unité, D et H ont les mêmes unités dans le système international : J/kg. On parle de Gray, lorsqu'il s'agit d'une dose absorbée, et du sievert dans le cas d'une dose équivalente.

➤ La dose efficace (E)

La dose efficace est la somme des produits des doses équivalentes reçue au niveau de tous les organes ou tissus exposés, chacune de ces doses étant pondérée par son facteur de pondération tissulaire W_T respectif. Ce facteur tient compte la radiosensibilité propre de chaque tissu ou organe : [ICR85]

La dose efficace est alors définie par la relation

$$E = \sum_T W_T \times H_T \quad (\text{I.12})$$

D'après la définition de la dose équivalente, Il s'ensuit que :

$$E = \sum_T W_T \times \sum W_R \times D_{T,R} \quad (\text{I.13})$$

Où : W_T est le facteur de pondération pour les tissus définis pour le tissu T et $\sum W_T = 1$. La somme est calculée sur l'ensemble des organes et tissus du corps humain, considérés comme sensibles à l'induction d'effets stochastiques. Ces valeurs de W_T sont choisies pour représenter les contributions des divers organes et tissus, pris individuellement, au détriment global associé aux effets stochastiques radio-induits. L'unité de dose efficace est le J.kg⁻¹ et est appelée le sievert (Sv). L'unité est la même pour la dose équivalente et pour la dose efficace.

Les facteurs de pondération tissulaire W_T , résultent de la dernière modification réalisée par publication 103 de la CIPR (2009) sont illustrés dans le *tableau I.2* ci-dessous: [11]

Tissu	W_T	ΣW_T
Moelle osseuse (rouge), côlon, poumons, estomac, tissus restants*	0,12	0,72
Gonades	0,08	0,08
Vessie, œsophage, foie, thyroïde	0,04	0,16
Surface osseuse, cerveau, glandes salivaires, peau	0,01	0,04
	Total	1,00

*Tissu restant : surrénales, région extrathoracique (ET), vésicule biliaire, cœur, reins, ganglions lymphatique, muscle, muqueuse buccale, pancréas, prostate, Intestin grêle, rate, thymus, utérus/col de l'utérus.

Tableau I.2: Les facteurs de pondération pour les organes et les tissus.

La dose équivalente et la dose efficace ne peuvent pas être mesurées directement dans les tissus du corps. Ainsi le système de protection comprend des grandeurs opérationnelles, qui peuvent être mesurées et à partir desquelles la dose équivalente et la dose efficace peuvent être évaluée.

I.5.1.C. Les grandeurs opérationnelles

Les grandeurs opérationnelles ont été introduites par l'ICRU. En principe on dispose de trois grandeurs opérationnelles il s'agit de :

- ❖ L'équivalent de dose personnel H_p
- ❖ L'équivalent de dose ambiante H^*
- ❖ L'équivalent de dose directionnelle H'

Les grandeurs opérationnelles fournissent une bonne estimation des grandeurs de la radioprotection. Ces équivalent de dose ne peuvent, dans la plupart des cas être mesurés et de ce fait, elles doivent être estimés à partir des équivalents de dose déterminés en des endroits appropriés du fantôme adéquat. Par définition, une grandeur opérationnelle doit pouvoir être utilisé en métrologie et doit présenter, par conséquent, les caractéristique suivantes : [ICR93]

- ✓ Etre définie en un point d'un fantôme approprié.
- ✓ Etre unique quel que soit le rayonnement, et additive pour plusieurs rayonnements incidents.

- ✓ Etre mesurable par les détecteurs existant et servir de grandeur de référence au cours des étalonnages.

Dans le concept de la surveillance dosimétrique, l'ICRU 1989 définit dans son rapport 39 [11], des quantités opérationnelles pour la surveillance de zone ou de l'environnement de la surveillance individuelle à savoir : $H_p(d)$, $H^*(d)$, $H'(d, \Omega)$ représentant respectivement l'équivalent de dose individuelle, l'équivalent de dose ambiant et l'équivalent de dose directionnel.

➤ L'équivalent de dose individuel (personnel) $H_p(d)$

L'équivalent de dose personnel, $H_p(d)$ est l'équivalent de dose dans un tissu mou à une profondeur appropriée (d) au dessous d'un point spécifique à la surface du corps.

L'unité de l'équivalent de dose individuel dans SI est le joule /kilogramme (j/kg) nommé par le Sievert (Sv). les profondeurs recommandées (d) pour cette quantité sont :

- $d = 10\text{mm}$ pour la surveillance dosimétrique personnelle de l'organisme entier, $H_p(10)$ dans un tissu qui convient pour les rayonnements fortement pénétrants (photon, neutrons, $\beta > 14\text{Mev}$).
- $d = 0,07\text{ mm}$ pour les rayonnement faiblement pénétrant (photons, neutrons, $< 3\text{Mev}$, ces profondeurs recommandées respectivement sont pour l'équivalent de dose à la peau, des extrémités noté $H_p(0,07)$ et au cristallin de l'œil $H_p(3)$.

Ces grandeurs peuvent être mesurées avec des dosimètres portés sur corps (tronc, extrémités, cristallin) caractérisés en termes de grandeurs opérationnelles adéquates.

➤ L'équivalent de dose ambiant $H^*(d)$

L'équivalent de dose ambiant, $H^*(10)$ en un point dans un champ de rayonnement est l'équivalent de dose qui serait produit par le champ unidirectionnel et expansé correspondant, dans la sphère ICRU, à une profondeur (d) sur le rayon qui fait face à la direction du champ unidirectionnel. L'unité de l'équivalent de dose ambiant dans SI est le joule/kilogramme (j/kg) nommé le Sievert (Sv) [ICR85, ICR93]

- Il convient pour les rayonnements fortement pénétrants (photons, neutron, $\beta > 14\text{Mev}$).

- La profondeur recommandée (d) pour la surveillance dosimétrique en terme de $H^*(d)$ est de 10mm, $H^*(d)$ peut alors s'écrire $H^*(10)$.
- Un instrument qui a une réponse isotrope et qui est étalonné en terme de $H^*(d)$, mesurera $H^*(d)$ dans tous le champ de rayonnement à condition que celui-ci soit uniforme sur le volume qui sera occupé par l'instrument.

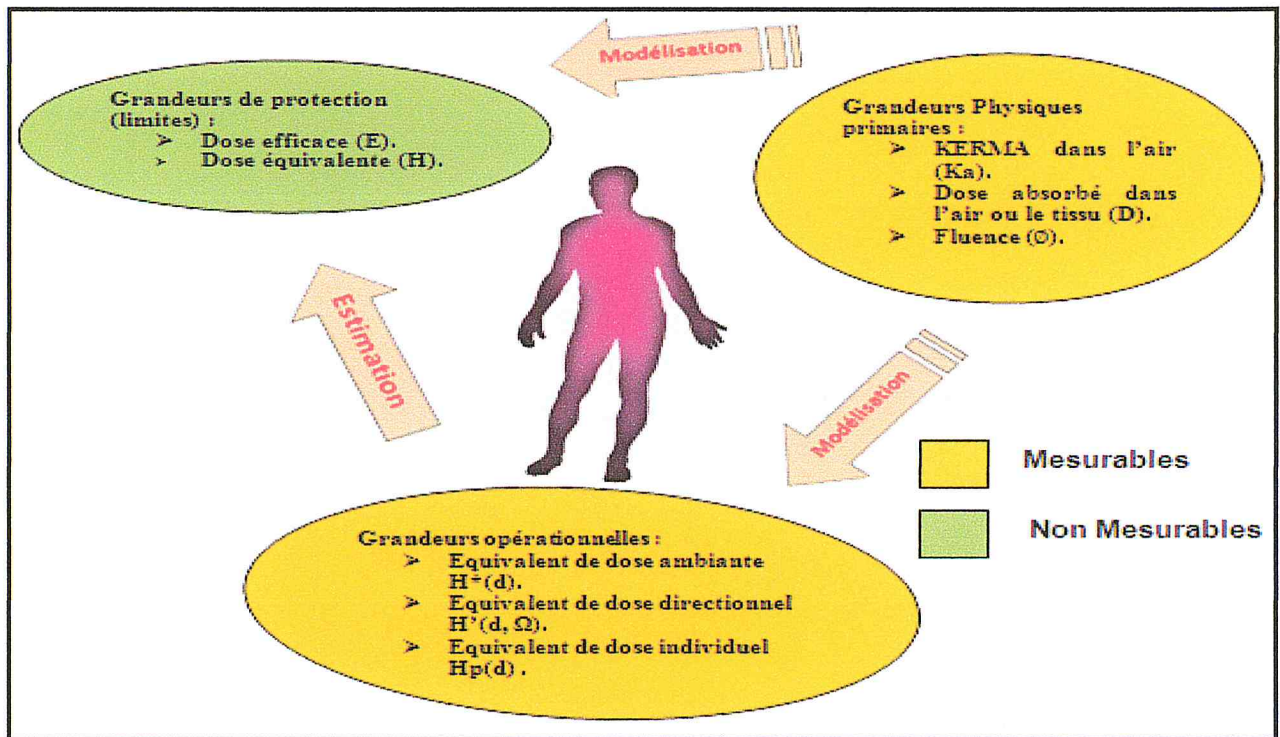
Le débit d'équivalent de dose ambiant $H^*(d)$ peut aussi être utilisé pour l'estimation des doses de l'environnement dans des zones ou on utilise des rayonnements ionisant en particulier au voisinage des patients dans le but de protéger les opérateurs comme dans le cas de la radiologie interventionnelle. Cela nous permet de quantifier les doses reçues par les praticiens au cours de leur travail.

➤ **L'équivalent de dose directionnel $H'(d, \Omega)$**

L'équivalent de dose directionnel $H'(d, \Omega)$ est l'équivalent de dose en un point dans un champ de rayonnement, et l'équivalent de dose qui serait produit par le champ expansé correspondant dans la sphère ICRU à une profondeur d , sur un rayon dont la direction est spécifiée par Ω . L'unité de $H'(d, \Omega)$ dans SI est le Sievert (Sv). [ICR85, ICR93]

- Il convient pour les rayonnements faiblement pénétrants (photons, neutron, $\beta < 3\text{Mev}$).
- La profondeur recommandé (d) pour la surveillance dosimétrique en terme de $H'(d, \Omega)$ est 0,07mm sur un rayon dont la direction Ω est spécifié, $H'(d, \Omega)$ peut s'écrire $H'(0,07, \Omega)$, $H'(3, \Omega)$, dans le cas ou $\Omega=0$ cette grandeur peut s'écrire $H'(0,07)$, $H'(3)$.

Le schéma descriptif de la *figure I.6*, nous permet de voir la relation entre les grandeurs physiques, les grandeurs dosimétriques, les grandeurs de protection (limitation) ainsi que les grandeurs opérationnelles et la façon de les obtenir.



Figures I.6 : Relation entre les différentes grandeurs.

I.5.2. La dosimétrie individuelle externe

La dosimétrie désigne l'ensemble des techniques de mesure et de modélisation qui permettent l'évaluation de l'énergie déposée par un rayonnement ionisant (directs ou indirects) par unité de masse dans un matériau tel que l'air, tissu vivant. La mesure de l'exposition aux radiations ionisantes, fait partie des outils de la radioprotection.

La dosimétrie individuelle permet une surveillance radiologique dans le but de vérifier que les doses reçues sont dans les limites réglementaire. Cette dernière permet aussi de rapporter le maximum d'information en cas d'irradiations accidentelles ^[MOH04] et ce, grâce au moyen des dosimètres adéquats.

I.5.2.1. Les types de dosimètres utilisés dans la surveillance individuelle

➤ Les dosimètres photographiques et les dosimètres à TLD

Pendant des années le dosimètre photographique a été l'unique dispositif de surveillance radiologique individuel utilisé en Algérie dans les services de radiologie interventionnelle et ce, pour l'évaluation de la dose au niveau de l'organisme entier. Mais en 2010 l'Algérie a adaptée la dosimétrie à base des détecteurs thermoluminescents (TLD). Le film dosimètre contient un film photographique qui s'impressionne sous l'effet des rayonnements (*figure I.7*). Par contre, les dosimètres à TLD sont à basés sur des détecteurs thermoluminescents (*Figure I.8*). Ces dosimètres doivent être porté à la hauteur de la poitrine pendant toute la durée du travail et renouvelé mensuellement. Le service de dosimétrie transmet les doses reçues par les travailleurs au médecin du travail et à l'employeur qui est à leur tour informe l'intéressé dans le cas des doses importantes ont été enregistrées. [MOH04] En radiologie interventionnelle, le personnel praticien doit être doté de ces dosimètres individuels car ces derniers sont exposés aux rayonnements diffusés en plus des rayonnements primaires du tube RX utilisé (radiographie, radioscopie).

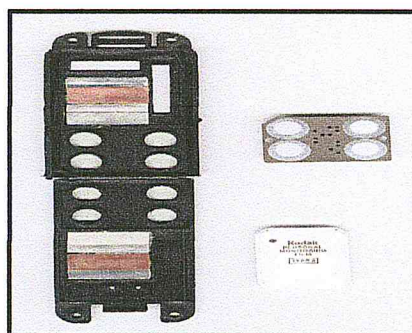


Figure I.7: Le dosimètre film photographique.

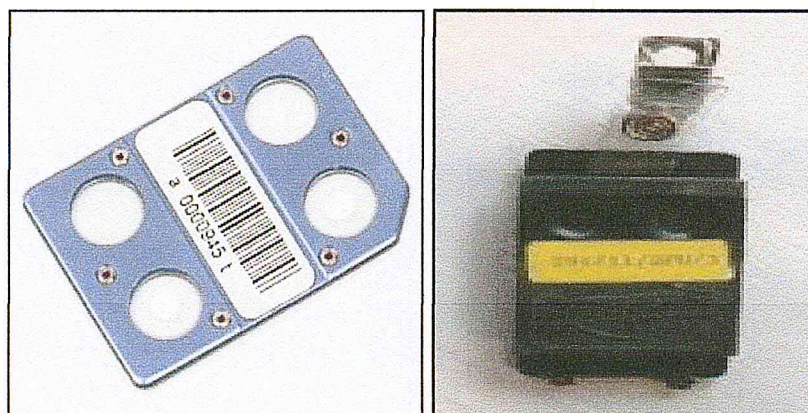


Figure I.8: Le dosimètre TLD.

➤ **Le stylo dosimètres :**

Le stylo dosimètre (*figure I.9*) est un dosimètre à lecture directe ou immédiate .il est particulièrement recommandé pour certains opérations qui n'entrent pas dans les activités de routine, il permet la lecture directe de la dose pour les différents rayonnements ionisants.

