UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Évaluation de l’exposition du personnel des services d’imagerie médicale de certains hôpitaux de Bujumbura par la dosimétrie OSL

BAYAGA, Henry; Sous la direction de : Dr UWIZEYIMANA Canésius (Directeur); Dr MUGISHA Salomon (codirecteur)

2024-05
UB, FACULTE DES SCIENCES
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/1061

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

UNIVERSITE DU BURUNDI
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DE PHYSIQUE
CENTRE DE RECHERCHE EN MATHEMATIQUES ET PHYSIQUE

Évaluation de l'exposition du personnel des services d'imagerie médicale de certains hôpitaux de Bujumbura par la dosimétrie OSL

Par :

BAYAGA Henry

Mémoire présenté et défendu publiquement en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Physique fondamentale et appliquée.
Option : Physique Appliquée

Sous la direction de :
Dr UWIZEYIMANA Canésius : Directeur
Dr MUGISHA Salomon : Co-Directeur

Bujumbura, Mai 2024

Composition du Jury

Docteur BARANCIRA Thaddée (**Président du Jury**)

Professeur Crispin MBULANGA MUNYELELE (**Secrétaire du Jury**)

Docteur MUGISHA Salomon (**Co-Directeur**)

Docteur UWIZEYIMANA Canésius (**Directeur de Mémoire**)

Dédicace

A mes parents ;
A mes frères et sœurs ;
A mes camarades de la deuxième promotion de master ;
A tous ceux qui me sont chers.

Remerciements

Au terme de ce travail, je voudrais exprimer mes sentiments de reconnaissance et de satisfaction à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à sa réalisation.
Mes sincères remerciements sont adressés au Docteur UWIZEYIMANA Canésius, de l'École Normale Supérieure (ENS) qui, malgré ses multiples occupations, a accepté de diriger et de juger ce travail de mémoire. Ses commentaires et ses questions m'ont permis de clarifier la rédaction et m'ont donné de nouvelles pistes de réflexion. Ses précieux conseils, sa disponibilité, sa rigueur scientifique et ses suggestions m'ont été d'une très grande utilité ; qu'il trouve ici l'expression de ma profonde et respectueuse gratitude.
Mes sincères remerciements sont aussi adressés au Docteur Salomon Mugisha, de l'Université du Burundi et Co-Directeur de mon mémoire. L'aide qu'il m'a apportée ainsi que sa patience m'ont été très précieuses dans l'accomplissement de ce travail. Ses précieux conseils et commentaires, sa disponibilité et sa sérénité dont il a toujours fait preuve m'ont permis d'améliorer ce travail ; qu'il trouve aussi ici l'expression de ma profonde et respectueuse gratitude.

Mes sincères remerciements vont également à l'endroit de M.sc Innocent NKENGURUTSE, mon encadreur de stage au laboratoire de dosimétrie à l'Institut National de Santé Publique (INSP). Ses précieux conseils et commentaires, sa disponibilité et sa sérénité dont il a toujours fait preuve m'ont été d'une grande importance pour la réalisation de cette étude ; qu'il trouve aussi ici l'expression de ma profonde et respectueuse gratitude.

J'adresse aussi mes sentiments de reconnaissances et remerciements à l'Institut National de santé Publique pour l'accueil en stages au laboratoire de dosimétrie réservé à mon regard. Je remercie également tous les hôpitaux qui ont accepté que j'effectue des recherches dans leurs structures ; qu'ils trouvent aussi ici l'expression de ma profonde et respectueuse gratitude.

Je remercie également tous les membres du jury pour le temps qu'ils ont bien voulu consacrer pour lire ce travail ; leurs précieux commentaires pour l'amélioration de ce travail me seront d'une importance capitale. Mes sentiments de reconnaissance sont également dirigés à l'endroit de tous ceux qui ont contribué à ma formation depuis le cycle primaire jusqu'à l'Université du Burundi et plus précisément les professeurs de la Facultés des Sciences en particulier ceux du département de Physique. Qu'ils trouvent ici ma profonde gratitude pour m'avoir doté d'une formation tant humaine que scientifique de haut niveau.

Résumé

La radioprotection recouvre l'ensemble des mesures prises pour assurer la protection de l'homme et de son environnement contre les effets des rayonnements ionisants. La problématique de la radioprotection s'observe dans les huit services d'imageries médicales des hôpitaux de Bujumbura : Hôpital Militaire de Kamenge (HMK), Hôpital de la Police Nationale du Burundi (HPNB), Clinique Médico-Chirurgicale Chrétienne (C.M.C.C Rohero), Centre Hospitalo-Universitaire de Kamenge (CHUK), Kira Hospital, Hôpital Prince Régent Charles (HPRC), l'INSP et Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura. L'objectif de cette étude est de déterminer les niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants auxquels les personnels des services d'imagerie médicale des hôpitaux de Bujumbura sont soumis. Pour ce faire, des dosimètres OSL ont été distribués aux participants, qui les ont portés pendant une période de trois mois, du 1 Octobre au 31 Décembre 2023. Ces dosimètres ont enregistré la dose de rayonnement absorbée par les individus et ont été ensuite analysés au laboratoire de dosimétrie de l'INSP (Institut National de Santé Publique). Pour évaluer le respect des règles de radioprotection, nous avons confectionné un questionnaire qui a été distribué en mains propres aux 45 personnels des services d'imagerie médicale des hôpitaux impliqués dans le cadre de cette étude (Voir annexe A.1).

Les résultats ont permis de mettre en évidence les niveaux d'exposition et conduit par après à proposer des mesures visant à améliorer la radioprotection des personnels. La dosimétrie OSL (**Optically Stimulated Luminescence**) est une méthode permettant de mesurer la dose de rayonnement absorbée par les individus. Dans ce contexte, elle est utilisée pour évaluer l'exposition des personnels travaillant dans les services d'imagerie médicale à rayons X, tels que les radiologues, les techniciens en Imagerie Médicale et les infirmiers.

La dose mesurée par les dosimètres a été comparée aux limites de dose recommandées par les organismes internationaux de réglementation en matière de Radioprotection, en l'occurrence, l'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) et CIPR. Le constat était que la dose reçue par les personnels est de loin inférieure à la dose limite recommandée.

Les données collectées à l'aide d'un questionnaire ont permis de vérifier le respect des normes et les règles de radioprotection et la disponibilité du matériel de radioprotection dans ces services. De même, des observations directes ont permis de vérifier le respect des normes et les règles de radioprotection et la disponibilité du matériel de radioprotection dans ces services. Les résultats de l'étude ont montré qu'aucun hôpital ne dispose d'un médecin légiste pour le suivi de leurs personnels de ser-

vices d'imagerie médicale et ces derniers n'effectuent pas des examens hématologiques notamment la Numération Formule Sanguine (NFS) pour évaluer les effets des rayons X provenant des appareils d'imagerie médicale sur leur santé. L'Enquête a montré que seulement 8,18 % des enquêtés disposent des gants plombés et caches ovaires plombés. Les tabliers plombés étaient disponibles dans toutes les structures et 48,48 % des enquêtés possèdent des caches thyroïdes plombé ; 15,15% des enquêtés ont des caches gonades plombés et 30,3 % disposent des lunettes plombés. Sur les huit hôpitaux enquêtés, aucun contrôle qualité n'est effectué par manque de personnels qualifiés (physiciens médicaux) et du matériel.

L'étude a permis d'identifier les pratiques et les procédures qui contribuent à une exposition aux rayonnements ionisants, ainsi que les zones spécifiques dans lesquelles les personnels sont les plus exposés. Sur base de ces résultats, des mesures correctives et des recommandations ont été formulées pour réduire l'exposition des personnels et améliorer la radioprotection.

Mots clés : Rayonnements ionisants, dose absorbée, Radioprotection, exposition aux rayonnements ionisants, prévention

Abstract

Radiation protection covers all measures taken to ensure the protection of humans and their environment against the effects of ionizing radiation. Radiation protection is a problem in eight medical imaging departments of Bujumbura hospitals : Hôpital Militaire de Kamenge (HMK), Hôpital de la Police Nationale du Burundi (HPNB), Clinique Médico-Chirurgicale Chrétienne (C.M.C.C Rohero), Centre Hospitalo-Universitaire de Kamenge (CHUK), Kira Hospital, Hôpital Prince Régent Charles (HPRC), l'INSP and Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura Hospital. The aim of this study was to determine the levels of exposure to ionizing radiation to which staff in the medical imaging departments of Bujumbura hospitals are subjected. To this end, OSL dosimeters were distributed to participants, who wore them for a period of three months, from October 1st to December 31st, 2023. These dosimeters recorded the radiation dose absorbed by individuals, and are then analyzed at the INSP (National Institute of Public Health) dosimetry laboratory. To assess compliance with radiation protection rules, we prepared a questionnaire which was hand-delivered to 45 staff members in the medical imaging departments of the hospitals involved in the study.

The results highlighted exposure levels and led to proposals for measures to improve radiation protection for personnel. Optically Stimulated Luminescence (OSL) dosimetry is a method of measuring the radiation dose absorbed by individuals. In this context, it is used to assess the exposure of personnel working in medical imaging departments, such as radiologists, medical imaging technicians and nurses.