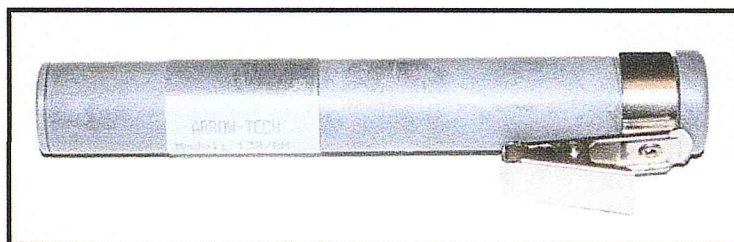
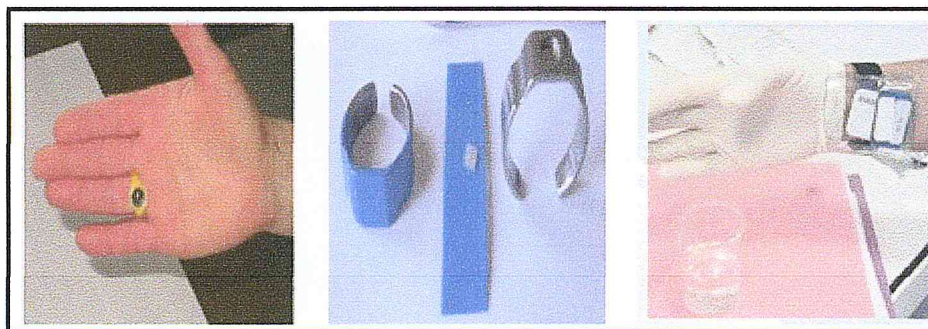


Figure I.9 : Le stylo dosimètre.

➤ **Les Dosimètres bagues et le doigtier**

Les dosimètres extrémités (*figure I.10*) en générale sont utilisés dans le cas des expositions partielles du corps, telle que la main par exemple ou les chevilles. Le dosimètre bague et le dosimètre poignet mesure la dose due aux rayonnements (γ, β) au niveau des doigts de la main et le poignet. En radiologie interventionnelle, les chirurgiens travail les mains dans le champ d'irradiation, De ce fait, une surveillance radiologique des mains est primordiale soit en utilisant des bracelets ou des bagues. Par contre, l'utilisation des bagues pose problème et l'inconvénient de la stérilisation.



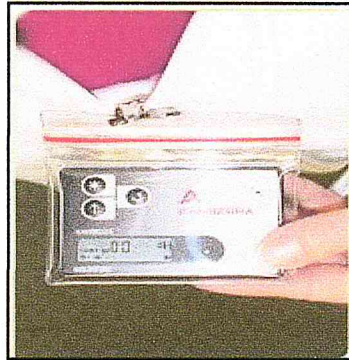
Figures I.10 : Le dosimètre-bague et le dosimètre-poignet.

➤ **Le dosimètre électronique**

Les dosimètres électroniques (*figure I.11*) remplacent de plus en plus d'autres dosimètres tel que le stylo dosimètre car ils disposent de seuil de dose qui peut être préréglé pour déclencher lors du dépassement de limite une alarme sonore et visuelle. De plus, la réponse en énergie

assez large et qui est de 60 KeV à 6.2 MeV. Ce ci, nous permet de choisir les énergies et ce, contrairement aux autres dosimètres. Les dosimètres électroniques permettent aussi de réaliser la dosimétrie opérationnelle dans le cas ou la dose est susceptible de dépasser

500 μSv /semaine.



Figures I.11: Le dosimètre électronique.

I.5.3.La dosimétrie d'ambiance

L'objectif de la dosimétrie d'ambiance est d'évaluer, les conditions normales de travail, les doses susceptibles d'être délivrées au personnel, consécutives à des expositions externes et internes aux rayonnements ionisants. Elle permet ainsi d'identifier les dangers et d'estimer les risques encourus et ce, afin de mettre en œuvre les actions de prévention adaptées et d'apporter des éléments pour la gestion des incidents éventuels.

En radiologie interventionnelle, la surveillance radiologique du lieu de travail doit également permettre d'identifier l'existence des risques d'exposition des praticiens afin de déterminer les meilleurs positions et les meilleurs distances entre le patient et l'opérateur ainsi que les voie d'exploration les moins irradiantes. Elle permet aussi de déterminer le niveau de l'équivalent de dose ambiant $H^*(10)$ dans les différentes zones de travail du service de radiologie interventionnelle. Cette surveillance permet même de délimiter le zonage au voisinage du patient par rapport au personnel médical, y compris leurs fluctuations prévisibles ainsi que la probabilité des expositions potentielles.

Chapitre II

Généralité et radioprotection en radiologie interventionnelle

II.1. Introduction

Dans sa forme la plus pure, la radiologie interventionnelle désigne l'utilisation de l'imagerie radiologique pour guider le chirurgien ou, de façon plus générale, l'opérateur, dans la réalisation d'un nombre varié d'interventions mini-invasives. Depuis une vingtaine d'années, le domaine de la radiologie interventionnelle est en constante évolution, que ce soit en médecine humaine ou en médecine vétérinaire, de nombreuses procédures ont ainsi vu le jour. En médecine humaine, la radiologie interventionnelle est une discipline à part entière, elle regroupe une multitude de procédures réalisées par différents opérateurs, qu'ils soient spécialistes en médecine interne, en cardiologie, en chirurgie ou en imagerie. ^[LIB08]

La première intervention au sens thérapeutique du terme a été réalisée chez l'homme en 1964 il s'agit de l'angioplastie par voie transcutanée qui a été réalisé pour traiter une obstruction artérielle induite par une plaque d'athérome.

En Algérie il existe plusieurs services de radiologie interventionnelle qui sont ouvert dans des hôpitaux et parmi ces services nous avons :

- Le service de cardiologie du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) MUSTAPHA BACHA.
- Le service de cardiologie infantine (CI) de (CHU) Béni Messous.

II.2. Les techniques d'imageries utilisées en Radiologie interventionnelle

La radiologie interventionnelle est une sous-spécialité de la radiologie qui permet de pratiquer des traitements peu invasifs sous guidage par imagerie. Grâce à l'avancée de la technologie et à la disponibilité de plus en plus de matériel d'imagerie de haute qualité, la radiologie interventionnelle est en mesure de proposer un nombre important d'options de diagnostique et thérapeutiques aux patients et aux médecins.

Les techniques d'imageries qui sont généralement utilisées en radiologie interventionnelle sont en nombre de cinq (05) :

a. La radioscopie

Le système de fluoroscopie (*Figure II.1*) est constitué d'un générateur de rayon X capable d'émettre des rayons X pendant plusieurs minutes et ce, de manière continue ou pulsé. L'ensemble tube RX et l'amplificateur de brillance sont solidarités sur un arceau qui peut se déplacer dans tous les sens. De ce fait, le patient peut être examiné sous tous les angles sans être déplacé. Cette technique permet d'obtenir des images dynamiques qui sont réintégrées en instantané vers un écran à partir duquel les opérateurs les analysent.

L'utilisation de cette technique en radiologie interventionnelle n'est pas sans risque pour le patient et les opérateurs.

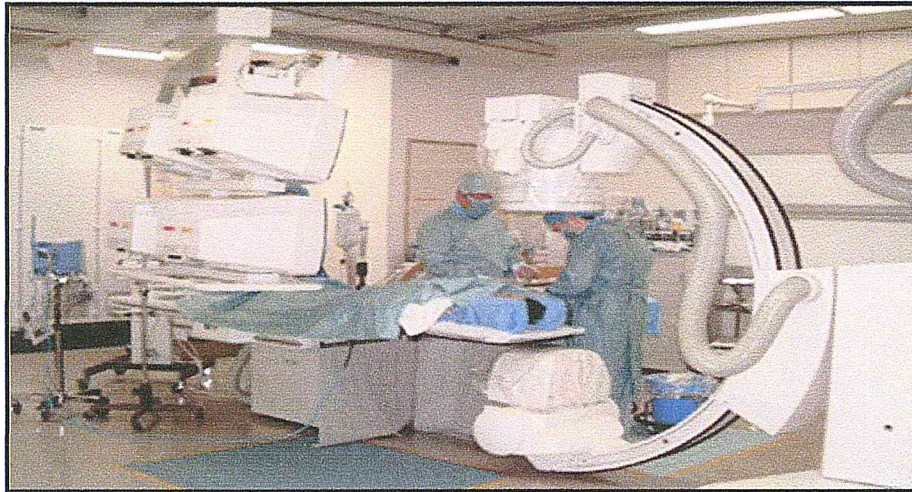


Figure II.1 : L'appareil de la radioscopie utilisé en radiologie interventionnelle.

b. La radiographie

C'est la technique de référence, modèle de l'imagerie médicale par atténuation. Les rayons X sont des ondes électromagnétiques identiques aux ondes radio mais leur énergie est beaucoup plus grande. Aussi les longueurs d'ondes usuelles en radiodiagnostic et en radiographie se trouvent dans la gamme 10^{-10} à 10^{-12} mètre, ce qui correspond à des énergies de l'ordre de 10 à 300 keV ^[CHR07], ce qui leur donne des propriétés particulières comme celle de traverser certains tissus.

Ainsi et, en associant cette propriété avec un procédé d'enregistrement des images, on obtient une radiographie en forme d'image statique.

Par ailleurs, la formation d'une image radiologie consiste à placé entre le tube rayons X et le récepteur l'objet à explorer (voir la *figure II.2*). L'intensité de rayons X qui arrive sur le récepteur dépend de la densité des tissus traversés. De ce fait, le faisceau des rayons X subit différentes atténuations selon les structures traversées:

- Les parties osseuses donnant une couleur blanche sur la radiographie sont dues à une importante atténuation des RX.
- Les parties musculaires donnant une couleur plus grisâtre sur la radiographie sont dues à une atténuation moins importante des RX.
- La partie remplie d'air tel que les poumons donnant une couleur noire sur la radiographie est due à une faible atténuation du faisceau RX traversé.

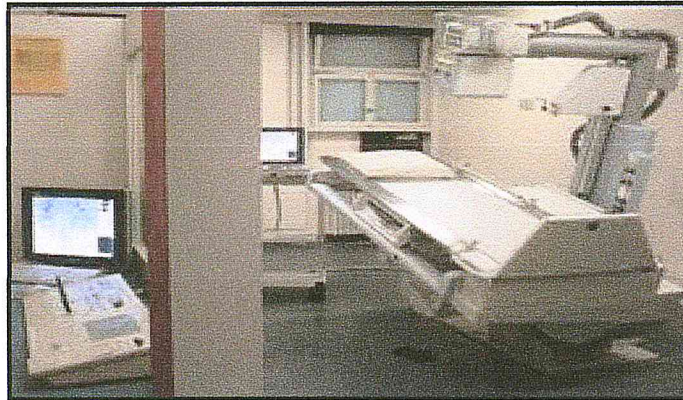


Figure II.2 : L'appareil de la radiographie utilisé en radiologie interventionnelle.

c. Le scanner (Tomodensitométrie « TDM »)

Le scanner appelé aussi tomodensitométrie est un examen qui utilise les rayons X. Son principe consiste à réaliser des images en coupes fines. En tournant autour du patient, le couple tube à rayons X - détecteurs permettent d'obtenir une succession de projection de l'absorption du patient selon différents angles, qui permet de reconstruire une image en coupe.

Le déplacement horizontal du patient permet d'obtenir autant de coupes que nécessaire au diagnostic. Le scanner hélicoïdal permet de reconstruire une image en 3 dimensions à l'aide de 60 à 80 coupes de 1 mm d'épaisseur. [JEA01]

Un scanner comprend une table, une gantry et une console de commande située dans une autre pièce. La gantry comprend un tunnel, autour duquel sont embarqués et tournent :

- ❖ Le tube à rayons X et générateur
- ❖ Les récepteurs
- ❖ L'électronique



Figure II.3 : L'appareil de scanner (TDM) utilisé en radiologie interventionnelle.

De point de vue de radioprotection, l'utilisation de cette technique en radiologie interventionnelle pose un problème de radioprotection. De ce fait, de multiples précautions et équipements de protection individuel et collectifs doivent être utilisés dans l'objectif d'optimiser et de réduire au maximum l'irradiation des praticiens.

d. L'échographie – doppler

L'échographie (*Figure II.4*) est une technique d'exploration basée sur les ultrasons. Une sonde envoie un faisceau d'ultrasons dans la zone du corps à explorer. Selon la nature des tissus, ces ondes sonores sont réfléchies avec plus ou moins de puissance. Le traitement de ces échos permet une visualisation des organes observés. Elle est employée pour les biopsies et ponctions percutanées. [JEA01]

En mode doppler l'échographe permet de quantifier approximativement les vitesses et le sens des flux, l'intensité de la couleur étant proportionnelle à la vitesse d'écoulement.



Figure II.4 : L'appareil de l'échographie – doppler utilisé en radiologie interventionnelle.

Les ondes ultrasonores ne sont pas ionisantes dans la mesure où l'énergie qu'elles déposent dans les tissus est insuffisante pour entraîner la création d'ions ce que nous rassure du côté de radioprotection pour son utilisation en radiologie interventionnelle pour le patient et le personnel.

e. L'imagerie par résonance magnétique (IRM)

L'IRM interventionnelle est une technique nouvelle ses avantages sont incontestables puisque c'est une technique non irradiante pour le personnel médical et pour le patient car elle utilise des champs magnétiques. Elle possède une résolution millimétrique, et un excellent pouvoir de contraste tissulaire. De plus, l'IRM permet d'effectuer des acquisitions multi-planes en temps quasi-réel. [RAD99]

L'acte interventionnel peut se réaliser de deux manières différentes et il dépend du type d'IRM utilisé :

1. L'aimant est fermé (*Figure II.5*) : les gestes chirurgicaux sont effectués en dehors de l'aimant, l'IRM permet alors des contrôles successifs. On utilise ce système lors de biopsies ou de traitements par ultrasons focalisés. [RAD99]

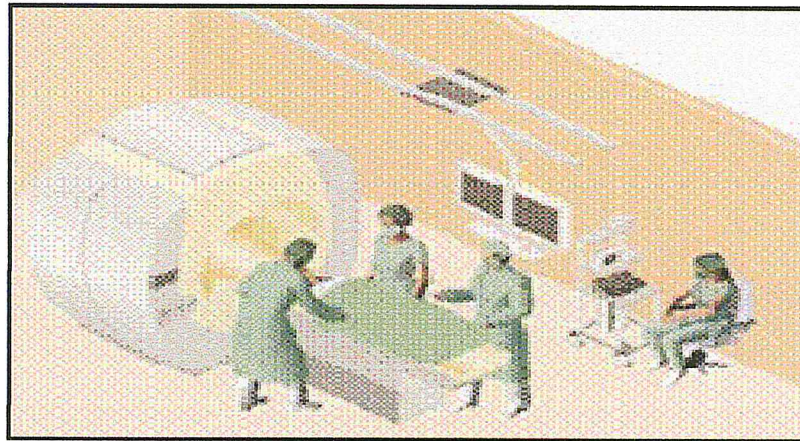


Figure II.5 : L'IRM interventionnelle à aimant fermé.

2. Un aimant ouvert (horizontalement ou verticalement) (*Figure II.6*) : l'intervention chirurgicale se déroule intégralement dans l'IRM. Les images de résonance magnétique sont diffusées par des moniteurs installés sur les côtés de la table d'opération. Elles sont obtenues toutes les cinq secondes en moyenne et guident les cliniciens tout au long de l'intervention chirurgicale. [RAD99]

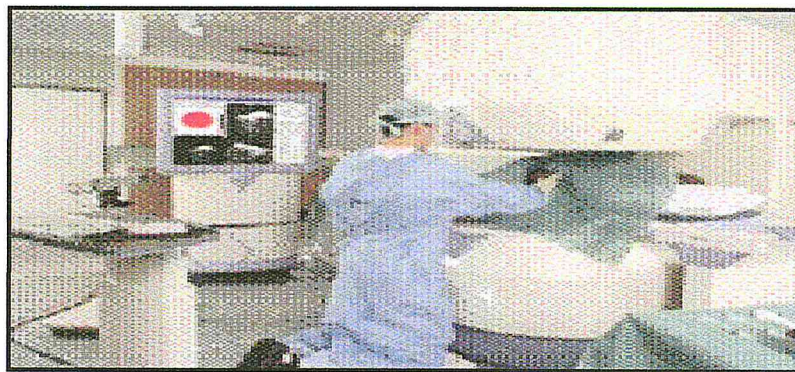


Figure II.6 : IRM interventionnelle à aimant ouvert.

Mais dans les deux cas l'antenne se placera toujours autour du champ opératoire pour obtenir une image optimale de la zone à traiter. [RAD99]

L'IRM interventionnelle permet d'utiliser des techniques percutanées. Elles permettent aussi d'éviter des chirurgies ouvertes qui nécessitent plusieurs heures d'intervention et qui demandent au patient plusieurs semaines pour récupérer, se sont donc des techniques moins traumatisantes pour le patient qui voit son temps d'hospitalisation diminuer fortement.

Chaque modalité d'imagerie médicale étant fondée sur un principe physique différent et apporte une information spécifique pour le patient et l'opérateur.

II.3. Les maladies traitées avec la radiologie interventionnelle

La radiologie interventionnelle représente donc dans certains cas une alternative au traitement chirurgical conventionnel mais ces deux techniques peuvent cependant se compléter. Actuellement, la radiologie interventionnelle concerne plusieurs domaines médicaux comme :

- La cancérologie : radiologie interventionnelle oncologique
- La pathologie vasculaire : radiologie interventionnelle vasculaire
- La gastro-entérologie : radiologie interventionnelle abdominale
- L'ostéo-articulaire : radiologie interventionnelle ostéoarticulaire
- L'urologie : radiologie interventionnelle urologique
- La gynécologie : radiologie interventionnelle gynécologique
- La sénologie : radiologie interventionnelle sénologique
- La pathologie thoracique : radiologie interventionnelle thoracique
- La pédiatrie : radiologie interventionnelle pédiatrique
- la neurologie : neuroradiologie interventionnelle

II.4. Description d'une unité de radiologie interventionnelle

Une unité de radiologie interventionnelle à RX voir la radioscopie et la radiographie est composée d'un amplificateur de brillance, du générateur de RX et de la table du patient (*Figure II.7*).

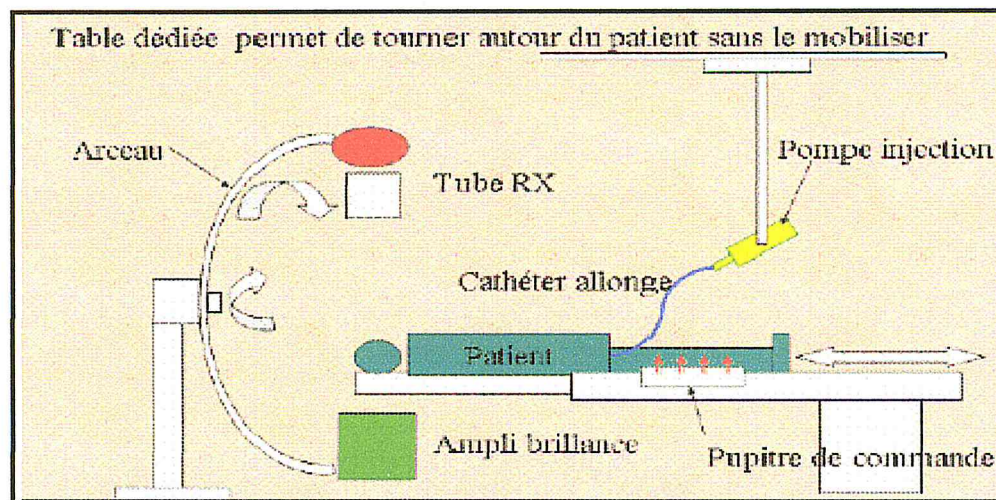


Figure II.7 : La représentation schématique d'une unité de radiologie interventionnelle à RX.

II.5. Le principe de la radiologie interventionnelle

II.5.1. Principe médicale

Le principe médical de la radiologie interventionnelle est de réaliser des interventions grâce à des procédures qualifiées de mini-invasives, sous contrôle radiologique. Le qualificatif mini-invasif s'oppose au caractère invasif des interventions chirurgicales.

La radiologie interventionnelle nécessite l'emploi d'un matériel d'imagerie radiologique adapté (radiologie conventionnelle, fluoroscopie, tomodensitométrie, imagerie par résonance magnétique...) ainsi que des équipements spécialisés, tels que des petits cathéters et fils-guides (voir *figure II.8*) qui sont acheminés à travers des vaisseaux sanguins ou des organes dans un but thérapeutique. Le diamètre de ces cathéters (tubes) n'excède pas quelques millimètres et des ballons de valvuloplastie, ou encore des dispositifs d'embolisation. ^[LIB08]

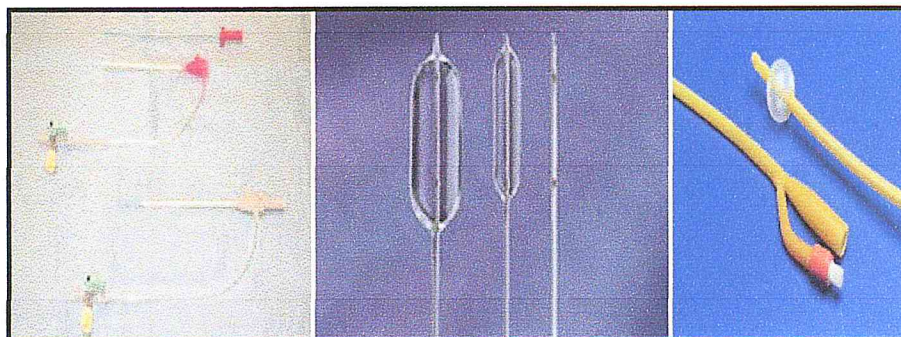


Figure II.8 : Les différents cathéters utilisés en radiologie interventionnelle.

II.5.2. Principe physique

La radiologie interventionnelle utilise une source émettrice des rayons X. Ces rayons sont alors dirigés vers la zone d'intérêt au niveau du patient. Ils se propagent en ligne droite et interagissent avec les matières selon différentes modalités : certains rayons sont absorbés par l'effet photoélectrique alors que d'autres sont diffusés par effet Compton. En effet, les rayons sont atténués différemment selon la densité de l'objet ou des tissus qu'ils traversent. Les rayons sont invisibles, il faut alors une étape supplémentaire pour obtenir une image analysable.

En effet, après avoir traversé le patient, les rayons vont impressionner un film composé de cristaux, des films numériques, avec une intensité inversement proportionnelle à l'atténuation qu'ils ont subi. L'image radiologique est ainsi obtenue, les différentes structures apparaissant, en fonction de leur radio-densité, entre blanc et noir en passant par tous les niveaux de gris. Ainsi, certains tissus seront visibles alors que d'autres seront invisibles à la radiographie. Par contre et pour aider l'opérateur dans l'identification des organes et tissus, l'utilisation de produits de contraste ou de matériels ayant une radio-densité élevée permet de les visualiser. [LIB08]

II.6. La problématique en radiologie interventionnelle

Le problème majeur en radiologie interventionnelle concerne la radioprotection du personnel médical par rapport à l'utilisation des rayonnements ionisant tel que les RX. Par ailleurs, les énergies des rayons X utilisées varient entre [20- 150 keV]. Cette gamme d'énergie est assez importante pour provoquer des dommages dans les tissus vivant.

D'une part, l'absence de formation à l'utilisation des rayons X et à la radioprotection, les performances plus limitées de l'appareillage conduisent à une augmentation du temps d'irradiation.

D'autre part, les structures chirurgicales sont fréquemment inadaptées à l'utilisation des rayons X : absence de paravents plombés. Par conséquent Cette pratique risque de représenter un danger non négligeable pour le malade et l'équipe chirurgicale.

II.6.1. Les risques radiologiques encourus par le patient

La radiologie interventionnelle n'est ce pendant pas sans risques pour le patient. Ils dépendent de l'état de santé du patient mais également des risques opératoires. En dehors des risques immédiats liés au caractère invasif du geste, le patient est confronté également à

d'autres risques comme le risque infectieux ou le risque lié à l'utilisation des rayonnements ionisants. [HAS14]

II.6.2. Les risques radiologiques encourus par le personnel médical

Les risques radiologiques encourus par le personnel médical travaillant en radiologie interventionnelle est à l'origine de l'exposition professionnelles. Cela est due à l'exposition externe complexe et hétérogène du corps entier, des extrémités et le thyroïde, le cristallin) relié directement aux rayonnements diffusés et au rayonnement primaire (*Figure II.9*). [INR11]

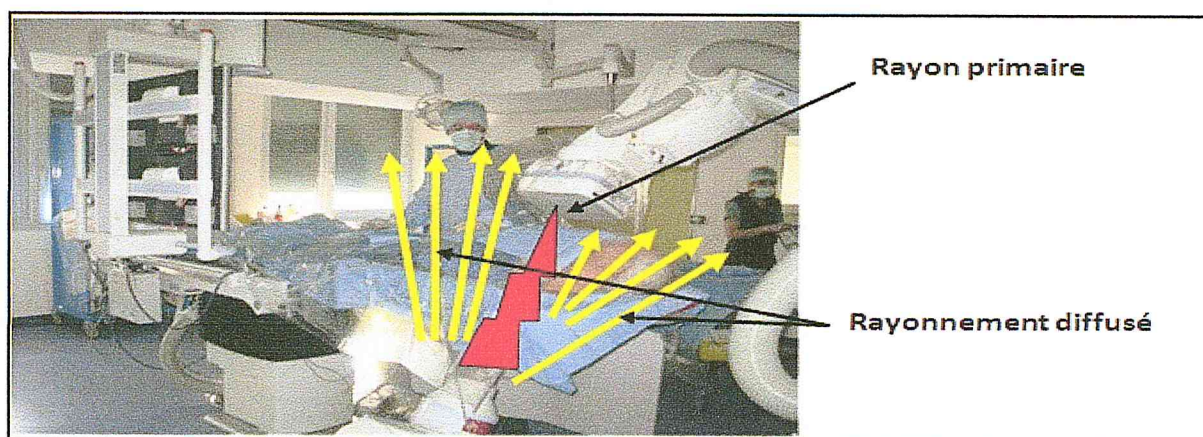


Figure II.9 : Les principales sources d'exposition du personnel dans une unité de radiologie interventionnelle.

II.7. Les effets biologiques des rayonnements ionisants en radiologie interventionnelle

Comme cela a été explicite dans les interactions rayonnements-matière «Chapitre I », les rayonnements ionisants perdent leur énergie par ionisation et excitation des atomes qui constituent les milieux traversés. Les effets biologiques observables au niveau d'un organisme résultent donc des lésions moléculaires induites par l'ionisation, qui entraîne la rupture des liaisons covalentes des molécules biologiques.

La publication 26 de l'ICRP classe les effets biologiques produits par les rayonnements ionisants en : [JIM07]

- Effets déterministes (non stochastiques).
- Effets stochastiques ou aléatoires.

II.7.1. Les effets déterministes

Les effets sont dits déterministes, autrement dit obligatoires, s'ils présentent les caractéristiques suivantes : [JIM07]

- ❖ L'existence d'un seuil d'exposition, qui est la valeur de dose au-dessus de laquelle des lésions ou pathologies seront observées chez tous les sujets, d'où le terme obligatoire.
- ❖ La gravité du dommage qui augmente avec la dose.
- ❖ L'apparition précoce (jours, mois).

II.7.2. Effets stochastiques

Les effets sont appelés stochastiques s'ils présentent les caractéristiques suivantes : [JIM07]

- ❖ ils n'apparaîtront que chez certains individus.
- ❖ leur probabilité d'apparition augmente avec la dose.
- ❖ leur gravité est indépendante de la dose.
- ❖ ils sont d'apparition tardive, environ 5 à 10 ans pour les leucémies, 20 à 50 ans pour la plupart des autres cancers et au moins une génération pour les effets génétiques.
- ❖ par précaution, la CIPR et les organismes de contrôle ne considèrent que la relation entre la fréquence d'apparition de ces effets et la dose est linéaire sans seuil.

II.8. Les principes de base de la radioprotection

La radioprotection a pour but la protection des travailleurs et de l'environnement contre les rayonnements ionisants.

La CIRP recommande un système de limitation de dose basé sur les principes suivants :

II.8.1. Justification des pratiques

Aucune pratique mettant en cause des radiations ionisantes ne doit être tolérée à moins que son usage ne produise un bénéfice net. [CNR07]

II.8.2. Limitation

Même si une pratique est justifiée et optimisée, les doses reçues par un individu ne doivent pas dépasser les limites recommandées par la réglementation et ce, afin qu'aucune personne (travailleur, public et patient) ne soit soumise à des risques inacceptables. [CNR07]

II.8.3. Optimisation (principe ALARA)

Toutes les expositions doivent être maintenues à un niveau aussi bas qu'il est raisonnablement possible ^[ROP05]. Ce principe est basé sur le principe ALARA « As Low As Reasonably Achievable ».

II.9. Les paramètres techniques intervenant sur l'exposition des opérateurs en radiologie interventionnelle

Il existe principalement trois manières de se protéger contre une irradiation externe ou du moins réduire leur effet en radiologie interventionnelle et ce, en respectant les trois facteurs suivant :

II.9.1. Temps

La dose absorbée est proportionnelle au temps. Il suffit donc de limiter au maximum la durée de l'exposition (relation II.1). De ce fait, la gestion du temps en radioprotection particulièrement en radiologie interventionnelle est basée sur la rapidité des gestes des opérateurs en éliminant les gestes inutiles, la préparation soigneuse du travail à effectuer, réunir tout le matériel nécessaire à la manipulation, utilisation des matériels adaptés et performants. ^[SCP07]

$$\dot{D} = \frac{D}{t} \quad (\text{II.1})$$

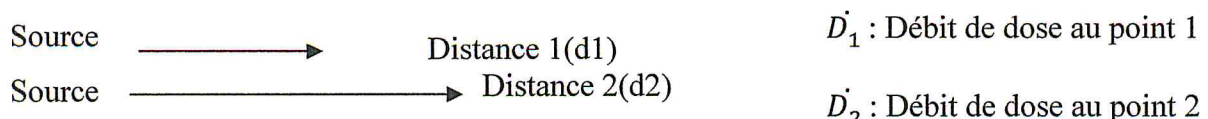
\dot{D} : débit de dose absorbé en Gy/h.