The dose measured by the dosimeters was compared with the dose limits recommended by international radiation protection authorities, in this case the International Atomic Energy Agency (IAEA) and ICRP. As result, the received doses was that the doses received by the personnel were well below the recommended dose limits.

Data collected through a questionnaire allowed us to check compliance with radiation safety standards and regulations and the availability of radiation safety equipment in these departments. Similarly, direct observations verified compliance with radiation safety standards and regulations and the availability of radiation safety equipment in these departments. The results of the survey showed that none of the hospitals had a legal physician to supervise their medical imaging department staff, and that the latter did not perform hematological examinations (especially NFS) to assess the effects of X-rays from medical imaging equipment on their health. The survey found that only 8.18% of re-

spondents had lead-coated gloves and lead-coated ovary covers. Lead-coated aprons were available at all facilities, and 48.48% of respondents had lead-coated thyroid covers ; 15.15% of respondents had lead-coated gonads, and 30.3% had lead-coated eyeglasses. In the eight hospitals surveyed, quality control is not performed due to lack of qualified personnel (physics medical) and material.

The study identified the practices and procedures that contribute to ionizing radiation exposure and the specific areas where employees are most exposed. Based on these findings, corrective actions and recommendations were formulated to reduce employee exposure and improve radiation protection.

Key words : Ionizing radiation, absorbed dose, radiation protection, exposure to ionizing radiation, prevention of ionizing radiation

Table des matières

Composition du Jury i

Dédicace ii

Remerciements iii

Résumé iv

Abstract vi

Table des matières viii

Liste des tableaux xiii

Table des figures xvi

Liste des sigles et abréviations xvii

Avant-propos xix

INTRODUCTION GÉNÉRALE 1

1 CONTEXTE, JUSTIFICATION, PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE 3

1.1 Contexte, Justification et Problématique 3

1.2 Méthodologie et Matériels 4

1.2.1 Méthode 4

1.2.2 Matériel 5
1.3 Personnes enquêtées et Variables étudiées 7
1.3.1 Cadre d'Étude 7
1.3.2 Cadre humain 7
1.3.3 Variables étudiées 8
1.3.4 Critère d'inclusion 8
1.3.5 Critère d'exclusion 8
1.3.6 Méthode de collecte des données 8

2 GÉNÉRALITÉS SUR LES RAYONNEMENTS IONISANTS, LA DOSIMÉTRIE ET LA RADIOPROTECTION 9

2.1 Les rayonnements ionisants 9
2.1.1 Introduction 9
2.1.2 Définition 9
2.1.3 Classification des rayonnements ionisants 11
2.1.4 Rayonnement photonique (rayonnement gamma (γ) et rayons X) 12
2.1.5 Production des rayons X 12
2.2 Interaction photon-matière (effets macroscopiques) 13
2.2.1 Introduction 13
2.2.2 Loi d'atténuation 13
2.2.3 Coefficient d'atténuation et section efficace 14
2.2.4 Couche de demi-atténuation 15
2.3 Notions de dosimétrie 15
2.3.1 Introduction 15
2.3.2 Transfert et Absorption de l'énergie 16
2.3.3 Dose absorbée 16
2.3.3.1 Définition 16
2.3.3.2 Dose absorbée et densité d'ionisation 17
2.3.4 Dose équivalente 17

2.3.4.1 De la dose absorbée à la dose équivalente 17
2.3.4.2 Dose équivalente dans un tissu ou un organe 17
2.3.5 Dose efficace 19
2.3.5.1 Concept de dose efficace 19
2.3.5.2 Définition 19
2.3.5.3 Concepts relatives aux doses 20
2.3.5.4 Unités de mesure des rayonnements ionisants 21
2.3.6 Transfert d'Énergie Linéique (TEL) 21
2.4 Rappels sur les principes fondamentaux de la radioprotection en milieu hospitalier . . 22
2.5 Matériels de Radioprotection 23
2.5.1 Petits matériels 23
2.5.2 Gros matériels 25

3 RÉSULTATS 27

3.1 Caractéristiques sociodémographique des enquêtés 27
3.1.1 Genre 27
3.1.2 Profil du personnel 28
3.2 Moyen de protection chez les personnels d'Imagerie Médicale 29
3.2.1 Moyen Individuel 29
3.2.2 Moyen collectif 29
3.3 Normes de constructions de la salle abritant les appareils d'Imagerie Médicale 30
3.4 Calibrages des équipements 30
3.5 Surveillance dosimétrique des personnels du service d'Imagerie médicale 31
3.5.1 État des lieux de pratique de radioprotection dans les huit services d'imagerie médicale 31
3.5.2 Surveillance collective des personnels 32
3.6 Information sur les heures de travail des personnels et autres droits 33
3.6.1 Heures de travail et nombre de patients reçus par jour 33
3.6.2 Avantages liés au métier 34