D : dose absorbée en Gy.

t : durée d'exposition en h.

II.9.2. Distance

La distance est un moyen de protection efficace en cas d'utilisation de rayonnements présentant un risque en exposition externe tel que les rayonnements électromagnétiques de type γ et X en particulier. De ce fait, le débit de dose diminue avec l'inverse au carré de la distance à la source ($D \sim 1/d^2$) (*Figure II.10*). En pratique la relation (II.2) nous permet de déterminer la distance adéquate pour une meilleure protection des rayonnements ionisant. ^[SCP07]



Nous avons l'égalité :

$$D_1 \cdot d_1^2 = D_2 \cdot d_2^2 \quad (\text{II.2})$$

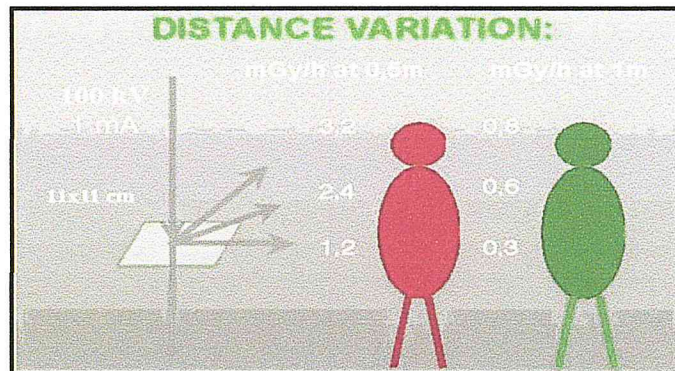


Figure II.10 : La réduction du débit de dose avec la distance en radiologie interventionnelle.

En radiologie interventionnelle la meilleure façon d'utilisation de la distance pour se protéger est de ce tenir toujours aussi éloigné que possible de celle-ci par rapport à la zone explorée et/ou les voies d'interventions (radial, fémorale) ainsi que l'orientation et la distance du tube RX par rapport au patient. Par conséquent, ce paramètre a fait l'objet d'une mesure dans le chapitre IV.

II.9.3.Ecran

Le rayonnement est absorbé par l'interposition d'un écran empêchant le passage des rayonnements. Le type de ces écrans et son épaisseur varient avec le type du rayonnement et de leur énergie. Le phénomène d'atténuation suit une loi de décroissance exponentielle en fonction de l'épaisseur traversée. On s'intéresse à l'utilisation des écrans en radioprotection pour la conception et l'utilisation des équipements de protection individuel tel que : le tablier plomber, Jupe plombée, Paravent plafonnier, Rideau plombé d'épaisseur adéquate et les équipements de protection collectives comme les paravents de protection qui contribuent à diminuer la dose reçue par les parties du corps non-protégées par le tablier et le cache-thyroïde. [CNR07, SCP07]

En radiologie interventionnelle la dose d'exposition du personnel médical, est influencée par d'autres paramètres tels que la tension et l'énergie du tube utilisé illustré sur la (figure II.11).

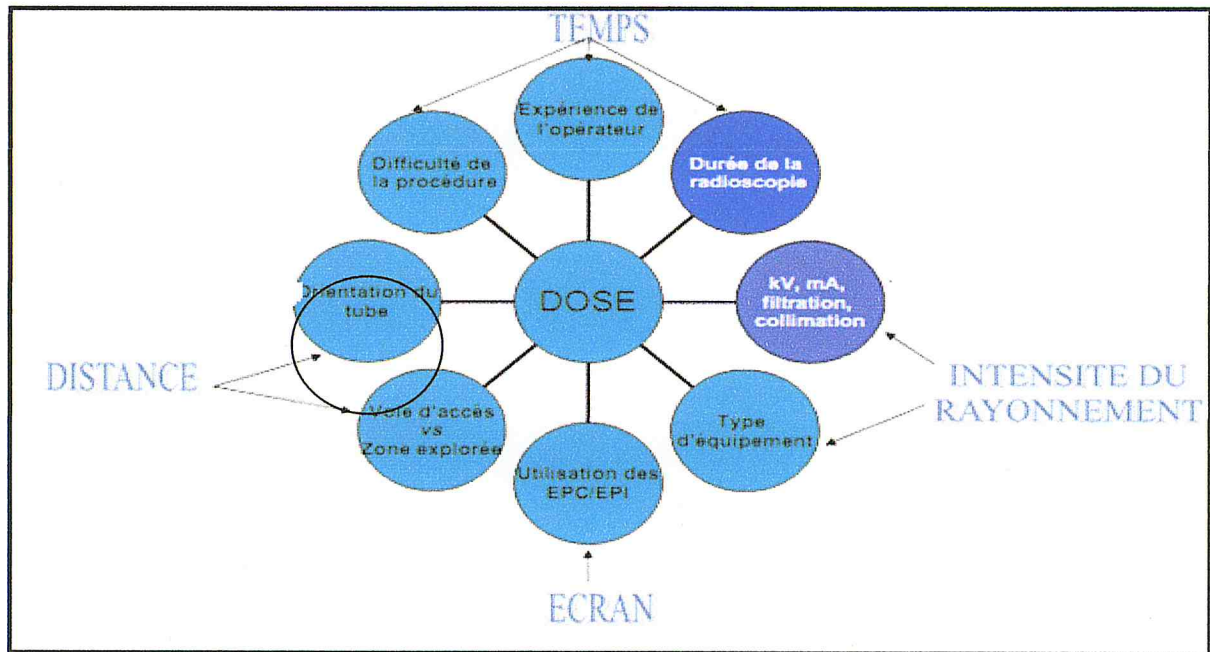


Figure II.11: Les paramètres d'influence sur la dose des patients en radiologie interventionnelle.

II.10.L'organisation d'un service en radiologie interventionnelle de point de vue radioprotection et la répartition des responsabilités

Dans un service radiologie interventionnelle, le personnel est réparti selon les tâches et les grades. Par contre la répartition de la responsabilité en radioprotection repose sur tous les membres du service : de l'employeur jusqu'à la personne exécutant les actes. [GTR10]

a. L'employeur

L'organisme employeur en radiologie interventionnelle est dans l'obligation de se conformer aux exigences réglementaires et le respect des dispositions du code du travail relatives à la radioprotection des travailleurs, en informant et en formant le personnel travailleur du risque radiologique lié à l'utilisation de rayonnement ionisant. L'employeur est tenu d'informer le personnel de sexe féminin des risques d'exposition du fœtus en cas de grossesse. [GTR10]

b. Le chef de service

Le chef de service en particulier en radiologie interventionnelle doit être qualifié et compétent en radioprotection. Le rôle du chef de service dans la protection des travailleurs exposés peut se résumer à : [GTR10]

- L'Organisation fonctionnelle de la radioprotection en mettant à la disposition de la personne chargée de la radioprotection les moyens nécessaires à l'exercice de sa tâche .
- L'identification et estimation des risques en procédant à une analyse périodique des postes de travail et mettre à jour toute modification des conditions de travail ;
- La gestion des risques par la classification des zones de travail ainsi que celles des travailleurs du service et ce, en concertation avec la personne chargée de radioprotection et le médecin du travail.

c. Le médecin du travail

Dans un service de radiologie interventionnelle le personnel est en état d'exposition professionnelle au rayonnement ionisant émis par les équipements émetteurs de rayonnements ionisants utilisées durant leurs travaille. Dans un tel secteur, un médecin de travail est d'une grande utilité, à travers la surveillance et le suivi régulier des travailleurs et ce, afin d'éviter les maladies professionnelles. ^[GTR10]

A cet effet, le médecin de travail doit :

1. Assurer le suivi médical tout au long de la carrière professionnelle.
2. Faire examiner régulièrement toutes les personnes susceptibles de recevoir une dose supérieure au trois dixième (3/10) de la limite annuelle soit 6mSv/mois.
3. S'assurer que toute personne prévue pour un recrutement au sein d'un service de radiologie interventionnelle ne présente aucune anomalie contre-indiquée.
4. Prendre les décisions nécessaires en cas d'une surexposition d'une personne dans un poste de travail, pour l'éloigner de son poste pour un certain temps.
5. Etre au courant de l'ensemble des obligations et responsabilités qui sont imposées en matière de radioprotection.

d. Médecins radiologue

L'activité en radiologie interventionnelle a pris aujourd'hui une place essentielle au sein des services d'imagerie médicale. Les patients sont adressés aux médecins radiologues pour leur proposer, par différentes techniques, une réponse thérapeutique, un traitement à leur pathologie et ce, pour la réalisation de ces actes au sein d'une équipe pluridisciplinaire. ^[GTR10]

e. Personnel du service de radiologie interventionnelle**➤ Le manipulateur en radiologie interventionnelle**

Le manipulateur est un paramédical très impliqué. Son rôle de soignant va lui permettre de prendre en charge le patient dès son arrivée dans le service. Il va participer à son installation afin que l'examen puisse se dérouler dans les meilleures conditions de confort et de sécurité. Sa contribution active au déroulement des examens par une connaissance précise des procédures, des dispositifs médicaux utilisés et de leur rangement, font du manipulateur un aide-opérateur indispensable. Il va pouvoir rassurer les patients, être à leur écoute, leur demander de coopérer au cours de l'examen. Il est capable d'anticiper les demandes des médecins radiologues. [GTR10]

Ses compétences techniques vont lui permettre d'optimiser la qualité des examens, des images rendues dans le respect des règles de radioprotection dont il est l'acteur principal. Grâce à sa connaissance des pathologies et à sa maîtrise des techniques radiologiques ainsi que à son souci de rechercher de la meilleure incidence possible. Les examens seront réalisés avec une rapidité, une bonne qualité et une grande efficacité.

➤ Le personnel paramédical

Les infirmières, les personnels d'accueil, les assistantes ou les brancardiers ne sont pas habilités à réaliser l'acquisition ou le traitement d'images en radiologie interventionnelle. Dans le cas où ils sont néanmoins susceptibles d'être exposés à un risque dû aux rayonnements ionisants, ils sont concernés par les dispositions du code du travail relatives à la radioprotection des travailleurs. [GTR10]

f. Personne spécialisée en radiophysique médicale (PSRPM)

L'utilisation d'installations radiologiques nécessite de faire appel à une personne spécialisée en radiophysique médicale (PSRPM) à des fins notamment de dosimétrie, d'optimisation, d'assurance de qualité et de radioprotection des patients ainsi que celle du personnel. A ce titre, conformément au responsabilité et aux tâches du radiophysicien médicale que doit être établie par le chef d'établissement, la personne spécialisée en radiophysique médicale (PSRPM) procède à l'estimation des doses reçues par les patients au cours des procédures diagnostiques réalisées selon les protocoles élaborés dans la réglementation.

Dans le cas où la mission de la personne spécialisée en radiophysique médicale PSRPM est assurée par une personne ou un organisme extérieur à l'établissement, une convention doit

être établie pour fixer les obligations de chaque partie. Cette externalisation n'est possible que dans le respect des dispositions réglementaires et sous réserve que la PSRPM puisse justifier de la disponibilité nécessaire. ^[GTR10]

g. Personne Compétente en Radioprotection (PCR)

La personne compétente en radioprotection (PCR) assure, sous la responsabilité de l'employeur et le chef de service, les différentes missions : ^[GTR10]

- La participation à l'élaboration du dossier de déclaration/autorisation prévu par le code de la santé publique;
- L'évaluation de la nature et de l'ampleur des risques auxquels sont confrontés les travailleurs.
- L'organisation de la radioprotection (participation aux analyses de postes de travail),
- La définition des objectifs de dose,
- La délimitation des zones réglementées,
- La vérification de la pertinence des mesures de protection mises en œuvre...);
- La réalisation des contrôles de radioprotection internes et suivi de la réalisation des contrôles de radioprotection externes par un organisme agréé ;
- La Surveillance de la radioprotection des travailleurs par la mise en place et le suivi d'une dosimétrie adaptée à l'exposition des travailleurs ;
- L'participation à la définition et à la mise en œuvre de la formation à la sécurité des travailleurs pour ce qui concerne leur radioprotection ;
- La gestion, s'il y a lieu, des dépassements des valeurs limites d'exposition des travailleurs pour :
 - Faire cesser les causes de dépassement ;
 - Faire procéder à l'évaluation des doses équivalentes reçues par les travailleurs.
 - Procéder à l'étude des circonstances du dépassement.
 - Faire procéder aux nouveaux contrôles de radioprotection externes.

Enfin, le personnel de cette unité de radiologie interventionnelle se compose aussi de : L'anesthésiste ; des infirmières instrumentistes ainsi que des aides-soignants. L'ensemble de ce personnel peut pénétrer dans le Bloc de Radiologie Interventionnelle (BRI) ce qui nécessite leurs formations en radioprotection. ^[GTR10]

II.11. La classification des travailleurs en radiologie interventionnelle

Le classement des travailleurs est basé sur une étude de poste incluant l'exposition du corps entier du cristallin et des extrémités, à des fins de radioprotection. En radiologie interventionnelle, les travailleurs peuvent être exposés à des rayons X de l'équipement de radiographie ou radioscopie durant leurs fonctions. Ce classement des travailleurs est défini par la personne compétente en radioprotection et le chef de service en collaboration avec le médecin du travail.

a. Les travailleurs de catégorie « A »

Les travailleurs de la catégorie « A » sont ceux qui pourraient dépasser les trois dixièmes (3/10) de la limite de dose annuelle dans les conditions normales de travail comme l'indique l'article 19 du décret 05-117 ^[DEC05]. Cette catégorie de travailleurs susceptibles de recevoir une dose annuelle supérieure à 6 mSv/année en irradiation globale, doit être soumise à une surveillance médicale spéciale ^[ICR90]. Toutes femmes en ceintes ne peuvent pas être affectées à des postes impliquent un classement catégorie A et elle doit informer son chef de service et le médecin de travail.

b. Les travailleurs de catégorie « B »

En ce qui concerne les travailleurs exposé aux rayonnements ionisant qui ne relèvent pas de la catégorie A, ils sont classé en catégorie B. s'ils sont soumis dans le cadre de leur activité professionnelle à une exposition à des rayonnements ionisants susceptible d'entraîner des doses supérieures aux valeurs limites pour les personnes du public.