3.7 Information sur les heures de travail pour les femmes enceintes 35
3.8 Types d'appareils, dimension des salles abritant les appareils d'imagerie médicale et doses mesurées 35

4 DISCUSSION DES RÉSULTATS ET REVUE DE LA LITTÉRATURE 38

4.1 Introduction 38
4.2 Répartition selon le genre et profil des personnels d'Imagerie médicale 38
4.3 Moyen de protection chez les personnels d'Imagerie Médicale 39
4.4 Normes de constructions de la salle abritant les appareils d'Imagerie Médicale 40
4.5 Contrôle qualité et types d'équipements 41
4.6 Surveillance dosimétrique et suivi des personnels de service d'Imagerie médicale . . 42
4.7 Heures de travail des personnels des services d'imagerie médicale enquêtés et autres droits 43
4.8 Relevé des doses reçues par les personnels travaillant dans les services d'imagerie Médicale 43
4.9 Étude comparative de doses absorbées au niveau de différentes parties du corps . . . 47
4.9.1 Introduction 47
4.9.2 Principe de base de l'analyse de variance 48
4.10 Résultats de l'étude statistique 49
4.10.1 Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura 49
4.10.2 Hôpital Militaire de Kamenge 49
4.10.3 Hôpital C.M.C.C Rohero 50
4.10.4 Centre Hospitalo-Universitaire de Kamenge (CHUK) 51
4.10.5 Hôpital de la Police Nationale de Bujumbura (HPNB) 51
4.10.6 Institut National de Santé Publique (INSP) 52
4.10.7 KIRA HOSPITAL 53
4.10.8 Hôpital Prince Régent Charles (HPRC) 53
4.11 Corrélation entre les différentes variables étudiées. 54

CONCLUSION GÉNÉRALE 55

BIBLIOGRAPHIE **58**

ANNEXES **62**

A.1 Mesures des doses absorbées par les personnels des services d'imagerie médicale . . 62

A.2 Détails sur les types d'appareils 72

A.3 Informations sur les salles 73

Liste des tableaux

2.1 Valeurs du facteur de pondération radiologique W_R. 18

3.1 Disponibilité des équipements de protection individuels (EPI) dans les services d'imagerie médicale. 29

3.2 Caractéristiques des équipements de radioprotection collective 29

3.3 Caractéristiques des salles abritant les appareils d'imagerie médicale 30

3.4 Tableau récapitulatif de l'état de calibrage et disponibilité des physiciens médicaux et techniciens biomédicaux dans les services d'imagerie médicale 30

3.5 Adhérence aux pratiques de la radioprotection par le personnel travaillant sous le rayonnement ionisant 31

3.6 Adhérence aux pratiques de surveillance collective des personnels exposés 32

3.7 Situation sur les heures de travail des personnels et le nombre des patients accueillis par jour 33

3.8 Situation sur les avantages que devraient bénéficier les travailleurs exposés 34

3.9 Information sur le personnel féminin des services d'imagerie médicale 35

3.10 Illustration des dimensions des salles, doses provenant des appareils pour un échantillon de trois personnel dans chaque service 36

4.1 Résultats sur l'équipement de protection Individuelle des services (n=17), Bénin. . . 40

4.2 adhérence des enquêtés aux bonnes pratiques de radioprotection (n=58), Tunisie. . . 40

4.3 Résumé des limites de dose annuelles selon BSS et le rapport 60 de la CIPR. 44

4.4 Synthèse de la variation de la dose absorbée par les personnels d'imagerie médicale provenant des appareils utilisant les rayons X 45

4.5 Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de la Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura 49

4.6 Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de l'hôpital Militaire de Kamenge 49

4.7 Resultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de l'hôpital C.M.C.C 50

4.8 Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale du CHUK 51

4.9 Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de l'hôpital de la Police Nationale de Bujumbura 51

4.10 Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de l'INSP 52

4.11 Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de Kira Hospital 53

4.12 Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de l'hôpital Prince Régent Charles 53

4.13 Illustration de la corrélation entre certaines variables étudiées 54

A.1.1 Dose totale absorbée par le personnel d'IM de la Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura 62

A.1.2 Dose absorbée par le personnel (IM) de la Polyclinique Maison Médicale provenant des appareils d'imagerie Médicale 63

A.2.1 Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de l'hôpital Militaire de Kamenge 63

A.2.2 Dose absorbée par le personnel(IM) de la Polyclinique Maison Médicale provenant des appareils d'imagerie Médicale 64

A.3.1 Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de l'hôpital C.M.C.C 65

A.3.2 Dose absorbée par le personnel(IM) de l'hôpital C.M.C.C provenant des appareils d'imagerie Médicale 66

A.4.1 Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'imagerie médicale du CHUK . . 66

A.4.2 Dose absorbée par le personnel (IM) du CHUK provenant des appareils d'imagerie Médicale 67

A.5.1 Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de l'HPNB 67

A.5.2 Dose absorbée par le personnel de l'HPNB provenant des appareils d'imagerie Médicale 68

A.6.1 Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de l'INSP 68

A.6.2 Dose absorbée par le personnel d'IM de l'INSP provenant des appareils d'imagerie Médicale 69

A.7.1 Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de KIRA Hospital 69

A.7.2 Dose absorbée par le personnel (IM) de KIRA Hospital provenant des appareils d'imagerie Médicale 70

A.8.1 Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de l'HPRC 71

A.8.2 Dose absorbée par le personnel(IM) de l'HPRC provenant des appareils d'imagerie Médicale 71

A.2 Caractéristiques des appareils utilisés dans les services d'imagerie médicale des huit hôpitaux enquêtés 72

A.3 Relevé des dimensions des salles abritant les appareils d'imagerie médicale 73

Table des figures

1.1 Illustration d'une photo de Dosimètre OSL (Photo prise au labo de dosimétrie de l'INSP en 2023). 5
1.2 Illustration d'une photo de prise des dimensions des salles (Photo prise par l'auteur au labo de dosimétrie de l'INSP en 2023). 6
1.3 Photo de Pocket Annuler (Photo prise par l'auteur au labo de dosimétrie de l'INSP en 2023). 6
1.4 Photo de l'appareil Landauer MicroSTAR (Photo prise par l'auteur au labo de l'INSP). 7

2.1 Rayonnements Ionisants et non-ionisants. 10
2.2 Degré de pénétration des différents types de rayonnements ionisants. 11
2.3 Des rayons X sont générés lorsque des électrons qui s'échappent du filament chauffé (la cathode) sont accélérés par une différence de potentiel U et frappent une cible métallique (l'anode). L'ouverture dans la chambre à vide laisse passer les rayons X. . 12
2.4 Atténuation de rayonnement. 14
2.5 Relation entre la dose absorbée, la dose équivalente et la dose efficace 20
2.6 Illustration d'une paire de lunette plombée 23
2.7 Illustration du port d'un cache thyroïde 24
2.8 Illustration d'une Photo d'un protège gonade 24
2.9 Illustration d'un tablier plombé. 25
2.10 Illustration d'un Paravent plombé anti rayons-X. 26

3.1 Répartition du personnel selon le genre. 28
3.2 Répartition du personnel selon le profil. 28

4.1 Illustration de la moyenne des doses dans les différents services d'imagerie médicale. 46
4.2 Illustration de la dose selon le type d'appareil. 47

Sigles et abréviations

- ADN : Acide Désoxyribonucléique
- ARSBU : Autorité de Radioprotection et de Sûreté nucléaire du Burundi
- ALARA : As Low As Reasonably Achieveable (Aussi bas que raisonnablement possible)
- ANOVA : Analysis Of Variance (Analyse de Variance)
- BSS : Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources (Normes de base pour la protection contre les rayonnements ionisants et pour la sûreté des sources de rayonnement)
- CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique
- CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique
- CHUK : Centre Hospitalo-Universitaire de Kamenge
- DARI : Dose annuelle due au Rayonnement
- EURATOM : Communauté européenne de l'énergie atomique
- HPNB : Hôpital de la Police Nationale du Burundi
- HMK : Hôpital Militaire de Kamenge
- IAEA : International Atomic Energy Agency (Agence internationale de l'énergie atomique)
- IM : Imagerie Médicale
- INSP : Institut National de Santé Publique
- IRSN : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
- KERMA : Kinetic Energy Released per unit MAss (Énergie cinétique libérée par unité de masse)
- NCRP : National Council on Radiation Protection and Measurements (Conseil national de la radioprotection et des mesures)
- NFS : Numération Formule Sanguine
- OSL : Optically Stimulated Luminescence (Luminescence stimulée optiquement)
- P : Photon
- PB : Photon basse énergie
- PM : Photon moyenne énergie
- PH : Photon haute énergie

- PNDS : Programme National de Développement Sanitaire
- Rad : Radiation absorbed dose (Dose de rayonnement absorbée)
- Rem : Radiation equivalent man (Équivalent de rayonnement homme)
- TEL : Transfert d'Énergie Linéique
- TIM : Technicien en Imagerie Médicale
- UNSCEAR : United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants)

Avant-propos

Le présent mémoire a été réalisé dans le cadre de l'obtention du diplôme de fin d'étude du deuxième cycle des enseignements Universitaires en Physique Appliquée.