Les analyses des postes de travail, visant à apprécier le niveau d'exposition des travailleurs, fournissent les éléments nécessaires pour le classement des travailleurs et le lancement du processus d'optimisation des expositions individuelles et collectives. Le *tableau II.1* illustre le classement du personnel en radiologie interventionnelle. ^[DEC05]

<i>Personnel concerné</i>	<i>Classement proposé</i>
<i>Médecin, anesthésiste, chirurgien, interne</i>	<i>Catégorie A ou B en fonction des conditions de travail</i>
<i>Personnel infirmier, aide soignant</i>	<i>Catégorie B</i>
<i>Manipulateur en électroradiologie médicale (MERM)</i>	<i>Catégorie B (en conditions habituelles de travail, présence à distance du patient)</i>
<i>Personne spécialisée en radio physique médicale (PSRPM)</i>	<i>Catégorie B</i>
<i>Personnel de maintenance des appareils</i>	<i>Catégorie A ou B</i>
<i>Stagiaire (MERM, infirmier ...)</i>	<i>Catégorie B</i>

Tableau II.1 : Le classement de travailleurs en radiologie interventionnelle.

II.12. La classification des zones de travail en radiologie interventionnelle

En application de la législation en vigueur, un découpage en zone de travail doit être effectué dans les locaux présentant des risques de rayonnement ionisants du degré d'importance du risque. De ce fait, on définit les zones de travail en radiologie interventionnelle comme suit :

a. La zone surveillée

La zone dans laquelle les travailleurs sont susceptibles de recevoir des équivalents de doses supérieures à 1/10 des limites annuelles des équivalents de dose fixées pour la catégorie A. Un contrôle d'ambiance des niveaux d'irradiation doit être effectué régulièrement (au moins tous les six mois) à l'intérieur de cette zone et ce, afin d'avoir la certitude que les normes applicables ne sont pas dépassées. Le suivi des travailleurs ne requiert pas des procédures particulières. La dosimétrie individuelle n'est pas nécessaire pour les besoins de la radioprotection. [DEC05]

b. La zone contrôlée

La zone dans laquelle les travailleurs soumis aux travaux sous rayonnements ionisants de façon permanente et régulière sont susceptibles de recevoir des équivalents de dose supérieure aux 3/10 des limites annuelles des équivalents de dose fixées pour la catégorie A. En pratique, cette zone englobe la salle d'intervention ou le bloc opératoire.

L'accès à cette zone contrôlée est réglementé. La surveillance de l'ambiance dans ces zones ne suffit pas à évaluer les doses individuelles, la dosimétrie individuelle est

obligatoire (exposition externe). Le suivi des travailleurs doit être rigoureux. Ces zones de travail doivent être correctement balisées par des panneaux de signalisation. En radioprotection la zone contrôlée est découpée en zone dite verte et zone spécialement règlementées ou interdites dénommées jaune, orange et rouge. [DEC05]

II.13. Les équipements de protection

En radioprotection, il est important que la dose soit la plus faible possible. Les blocs d'intervention en radiologie interventionnelle doivent comporter divers équipements de protection à savoir : les équipements de protection individuelle et collective qui peuvent réduire les niveaux d'exposition du personnel praticien. [DEC05]

a. Les équipements de protection individuelle

Les personnes exposées aux rayonnements ionisants en radiologie interventionnelle peuvent se protéger par des moyens de protection individuel tel que des tabliers plombés adaptés à la taille du travailleur et à son activité, des caches thyroïdes ainsi que des lunettes plombées (*Figure II.12*). [DEC05]

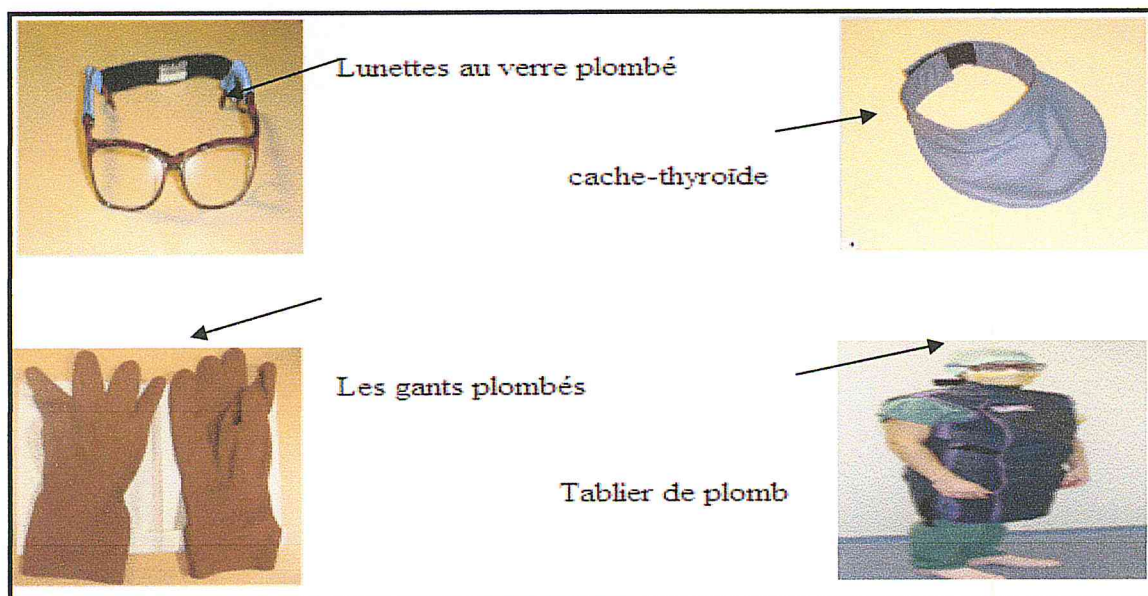


Figure II.12: Les équipements de protection individuelle en radiologie interventionnelle.

b. Les équipements de protection collective

Les praticiens exposés en radiologie interventionnelle sont également équipés de matériel de protection collective qui sont illustrés dans la *(figure II.13)*, tel que les barrières mobiles, des rideaux plombés et des installations mobiles, des Paravents plafonniers, des rideaux plombés, bas volets qui vont contribuer à diminuer la dose reçue par les parties du corps non-protégées par le tablier et le cache-thyroïde et les lunettes plombées. [DEC05]

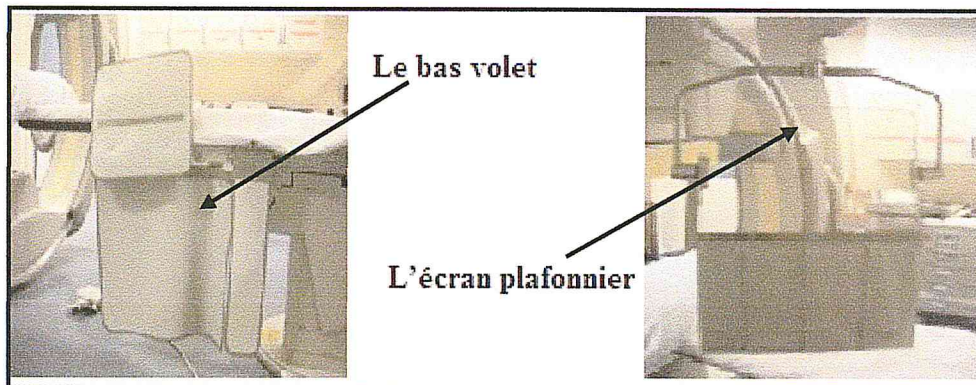


Figure II.13: Les équipements de protection collective en radiologie interventionnelle.

Chapitre III
Matériels et Méthodes

III .1. Introduction

Notre travail a pour but de mieux connaître la répartition des rayonnements diffusés au voisinage des opérateurs en radiologie interventionnelle. De ce fait, il sera possible d'améliorer les pratiques en modifiant la position des opérateurs dans les zones où le débit de dose est très important et ce afin de mieux se protéger des rayonnements diffusés.

La quantification des rayonnements diffusés est basée sur la mesure de débit d'équivalent de dose d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ en utilisant des moyens expérimentaux disponibles au niveau de Laboratoire Secondaire d'étalon en Dosimétrie du Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) à savoir : un tube RX, un fantôme plaque en PMMA ($30 \times 30 \times 1 \text{cm}^3$), et un radiamètre étalonné en terme de grandeurs opérationnelle $\dot{H}^*(10)$.

III.2. Matériels expérimentaux utilisés

III.2.1. Tube à RX

Dans notre travail, l'ensemble des irradiations ont été faite en utilisant un tube RX industriel de marque PHILIPS disponible au niveau du Laboratoire Secondaire d'Etalonnage en Dosimétrie (LSED) au CRNA avec la qualité N-150 ($E_{moy} = 118 \text{keV}$; $T = 150 \text{kV}$) du spectre étroit [ISO99a] qui représente la position 6 sur la roue ISO. Les caractéristiques de ce tube RX sont les suivantes:

- ❖ Tube radiogène modèle MG320 de marque PHILIPS.
- ❖ Tension nominale réglable de 10kV à 320kV.
- ❖ Courant débité réglable de 0.1mA à 15mA.
- ❖ Filtration inhérente initiale donnée par le constructeur : 2mm Be.
- ❖ Filtrations additionnelles ainsi que les filtres atténuateurs pour la caractérisation des faisceaux RX utilisés pour les différentes qualités sont illustrent dans le *tableau III.1* ci-dessous.

La qualité et Tension (kV)		Position (Roue SO-4037)	Filtration additionnelle				CDA (mm)	
			Al	Cu	Sn	Pb	Al	Cu
			(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
N-40	40	01	3.8	0.213			2.69	
N-60	60	02	3.8	0.616				0.23
N-80	80	03	3.8	1.98				0.57
N-100	100	04	3.8	5.0				1.12
N-120	120	05	3.8	4.964	1.016			1.75
N-150	150	06	3.8		2.621			2.60
N-200	200	07	3.8	1.98	3.219	1.065		4.5
N-250	250	08	3.8		2.142	1.545		5.31

Tableau III.1 : Les caractéristiques des qualités RX utilisé développées au LSED.

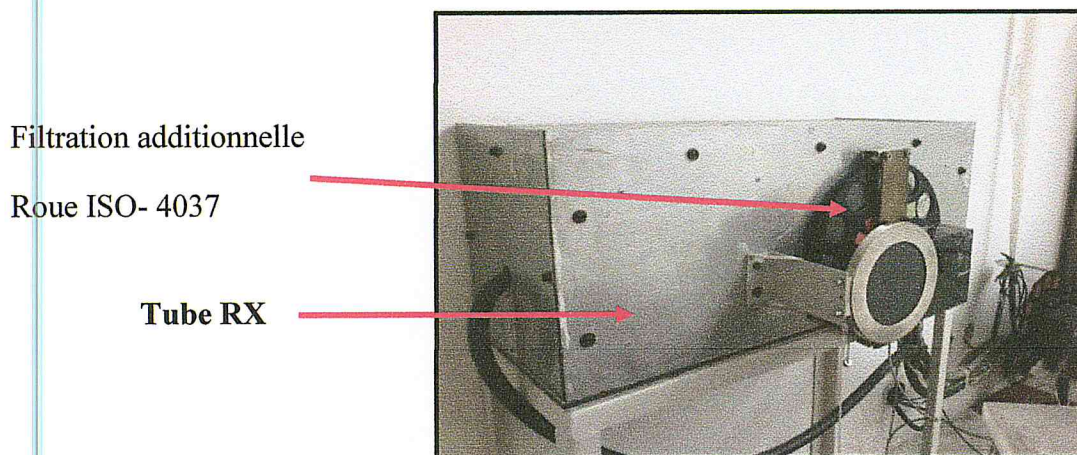


Figure III.1 : Le tube radiogène utilisé pour les irradiations par la qualité N-150 de spectre étroit des RX [ISOa].

Les caractéristiques de la qualité N-150 utilisée dans nos mesures sont résumées dans le **tableau III.2** ci-dessous:

La qualité	Tension	Le courant	Débit de dose	Distance	Taille de
N-150	(kV)	(mA)	($\mu\text{Gy}/\text{min}$)	(m)	champ (cm)
$E_{\text{moyenne}} = 118\text{keV}$	150	5.15	27.4592	2	20x20
	150	5.23	7.56595	4	
	$150.02 \pm 10\%^{**}$	$5,25 \pm 1\%^{**}$	109.8268^*	1	10x10
	$150.04 \pm 10\%^{**}$	$5.24 \pm 1\%^{**}$	$305,0555^*$	0.6	6x6
	$150 \pm 11\%^{**}$	$5.23 \pm 1\%^{**}$	171.6043^*	0.8	8x8

* : Le débit de dose a été calculé par la loi d'inverse carré de la distance.

** : Le courant et la tension sont calculés par la loi de student.

Tableau III.2 : Les caractéristiques dosimétriques de la qualité N-150.

III.2.2. Un Fantôme (PMMA)

Le fantôme est un objet spécifié utilisé pour simuler la diffusion et l'absorption des rayonnements dans le corps humain ou des parties du corps humain.

Ainsi, dans notre travail en a utilisé un fantôme plaques en PMMA de dimension $(30 \times 30 \times 1\text{cm}^3)$ d'épaisseur de 1cm chacune avec une densité $1,19\text{ g/cm}^3$ qui est illustrée sur la *figure III.2*.

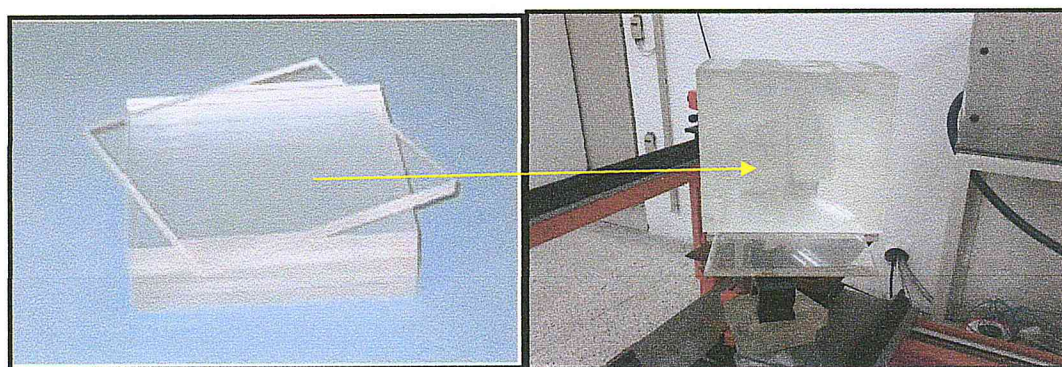


Figure III.2 : Le fantôme plaques en PMMA équivalent patient.

III.2.3. Un Radiamètre

Dans notre travail nous avons utilisé un radiamètre, de type compteur proportionnel FH40 (*Figure III.3*), il nous a permis de mesurer le débit d'équivalent de dose d'ambiance

$\dot{H}^*(10)$. Son amplification permet de descendre significativement jusqu'au niveau de l'irradiation naturelle : de 10 nSv.h⁻¹ à 10 mSv.h⁻¹.



Figure III.3 : Le radiamètre de type FH40 utilisé pour la mesure de $\dot{H}^(10)$.*

III.3.La Méthodologie de mesure

III.3.1.L'incidence normale

La quantification de l'impacte des rayonnements ionisants sur les opérateurs en radiologie interventionnelle se base sur la mesure des rayonnements diffusés. Notre travail consiste l'étude de l'effet des trois paramètres suivants :

- 1) L'épaisseur du patient (fantôme).
- 2) La distance patient-opérateur (fantôme-radiamètre).
- 3) La distance tube rayon X-patient (tube RX-fantôme).

Le débit d'équivalent de dose d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ a été mesuré en faisant varier l'épaisseur du patient de 10 au 23 cm ainsi que la distance entre le tube RX-fantôme de 60 à 80cm et celle entre le fantôme et le radiamètre de 50,80, 100 cm qui représente l'opérateur en radiologie interventionnelle (*Tableau III.3*).

Ces mesures sont réalisées pour une incidence normale c'est-à-dire que le tube RX irradié perpendiculairement sur le patient et que le radiamètre est positionné normalement au patient telle qu'il est illustré sur la *figure III.4* ci- dessous. Aussi, il y a lieu de signaler qu'une rotation d'un angle de 90° est nécessaire pour notre montage en laboratoire pour simuler des cas cliniques en radiologie interventionnelle.

Dans notre travail, on a utilisé une tension du tube radiogène de 150kV avec une énergie moyenne de 118keV qui correspond à la qualité N-150 de spectre étroit des RX (voir le *tableau III.1*). Le choix de cette tension (kV) et de l'énergie (keV) est basé sur l'utilisation clinique en radiologie et cardiologie interventionnelle respectivement pour la tension et l'énergie qui est de 60kV-150kV et de 20keV-150keV [Bor11].

Distance tube RX-Fantôme	Distance Fantôme-Radiamètre	Epaisseur
60 cm	50 cm	10 cm
80 cm	80 cm	18 cm
	100 cm	23 cm

Tableau III.3 : Les paramètres utilisés pour les mesures en incidence normale.

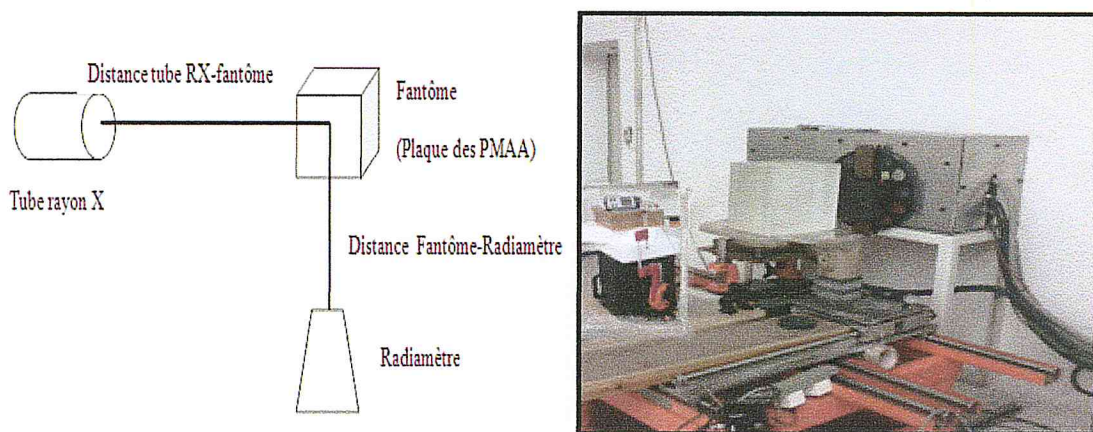


Figure III.4 : Le dispositif de mesure pour l'incidence normale.

III.3.1.L'incidence angulaire

L'objectif de l'incidence angulaire est d'étudier l'impact d'angulation du tube RX sur le rayonnement diffusé par rapport aux positions des opérateurs et aux procédures clinique en radiologie interventionnelle. Dans cette partie de notre travail, on a choisi l'épaisseur du patient de 23cm pour laquelle on a enregistré un débit d'équivalent de dose d'ambiance important à la distance RX-fantôme de 60cm et la distance fantôme-radiamètre de 50cm qui est la plus irradiante pour les opérateurs.

Le débit d'équivalent de dose d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ va être mesuré en faisant varier la distance entre le tube RX - le fantôme de 60 à 80cm et en variant en même temps les angles de 0° à 30° puis à 45° comme il est illustré dans le *tableau III.4* ci-dessous.

Les mesures sont réalisées avec le même dispositif utilisé dans l'incidence normale (voir la *figure III.5*). La chronologie des variations est résumée dans le *tableau III.4* ci-

Distance tube RX-Fantôme	Distance Fantôme-Radiamètre	Epaisseur du fantôme	Les angles
60 cm	50cm	23cm	30°
80 cm			45°

dessous.

Tableau III.4 : Les paramètres utilisés pour les mesures en incidence angulaire.

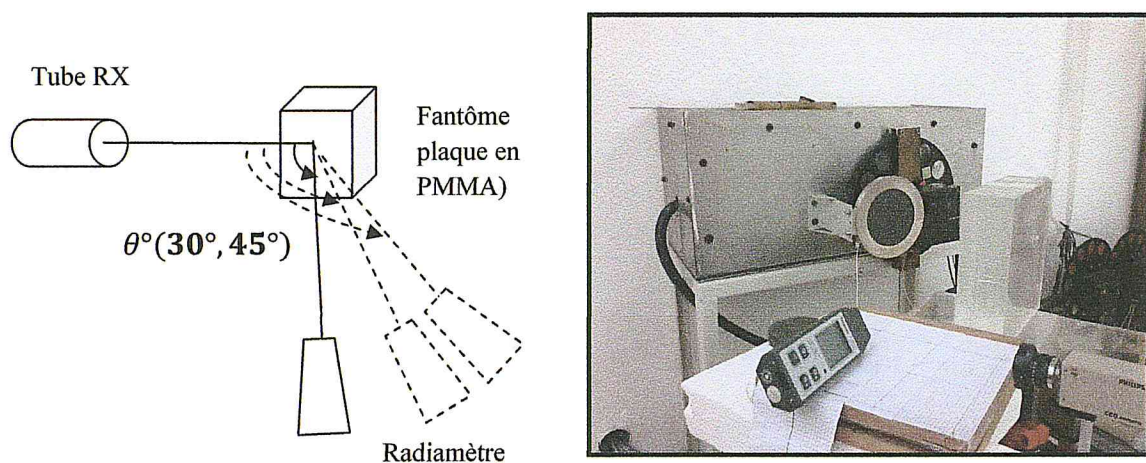


Figure III.5 : Le dispositif de mesure pour l'incidence angulaire.

Chapitre IV
Résultats et Discussion

IV. Résultats et discussions

Les résultats de mesure des rayonnements diffusés pour l'incidence normale a été réalisé, en positionnant le fantôme plaques en PMMA équivalent patient à une distance de 60 cm puis 80cm en face du tube RX pour la qualité N-150 ($T=150\text{Kv}$, $E_{\text{moy}}=118\text{keV}$). Quant au radiamètre, il est positionné perpendiculairement au fantôme à une distance de 50cm, puis de 80cm et enfin de 100cm selon le dispositif de mesure illustré sur la *Figure IV.1*.

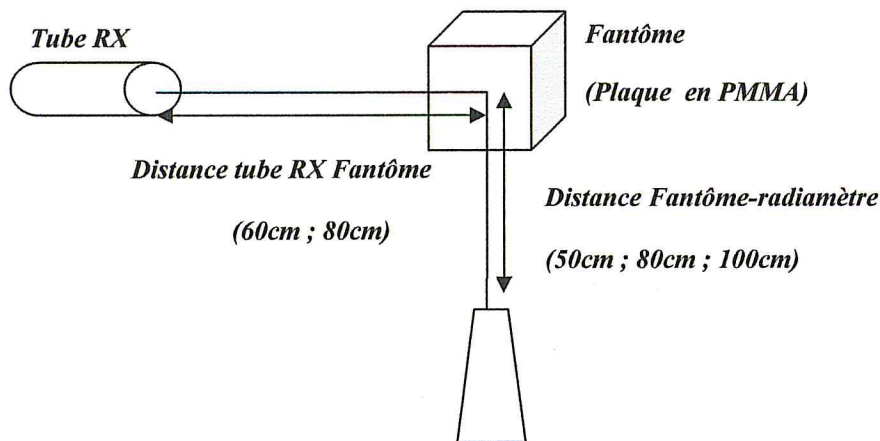


Figure IV.1 : Le dispositif de mesure et les distances choisies pour l'incidence normale.

IV.1. L'effet de la distance sur le rayonnement diffusé en radiologie interventionnelle

IV.1.1. L'incidence normale

a. L'effet de la distance entre le patient et l'opérateur sur le rayonnement diffusé en radiologie interventionnelle

Dans le but d'étudier l'impact de la distance entre le patient et l'opérateur sur le rayonnement diffusé, des débits d'équivalents de doses d'ambiance ont été mesurés d'une part pour les distances fantôme - radiamètre 50, 80 et 100 cm (voir la *figure IV.1*) en fixant la distance entre le tube RX et le fantôme à 60 cm puis à 80cm d'autre part et ce, pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme 10, 18, 23 cm choisies.

1^{er} mesure : Dans cette 1^{er} mesure on a fixé la distance entre le tube RX et le fantôme à 60cm et on varie les distances entre le fantôme- radiamètre de 50cm puis à 80cm et enfin à 100cm et ce, pour l'ensemble des épaisseurs (10,18 et 23cm). Voir le dispositif de mesure illustré dans *la figure IV.1*. Après des débits d'équivalents de doses d'ambiances ont été mesuré par la

suite dont Les résultats de ces mesures de \dot{H}^* (10) sont résumés dans le *tableau IV.1* ci-dessous.

Distance entre le tube RX- fantôme de 60cm		
Epaisseur du fantôme (c)	Distance fantôme-radiamètre (cm)	($\dot{H}^*(10) - BF$)* (μ Sv/h)
10	50	577,40 \pm 3%
	80	295,34 \pm 4%
	100	188,32 \pm 3%
18	50	682,64 \pm 3%
	80	380,07 \pm 3%
	100	234,41 \pm 4%
23	50	739,19 \pm 3%
	80	403,89 \pm 5%
	100	246,82 \pm 8%

* : Les valeurs moyennes de 10 mesures avec soustraction du bruit de fond.

Tableau IV.1 : Le résumé des résultats de l'effet de la distance entre fantôme-radiamètre pour une distance RX-fantôme de 60cm sur le rayonnement diffusé de l'incidence normale et ce, pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme.

La représentation graphique des résultats de cette 1^{ère} mesure sont illustrés sur l'histogramme de *la figure IV.2* ci-dessous.

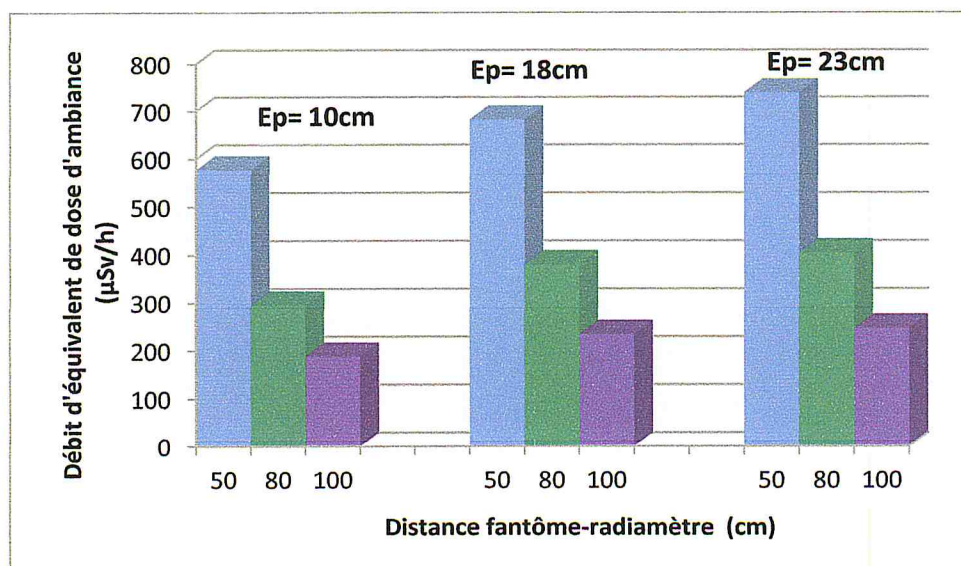


Figure IV.2 : Débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction de la distance fantôme -radiamètre avec la distance tube RX-fantôme de 60cm pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme.

On remarque sur cet histogramme (*figures IV.2*) que le débit d'équivalent de dose d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ enregistré pour la distance fantôme-radiamètre de 50cm est pratiquement le double par rapport à celui mesuré pour la distance de 80 cm. De même pour la distance 80cm par rapport à 100cm. De ce fait, une décroissance du débit d'équivalent de dose d'ambiance est observée sur cet histogramme avec l'augmentation de la distance entre le fantôme et le radiamètre et ce pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme. On constate aussi que le débit d'équivalent de dose d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ le plus élevé a été enregistré pour la distance entre le fantôme et le radiamètre de 50cm pour l'épaisseur 23cm qui est d'ordre de 739,19 μ Sv/h et que le débit d'équivalent de dose d'ambiance le plus faible a été mesuré pour la distance fantôme-radiamètre de 100cm et l'épaisseur du fantôme 10cm d'ordre 188,32 μ Sv/h.

2^{em} mesure : Dans cette deuxième mesure on a refait les mêmes étapes de mesure que celle de la 1^{er} mesure mais on a changé la distance entre le tube RX –Fantôme à 80cm. Le résumé des débits d'équivalent de doses d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ qui ont été mesurés sont résumés dans le *tableau IV.2* ci-dessous et représentés par l'histogramme de la *figure IV.3*.

Distance tube RX fantôme =80cm		
Epaisseur du fantôme (cm)	Distance fantôme-radiamètre (cm)	($\dot{H}^*(10)$ - BF)* (μ Sv/h)
10	50	414,53 \pm 3%
	80	202,72 \pm 3%
	100	151,94 \pm 3%
18	50	480,73 \pm 3%
	80	235,99 \pm 3%
	100	189,59 \pm 3%
23	50	499,99 \pm 3%
	80	256,95 \pm 3%
	100	191,15 \pm 3%

* : Les valeurs moyennes de 10 mesures avec soustraction du bruit de fond.

Tableau IV.2 : Le résumé des résultats de l'effet de la distance entre fantôme-radiamètre pour une distance RX-fantôme de 80cm sur le rayonnement diffusé de l'incidence normale et ce, pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme.