L'un des objectifs de cette étude est de déterminer les niveaux d'exposition aux rayonnements ionisants auxquels les personnels des services d'imagerie médicale de certains hôpitaux de Bujumbura sont soumis.

En effet, les rayonnements ionisants et la radioactivité (pour la médecine nucléaire) sont incontournables en médecine contemporaine. Des recherches ont démontré que l'exposition aux rayonnements ionisants dépassant certains niveaux peut provoquer des effets néfastes pour la santé, dont le cancer et des maladies héréditaires. C'est pourquoi l'usage de ces rayonnements nécessite un dispositif efficace de radioprotection ; c'est-à-dire, un ensemble de règles, de procédures, et de moyens de prévention puis de surveillance visant à empêcher ou à réduire leurs effets nocifs sur les personnes.

Dans ce travail, nous avons utilisé les dosimètres OSL (**Optically Stimulated Luminescence**) pour mesurer la dose de rayonnement absorbée par les personnels des services d'imagerie médicale des huit hôpitaux de Bujumbura. Après avoir analysé la dose mesurée au laboratoire de dosimétrie de l'INSP, elle a été par la ensuite comparée aux limites de dose recommandées par les organismes de réglementation en matière de Radioprotection. De plus, pour évaluer le respect des normes et les règles de radioprotection et la disponibilité du matériel de radioprotection dans les services d'imagerie médicale des huit hôpitaux de Bujumbura, nous avons confectionné un questionnaire qui a été distribué en mains propres aux 45 personnels de ces services.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les rayonnements ionisants sont une forme d'énergie libérée par les noyaux qui se propagent par le biais d'ondes électromagnétiques (rayons gamma ou X) ou de particules (neutrons, particules bêta ou alpha) [Cherry, 2005].

En 1895, le Physicien allemand Wilhelm Conrad Roentgen a découvert les rayons X. Un an plus tard, le physicien français Antoine Henri Becquerel découvre la radioactivité. Très tôt, l'importance des rayonnements ionisants (alpha, bêta, gamma, rayons X) et la radioactivité pour la médecine nucléaire furent incontournables [Samueli, 2009]. Ces rayonnements ionisants sont désormais des outils de base en médecine contemporaine, ils sont utilisés pour traiter des pathologies tumorales ou pour l'exploration des organes humains dans le but de diagnostiquer certaines pathologies radiologiquement décelables. Depuis lors, les techniques d'imagerie médicale n'ont cessé de se diversifier et d'être plus performantes [Tubiana, 2005].

Les êtres humains sont constamment exposés à de faibles niveaux de rayonnements ionisants que l'on retrouve naturellement dans l'environnement. Les autres sources d'exposition comprennent certains traitements médicaux et d'autres activités qui impliquent l'utilisation de matières radioactives. Des recherches ont démontré que l'exposition aux rayonnements ionisants dépassant certains niveaux peut provoquer des effets néfastes pour la santé, dont le cancer et des maladies héréditaires (effets qui peuvent être transmis à la progéniture) [Dossou, 2015]. C'est pourquoi l'usage de ces rayonnements nécessite un dispositif efficace de radioprotection.

Pourtant dans les pays en voie de développement en général et en particulier pour certains pays d'Afrique, le manque de moyens et l'absence de contrôle rigoureux par un organisme de radioprotection exposent les travailleurs aux rayonnements diffusés [Dossou, 2015]. En 2022, le Burundi a promulgué la loi numéro 1/31 du 16 septembre 2022 mettant en place une autorité de Radioprotection et de Sûreté nucléaire du Burundi « ARSBU ». L'une des missions de cette institution sera d'établir des dispositions concernant la gestion sure et sécurisé des sources radioactives retirées du service et coordonner l'élaboration, la maintenance et la mise en œuvre d'une stratégie comportant ces dispositions (Réglementation de l'usage des rayonnements ionisants) [Domine, 2022]. Le texte pour la mise en place de cette autorité est en cours d'exécution.

Une étude réalisée par Dossou Julien et ses collaborateurs a montré qu'il est difficile de faire, dans certains pays, un suivi rigoureux et régulier des doses absorbées par le technicien (Personnel) en

imagerie médicale (TIM) à cause de la non disponibilité des dosimétries physiques précises (OSL,...) [Dossou, 2015].

Les effets biologiques résultant d'une exposition aux rayonnements sont l'aboutissement d'une longue chaîne de phénomènes, déclenchés par le passage du rayonnement dans la matière [Tubiana, 2005]. Cependant, les conséquences de ces expositions sont les anomalies de structures au niveau des chromosomes [Bogen, 2017], qui peuvent être à l'origine des effets aléatoires comme les mutations qui pourraient être la cause d'une maladie associée à l'exposition chez le travailleur [Dossou, 2015].

Sur terrain le constat est que le nombre quotidien des examens de radiographie augmente sans que les normes et les règles de radioprotection ne soient appliquées par toutes les structures utilisant ces rayonnements. Des lacunes au niveau des textes associées à une formation insuffisante en radioprotection des techniciens seraient à la base de ces pratiques. C'est pourquoi dans ce travail nous allons mener une une réflexion sur le thème : « **Évaluation de l'exposition du personnel des services d'imagerie médicale de certains Hôpitaux de Bujumbura par la dosimétrie OSL** ».

Au Burundi, aucune étude similaire antérieure n'a jamais été faite alors que la fréquence de l'utilisation des appareils émetteurs des rayonnements ionisants augmente. Pour mesurer la dose reçue, nous avons utilisé les dosimètres OSL. La lecture de ces dosimètres a été faite au laboratoire de dosimétrie par le lecteur des dosimètres **Landauer MicroSTAR** en utilisant le logiciel microSTAR. Pour évaluer le respect des règles de radioprotection, nous avons confectionné un questionnaire qui a été distribué aux personnels de huit hôpitaux enquêtés.

L'objectif principal poursuivi dans cette étude est d'évaluer l'irradiation, la surveillance dosimétrique et la radioprotection du personnel des services d'imagerie médicale de certains hôpitaux de Bujumbura : Hôpital Militaire de Kamenge (HMK), Hôpital de la Police Nationale du Burundi (HPNB), C.M.C.C Rohero, Centre Hospitalo-Universitaire de Kamenge (CHUK), Kira Hospital, Hôpital Prince Régent Charles (HPRC), l'INSP et Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura.

Les objectifs spécifiques pour atteindre l'objectif général sont :

- Évaluer les doses des rayons X reçues par le personnel des services d'imagerie médicale de certains hôpitaux de Bujumbura ;
- Évaluer la surveillance dosimétrique du personnel des services d'imagerie médicale de certains hôpitaux de Bujumbura ;
- Évaluer la radioprotection du personnel des services d'imagerie médicale de certains hôpitaux de Bujumbura.

Dans le cadre de cette étude, nous allons aussi mesurer et évaluer le risque de surexposition aux rayonnements ionisants par le personnel, et ensuite définir des stratégies de radioprotection et de sensibilisation relatives aux rayonnements ionisants et la radioprotection pour le personnel.

Chapitre 1

CONTEXTE, JUSTIFICATION, PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE DE RECHERCHE

1.1 Contexte, Justification et Problématique

Les radiations les plus couramment rencontrés en dehors des rayonnements naturels qui irradient le corps humain par exposition externe sont des rayonnements provenant du secteur médical. Les activités humaines servant au bien-être des populations comme l'imagerie médicale, la radiothérapie et la médecine nucléaire sont toutes responsables des expositions radiologiques en milieu médical [Hazou *et al.*, 2023], [ISO, 1994]. Les rayons X sont les plus utilisés en médecine pour des fins de radiodiagnostic en scanner, en radiologie ou soit en cardiologie interventionnelle. L'exposition externe à un niveau élevé de ces rayonnements non naturels peut entraîner des tumeurs malignes (source de cancer) et une diminution de la durée de vie.

Même si ces rayonnements ionisants sont des outils de base en médecine contemporaine (ils sont utilisés pour traiter des pathologies tumorales ou pour l'exploration des organes humains dans le but de diagnostiquer certaines pathologies radiologiquement décelables) [Ardaillou, 2008], [Tubiana, 2005], l'exposition aux rayonnements ionisants dépassant certaines limites peut provoquer des effets néfastes pour la santé. C'est pourquoi l'usage de ces rayonnements nécessite un dispositif efficace de radioprotection ; c'est-à-dire, un ensemble des règles, des procédures, et des moyens de prévention puis de surveillance visant à empêcher ou à réduire leurs effets nocifs sur les personnes.

Les besoins en soins de santé de la population de Bujumbura évoluent proportionnellement avec la croissance démographique de la ville. La demande croissante en soins de santé incite une explosion des centres de santé surtout ceux des services de l'imagerie médicale. Ainsi, au Burundi, l'augmentation du nombre de services d'imagerie médicale aussi bien dans le public que dans le privé laisse entrevoir plusieurs problèmes de radioprotection au moment où sur le terrain, le constat est que le

nombre quotidien d'examens de radiographie sollicité par jour est en augmentation également (résultats de l'enquête).