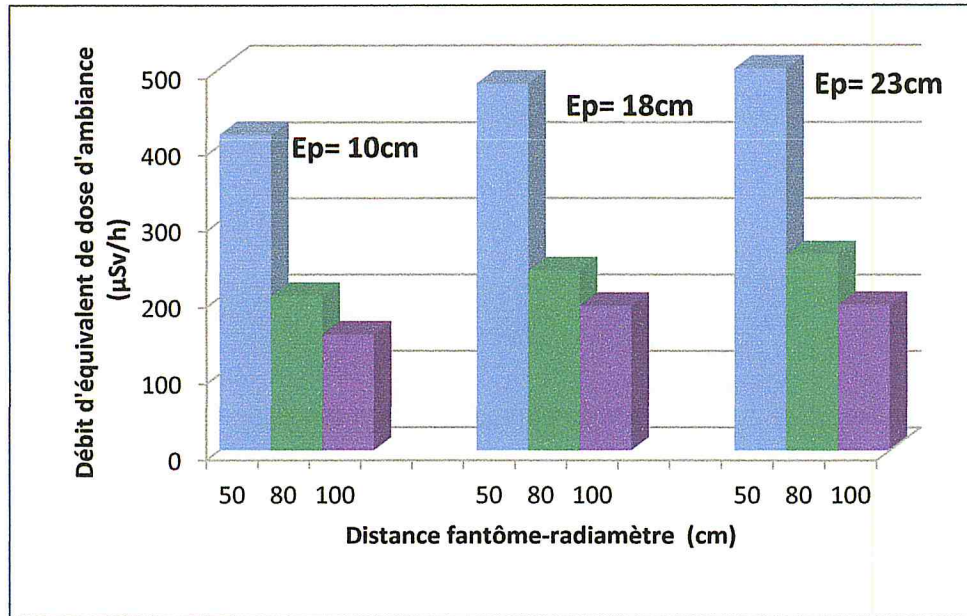


Figure IV.3 : Débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction de la distance fantôme - radiamètre avec la distance tube RX-fantôme de 80cm pour l'ensemble des épaisseurs du

D'après les résultats du *tableau IV.2* et l'histogramme de la *figures IV.3*, on remarque toujours que le débit d'équivalent de dose d'ambiance en décroissance avec la croissance de la distance entre le fantôme et le radiamètre et ce, pour l'ensemble des épaisseurs. De ce fait, on peut déduire que la position du chirurgien en radiologie interventionnelle est généralement située à 50cm du patient est la plus irradiante ce qui pose problème de radioprotection par rapport au rayonnement diffusé.

b. L'effet de la distance entre le Tube rayon X - Fantôme sur le rayonnement diffusé

Dans le but d'étudier l'effet de la distance entre le tube RX et le patient sur le rayonnement diffusé en radiologie interventionnelle, des débits d'équivalents de doses d'ambiances ont été mesurés pour les distances entre le tube RX et le fantôme de 60 et 80cm et ce, pour la distance 50cm entre le fantôme et radiamètre pour l'ensemble des épaisseurs (10,18 et 23cm). Le résumé des résultats de cette étude sont illustrés dans le *tableau IV.3* et représenté par l'histogramme de la figure ci-dessous.

Distance entre le fantôme et radiamètre de 50cm		
Distance RX-fantôme (cm)	Epaisseur de fantôme (cm)	($\dot{H}^*(10) - BF$)* (μ Sv/h)
60	10	577,40 \pm 3%
	18	682.64 \pm 3%
	23	739,19 \pm 3%
80	10	414.53 \pm 3%
	18	480.73 \pm 3%
	23	499.99 \pm 3%

* : Les valeurs moyennes de 10 mesures avec soustraction du bruit de fond.

Tableau IV.3 : Le résumé des résultats de l'effet de la distance entre le tube RX-fantôme sur le rayonnement diffusé pour la distance fantôme- radiamètre de 50 et ce, pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme et pour les distances RX-fantôme.

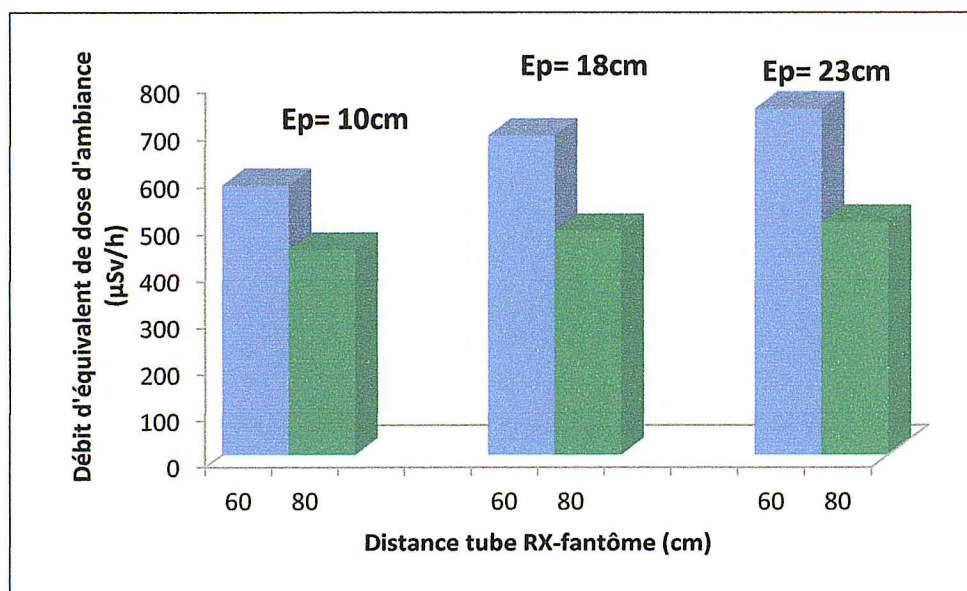


Figure IV.4 : Débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction de la distance RX-fantôme pour la distance fantôme-radiamètre de 50cm pour l'ensemble des épaisseurs du fantôme.

D'après les résultats du **tableau IV.3** ceux représentés par l'histogramme de **figure IV.4** on remarque que les débits d'équivalents de doses d'ambiances décroît avec l'augmentation de la distance entre le tube RX-fantôme de 60cm à 80cm pour la distance entre le fantôme et le radiomètre de 50. Par conséquent, La valeur la plus importante de débit

l'équivalent de dose d'ambiance est celle enregistrée pour la distance tube RX-fantôme de 60cm et ce, pour l'ensemble des épaisseurs et en particulier celui mesuré pour l'épaisseur du fantôme de 23cm à une distance entre le fantôme- radiamètre de 50cm qui est d'ordre de $739.19\mu\text{Sv/h}$. Par conséquent, l'éloignement du tube RX du patient en radiologie interventionnelle permet d'optimiser la dose reçue par les opérateurs qui est due aux rayonnements diffusés.

c. L'effet de l'épaisseur du patient sur le rayonnement diffusé en radiologie interventionnelle

Dans le but de vérifier l'impacte de l'épaisseur du patient sur la dose qui va être reçu par l'opérateur en radiologie interventionnelle ; notre travail consiste a mesuré le débit d'équivalent de dose d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ en faisant varié l'épaisseur du fantôme plaque en PMMA de 10cm à 23cm, pour une distance entre le tube RX et le fantôme de 60cm et celle entre le fantôme et le radiomètre de 50 cm (voir figure IV.5). Les résultats obtenus dans cette mesure sont résumés et représentés respectivement sur le *tableau IV.4 ; Figure IV.6*.

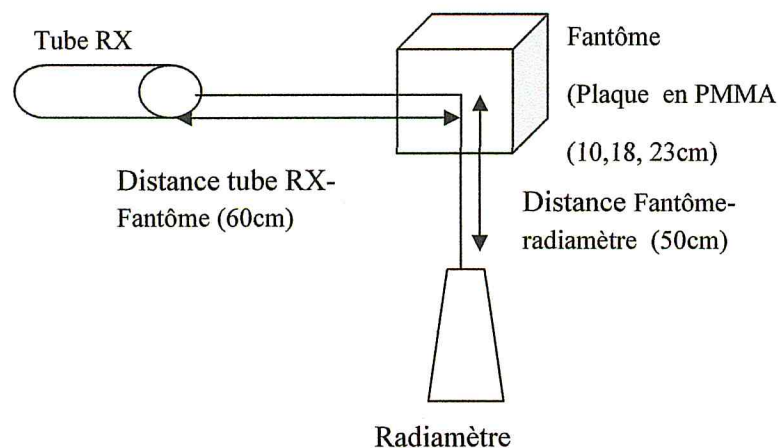


Figure IV.5 : Le dispositif de mesure utilisé pour l'étude d'effet d'épaisseur du fantôme sur le rayonnement diffusé pour l'incidence normale.

Distance entre le tube RX -fantôme =60cm		
Distance fantôme-radiamètre (cm)	Epaisseur de fantôme (cm)	($\dot{H}^*(10)$ - BF)* (μ Sv/h)
50	10	577,40 \pm 3%
	18	682,64 \pm 3%
	23	739,19 \pm 3%

* : Les valeurs moyennes de 10 mesures avec soustraction du bruit de fond.

Tableau IV.4 : Le résumé des résultats obtenus pour l'étude de l'effet d'épaisseur du fantôme à une distance tube RX-fantôme de 60cm et ce, pour la distance le fantôme –radiamètre de 50cm de l'incidence normale.

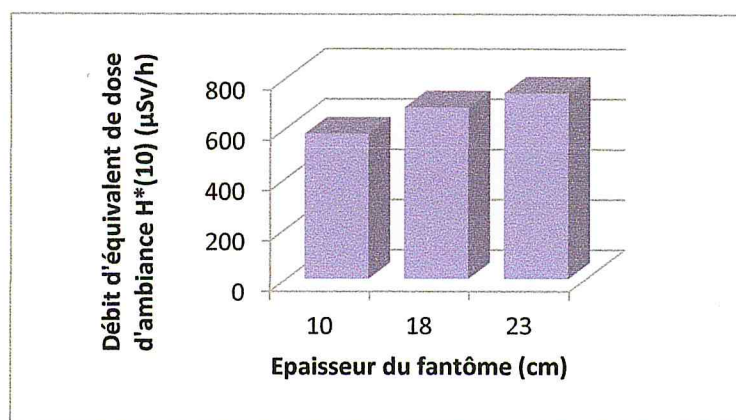


Figure IV.6 : Le débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction de l'épaisseur du fantôme pour la distance tube RX- fantôme de 60cm et ce, pour la distance fantôme- radiamètre de 50 cm.

On voit bien sur l'histogramme de la figure IV.6, une croissance de débit d'équivalent de dose d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ a été enregistré avec l'augmentation des épaisseurs du fantôme. Dans le cas d'une comparaison entre les deux débits d'équivalents de doses d'ambiance de l'épaisseur de 10 cm et 23 cm on obtient une différence moyenne d'ordre de 110 μ Sv/h. Cela nous permet de dire que plus l'épaisseur du patient est importante plus les rayonnements diffusés dans lesquels travail les praticiens en radiologie interventionnelle est élevé.

IV.1.2. L'incidence angulaire

En radiologie interventionnelle, certaines interventions délicates, effectuées en neuroradiologie, en cardiologie et bien dans d'autres spécialités nécessitent des incidences

particulaires. De ce fait, une étude angulaire du tube RX a été faite dans ce présent travail, et ce afin de voir l'impact des incidences des RX sur les rayonnements diffusés qui représentent la principale source d'exposition des opérateurs en radiologie interventionnelle. Dans notre travail on s'est limité à des angulations de 30° et 45° (voir *la figure IV.7*). Des débits d'équivalents de doses d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ ont été mesurés pour la distance RX-fantôme de 60cm avec une distance fantôme-radiamètre de 50cm pour l'épaisseur de 23cm. Le résumé des résultats de cette mesuré angulaire est illustré et représenté dans le *tableau IV.5 et figure IV.8* respectivement.

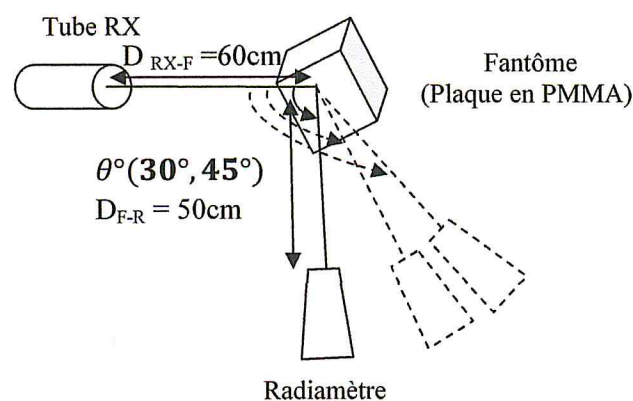


Figure IV.7 : Le dispositif de mesure pour l'incidence angulaire.

Distance tube RX - Fantôme de 60cm	
Distance fantôme-radiamètre de 50cm	
Epaisseur du fantôme 23 cm	
Les angle du radiamètre	($H^*(10) - BF$)* ($\mu Sv/h$)
0°	$739,19 \pm 3\%$
30°	$780,07 \pm 3\%$
45°	$881,73 \pm 3\%$

* : Les valeurs moyennes de 10 mesures avec soustraction du bruit de fond.

Tableau IV.5 : Le résumé des résultats de l'effet angulaire à une distance tube RX-fantôme de 60cm et une distance fantôme -radiamètre de 50cm pour l'épaisseur de 23cm.

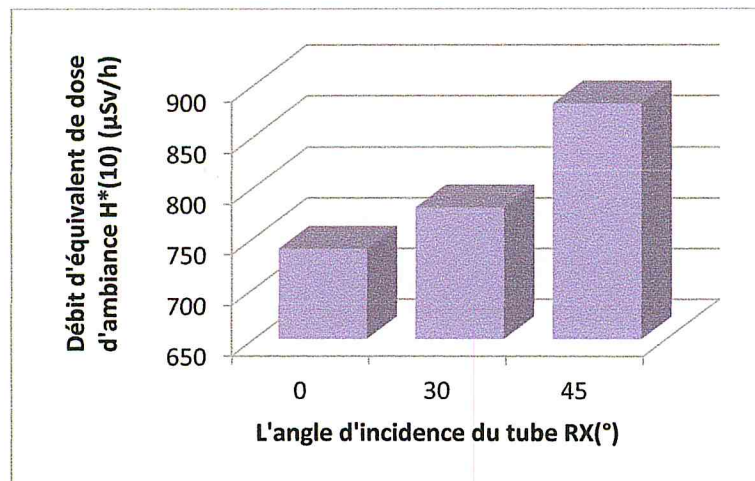


Figure IV.8 : Débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction des angles d'incidence du tube RX pour une distance le tube RX- fantôme 60 cm avec une distance fantôme-radiamètre de 50cm pour l'épaisseur du fantôme de 23cm.

En remarque sur le **tableau IV.5** et l'histogramme de la **figure IV.8** que le débit d'équivalent de dose d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ augment avec l'augmentation de l'angle d'incidence du tube RX et on obtient un débit d'équivalent de dose d'ambiance assez important d'ordre de $\dot{H}^*(10) = 881,73 \mu\text{Sv/h}$. pour un angle de 45° . Cela nous permet de dire que l'incidence normale, est moins irradiante par rapport aux autres surtout si on a augmenté la distance tube RX –patient à 80 cm. De ce fait, certaine procédure clinique pratiqués en radiologie interventionnelle avec des incidences à différentes angle influe sur le rayonnement diffusé.

IV.2.L'effet de tension sur les rayonnements diffusés en radiologie interventionnelle

IV.2.1.Etude comparative

En vue de vérifier l'impacte de l'intensité des rayonnements sur le rayonnement diffusé en radiologie interventionnelle, une étude comparative entre les débits d'équivalents de doses enregistrés pour deux qualités RX (N-150 et N-100) a été faite. Cette comparaison est basée sur le choix de la tension et de l'énergie des ces dernières, et ce pour une incidence normale. De ce fait, trois paramètres ont été fixés à savoir :

- ❖ La distance entre le fantôme et le radiamètre à 50cm.
- ❖ L'épaisseur du fantôme à 23 cm.
- ❖ La distance entre le tube rayon X et le fantôme à 80cm.

Le résumé des résultats de cette comparaisant des équivalent de doses d'ambiances est illustré dans le **tableau IV.6** et représentés sur l'histogramme de la **figure IV.9** ci-dessous.

Distance tube rayon X - Fantôme de 80cm		
Distance fantôme-radiamètre 50cm		
Epaisseur du fantôme 23 cm		
Tension (kV)	Energie moyenne (keV)	($\dot{H}^*(10)$ –BF) ($\mu\text{Sv/h}$)
100	83	97,71 \pm 3%
150	118	499,99 \pm 3%

* : Les valeurs moyennes de 10 mesures avec soustraction du bruit de font.

Tableau IV.6 : Le résumé des résultats de comparaisant des débits d'équivalents de doses d'ambiances entre les qualités N-150 et N-100 de spectre étroit pour la distance RX-fantôme de 80cm et la distance fantôme- radiamètre de 50cm pour l'épaisseur du fantôme de 23cm.

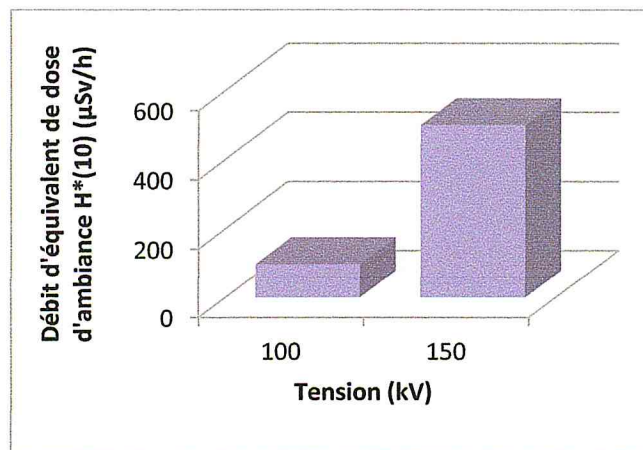


Figure IV. 9 : Le débit d'équivalent de dose d'ambiance en fonction de la tension pour les qualités N-150 et N-100 du spectre étroit RX.

On constate à travers le **tableau IV.6** et la **figure IV.9** que le débit d'équivalent de dose d'ambiance $\dot{H}^*(10)$ enregistré pour la qualité N-150 ($E_{\text{moy}} = 118 \text{ keV}$; $T = 150 \text{ kV}$) est assez important par rapport à ce lui mesuré pour la qualité N-100 et ce, pour les mêmes distances RX-fantôme de 80cm et fantôme-radiamètre de 50cm d'une part et avec la même épaisseur du fantôme de 23cm d'autre part. Par conséquent, le débit d'équivalent de dose d'ambiance mesuré pour la tension 150kV est d'un facteur de 5 plus important que celui

enregistré pour la tension 100kV. De ce fait, l'utilisation clinique des tensions élevées qui est d'ordre de 60kV-150kV [Bor11] en radiologie et cardiologie interventionnelle a un impacte important sur les rayonnements diffusés.

IV.3.Conclusion

En radiologie interventionnelle, la position des différents personnels dépend, entre autre, du type d'examen radiologique réalisé, de la région anatomique explorée, et des incidences multiples ainsi que du type d'acquisition radioscopie ou radiographie. Du point de vue radioprotection les rayonnements diffusés présentent la principale source d'exposition. De ce fait, la mesure de l'équivalent de dose d'ambiance peut être quantifiée en nous informant sur l'environnement du patient ainsi que du personnel médical par rapport aux les rayonnements diffusés.

Dans ce présent travail on a pu étudier cinq (05) paramètres techniques qui ont un impacte direct sur l'exposition du personnel à savoir la distance entre le patient et le praticien (50, 80,100cm) d'une part et la distance entre le tube RX et le patient (60 et 80cm) d'autre part ainsi que l'épaisseur du patient (10,18 et 23cm) et l'effet angulaire (0° , 30° , 45°). En fin, on a terminé notre travail par une étude comparative entre les équivalents de doses d'ambiances pour la qualité N-150 ($E_{moy} = 118 \text{ keV}$; $T= 150\text{kV}$) et N-100($E_{moy} = 83 \text{ keV}$; $T= 100\text{kV}$) du spectre étroit des RX ce qui est généralement utilisé en radiologie interventionnelle.

Dans cette étude, pour la quelle on a utilisé la qualité des RX du spectre étroit telle que N-150 ($E_{moy}=118\text{keV}$, $T=150\text{kV}$). Les résultats de nos mesures montre en premier lieu que plus on augmente la distance entre le tube RX et le patient de 60cm à 80cm plus le rayonnement diffusé est moins important pour le personnel médical. En deuxième lieu, notre étude a montré aussi que le fait d'augmenter la distance entre le patient et l'opérateur de 50cm à 80cm le débit d'équivalent de dose d'ambiance diminue de la moitié donc le rayonnement diffusé est moins important pour le personnel situé à une distance de plus de 80cm.

L'effet de l'épaisseur du patient sur les rayonnements diffusés dans lequel travail le personnel médical en radiologie interventionnelle a été aussi vérifié, car on a trouvé que plus l'épaisseur du patient est important (voir 23cm) plus il aura des débits d'équivalents de doses

d'ambiance du côté du chirurgien situé à 50cm très important qui sont de l'ordre $577.40 \mu\text{Sv/h}$, $682.64 \mu\text{Sv/h}$, $739.1 \mu\text{Sv/h}$ pour les épaisseurs 10,18, 23cm respectives.

Par ailleurs, et concernant, l'étude angulaire, nos mesures ont montré que les incidences du tube RX pour certaines procédures cliniques (à savoir celles réalisées à 45°) sont plus irradiante par rapport à l'incidence normale. En effet, un débit d'équivalent de dose d'ambiance d'ordre de $\dot{H}^*(10) = 881,73 \mu\text{Sv/h}$ qui est assez important a été enregistré pour l'angle de 45° , et ce, pour une distance entre le fantôme et le radiamètre (opérateur) qui est de 50cm et la distance entre le fantôme et le tube RX qui est de 60cm ainsi pour l'épaisseur du fantôme de 23cm.

Enfin, dans le but d'avoir une idée sur le choix de la tension moins irradiante pour le personnel médical est nuisible à la qualité des images, une comparaison entre les débits d'équivalents de doses d'ambiances pour deux qualités de RX N-150 et N-100 de spectre étroit a été faite. Nos mesures ont mis en évidence l'impacte de l'intensité des RX utilisés sur les rayonnements diffusés et ce, par la mesure de débit d'équivalent de dose d'ambiance qui est 5 fois plus important pour la tension $T = 150\text{kV}$ par rapport à celui mesuré pour la tension $T = 100\text{kV}$.

Conclusion générale

Conclusion générale

Les problèmes de radioprotection des praticiens en radiologie interventionnelle sont liés principalement à l'exposition aux rayonnements diffusés. Le présent travail a mis en évidence l'impacte des paramètres techniques intervenant sur l'exposition des opérateurs aux rayonnements diffusés en radiologie interventionnelle. Dans cette conception, les résultats du chapitre IV vont contribuer à une meilleure protection des travailleurs dans ces services.

Ce travail a été réalisé au Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) au niveau de Laboratoire Secondaire d'étalon en Dosimétrie (LSED) en collaboration avec le Laboratoire de Dosimétrie des Rayonnements Ionisant.

Dans ce présent travail, on a pu déterminer la répartition des rayonnements diffusés au voisinage des opérateurs en radiologie interventionnelle à travers l'étude des effets tels que:

- La distance entre le tube RX- le patient,
- La distance entre le patient-opérateur,
- La position du tube RX,
- L'épaisseur du patient,
- La tension du tube RX utilisée.

En premier lieu, nous avons introduit tous les aspects physiques en relation directe avec la radiologie interventionnelle ainsi que des généralités sur la radiologie interventionnelle qui ont été données et ce, en se basant sur l'aspect de la radioprotection et l'utilisation des rayonnements dans le domaine médicale.

En deuxième lieu, des mesures des rayonnements diffusés pour la qualité des RX N-150 qui correspond à une énergie moyenne de 118 keV et de tension de 150Kv pour l'incidence normale du tube RX a été effectué :

D'une part, pour des variations de la distance entre le patient et l'opérateur de 50cm, 80cm et 100cm pour des épaisseurs du patient de 10,18et 23cm pour lesquelles on a enregistré un débit d'équivalent de dose d'ambiance très important à une distance de 50cm par rapport au patient pour l'épaisseur du patient de 23cm.

Et d'autre part, des équivalents de doses d'ambiance ont été mesurés pour des distances entre le patient et le tube RX de 60cm et 80cm. Dans cette seconde mesure de notre travail, on a

trouvé que des débits d'équivalents de doses d'ambiances mesurés diminuent avec la l'inverse carré de la distance par rapport au tube RX.

Concernant l'effet de l'épaisseur du patient sur les rayonnements diffusés, nos mesures ont montré que le débit d'équivalent de doses d'ambiance augmente avec l'épaisseur du patient traité car on a enregistré un débit d'équivalent de dose très important pour l'épaisseur de 23cm.

En troisième lieu, l'étude angulaire de l'incidence du tube RX pour laquelle on a trouvé que l'incidence normale est la moins irradiante pour les opérateurs car on a enregistré des débits d'équivalents de doses très élevés pour l'angulation de 45°.

En quatrième lieu, la comparaison de l'effet de la tension entre la qualité N-100 ($E_{moy}=83\text{keV}$, $T=100\text{kV}$) et la qualité N-150 ($E_{moy}=118\text{keV}$, $T=150\text{kV}$) du spectre étroit des RX qui sont développées au Centre de Recherche Nucléaire d'Alger (CRNA) ont montré que le débit d'équivalent de doses d'ambiance enregistré pour la tension $T=150\text{kV}$ est plus important par rapport à celui enregistré pour la tension $T=100\text{ kV}$ et ce, pour les mêmes paramètres (la distance entre le patient et le tube RX, la distance entre le patient et l'opérateur, l'épaisseur du patient).

Enfin, l'exploitation de ces résultats à des fins de la radioprotection consiste d'une part au choix de la distance (tube RX-patient, patient-opérateurs), de la tension du tube RX utilisé, de réduction de la zone explorée et de l'orientation du tube RX la moins irradiante. D'autre part au choix des moyens de protection individuel et collectifs les plus adéquats ainsi qu'une meilleure sensibilisation du personnel en radiologie interventionnelle.

Références Bibliographiques

- [ATT86] : ATTIX, F.H (1986), Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry, Wiley New York (1986).
- [BOR11] : J.MBORDY,J.Daures et al.(2011). « Proposals for the type tests criteria and calibration condition of passive eye lens dosimeters to be used in interventional cardiology and radiology workplaces». Radiation Measurements 46,p1235-1238;
- [CHR07] : CHRISTINE JIMONET ET HENRI METIVIER (2007). «Personne compétente en radioprotection: Principes de radioprotection réglementation ».
- [CIP09] : (PUBLICATION 103 DE LA CIPR (2009) ; « Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique » ; 2009, IRSN).
- [CNR07] : Guide de radioprotection. CNRS, 1^{er} édition septembre 2007.
- [DEC05] : Décret présidentiel n° 05-117(2005) Journal Officiel de la République Algérienne n°27 .
- [GTR10] : Rapport du groupe de travail sur la radioprotection en radiologie interventionnelle, Recommandations pour l'amélioration de la radioprotection en radiologie interventionnelle - GTRI/GPMED juin 2010.
- [ICR85] : ICRU (1985) « Determination of dose equivalents resulting from external radiation source» Report 39.
- [ICR90] : ICRP9 (1990) "1990 Recommandations of the International Commission on Radiological protection " Publication 60, Volume 21, N°1-3 .
- [ICR93] : ICRU (1993) «Quantity and Unite in Radiation Protection Dosimetry».
- [INR11] : INRS – Hygiène et sécurité du travail -1er trimestre 2011 -222 /28.
- [JEA01] : Dr. Jean-Yves TANGUY, CHU Angers, 4 octobre 2001 « Pratique au Diagnostic Morphologique, Le scanner et l'IRM »,.
- [JIM07] : Christine Jimonetet Henri Métivier (2007) « Personne compétente en radioprotection » Principes de radioprotection –réglementation2007.
- [LIB08] : Xavier LIEBEL 2008 – TOU 3 – 4078 « Applications cardiovasculaires de la radiologie interventionnelle chez les carnivores domestiques », l'Université Paul-Sabatier de Toulouse François .
- [MOH04] : D.MOUHSSIN (2004) « Etude d'une nouvelle génération de dosimètre basé sur les détecteurs photostimulable type BaFBr(Eu) : caractérisation et application à la dosimétrie environnementale et personnelle »Thèse de Doctorat.
- [MON10] : Bernd Montag(2010), Guide pratique pour la réduction de dose « Des réponses

pour la vie », France.2010.

- [RAD99]** : J. Radiol 1999, « IRM interventionnelle. Analyse des données et perspectives. », n° 80, p. 1527-1530, Editions françaises de radiologie.
- [ROP05]** : Radiation Oncology Physics: A Handbook for Teachers and Students, International Atomic Energy Agency, VIENNA, 2005.
- [SCP07]** : Notion de base de radioprotection. Service de contrôle physique .ULB-2007 .
Site Web://www.controlephysique.be.
- [SFP07]** : S.F.P.M(2007) (Société Française de physique médicale), Groupe de travail « dosimétrie des explorations diagnostique en radiologique », rapport. N°21.