Le Burundi a promulgué la loi numéro 1/31 du 16 septembre 2022 relative à l'utilisation pacifique, à la sûreté et à la sécurité de l'énergie Nucléaire et aux Rayonnements ionisants autorisant la mise en place d'une autorité de Radioprotection et de Sûreté nucléaire du Burundi, « ARSBU », qui, attend le décret de sa mise en application. L'une des missions de cette institution est d'établir des dispositions concernant la gestion sure et sécurisé des sources radioactives retirées du service et coordonner l'élaboration, la maintenance et la mise en œuvre d'une stratégie concernant la réglementation de l'usage des rayonnements ionisants [Domine, 2022].

Le manque de moyens de protection, l'absence de la maintenance de certains appareils d'imagerie médicale depuis leur installation et l'absence d'une autorité de radioprotection font que certains travailleurs s'exposent aux rayonnements ionisants.

Il est de ce fait évident que dans ces conditions le risque d'exposition du personnel aux rayonnements ionisants est à craindre. C'est pourquoi, dans le cadre de ce travail nous avons jugé d'étudier et d'évaluer l'exposition professionnelle au sein de certains services d'imagerie médicale de Bujumbura. Étant donné que ces centres d'imageries médicales enquêtés reçoivent, selon notre enquête sur terrain, assez de demandes d'analyses médicales donc sont sources probable d'exposition radiologique.

1.2 Méthodologie et Matériels

1.2.1 Méthode

Il s'agit d'une étude transversale et expérimentale avec le dosimètre témoin qui vise à évaluer le système de radioprotection dans huit services d'imagerie Médicale de certains hôpitaux de la ville de Bujumbura au Burundi. Puis d'estimer le risque de surexposition aux rayonnements ionisants auxquels les personnels travaillant dans ces services sont exposés. Pour ce faire nous avons opté pour une analyse du système de radioprotection dans chaque structure d'imagerie médicale retenue.

Dans un premier temps, grâce au questionnaire que nous avons remis en mains propres aux participants, nous avons pu faire une appréciation du système de protection radiologique. Un entretien direct avec les responsables des services concernés nous a fourni davantage de renseignements. Grâce à un instrument de mesures de distances (le mètre) nous avons pris les dimensions des différentes salles d'examen. Pour mesurer la dose reçue, nous avons utilisé les dosimètres OSL. La lecture de ces dosimètres a été faite au labo par le lecteur des dosimètres **Landauer MicroSTAR** en utilisant le logiciel **microSTAR version 2019** .

Pour atteindre ces objectifs, les questions suivantes ont été formulées :

- Comment évaluer la mise en application des normes et règles de radioprotection relatives aux rayonnements ionisants dans les services d'imagerie médicale ?
- Que faut-il faire pour mesurer la dose reçue par le personnel travaillant sous rayonnements ?
- Comment évaluer la dose et les mesures de radioprotection chez le personnel travaillant sous rayonnement ionisant dans les services d'imagerie médicale ?

1.2.2 Matériel

Pour mesurer la dose reçue par le personnel des services d'imagerie médicale, nous avons utilisé les dosimètres OSL (**Optically Stimulated Luminescence : Dosimètres à luminescence stimulée optiquement**) :
Ces dosimètres mesurent l'irradiation grâce à des détecteurs d'oxyde d'aluminium ($Al_2O_3 : C$) et la technologie OSL. Ils ont pour avantage la possibilité de relecture et une grande sensibilité (dose minimale mesurable faible) et sont devenus populaires en raison de ces qualités favorables.



Figure 1.1 – Illustration d'une photo de Dosimètre OSL (Photo prise au labo de dosimétrie de l'INSP en 2023).

Les OSL fonctionnent à peu près de la même façon que les DTL (Dosimètres thermoluminescents), la principale différence étant liée au fait que la luminescence est produite par un faisceau lumineux plutôt que par la chaleur [Dance *et al.*, 2014] [Chen *et al.*, 2021].

- Le matériel utilisé pour vérifier le niveau de respect de l'ensemble des règles de la radioprotection :

– Un questionnaire formulé en tenant compte des normes, des règles et principes de radioprotection nationale et internationale en vigueur.
– Le mètre pour les mesures des dimensions des salles d'imagerie médicale



FIGURE 1.2 – Illustration d'une photo de prise des dimensions des salles (Photo prise par l'auteur au labo de dosimétrie de l'INSP en 2023).

– Une pointe en acier pour vérifier le plombage des murs des salles de radiographie ;
– Un appareil photo (CANON D80) pour prendre des images au besoin ;
– Pocket Annuler pour annuler ou remise à zéro la dose d'irradiation naturelle avant la distribution des dosimètres aux personnels ;



FIGURE 1.3 – Photo de Pocket Annuler (Photo prise par l'auteur au labo de dosimétrie de l'INSP en 2023).

- Pour la lecture des dosimètres, nous avons utilisé l'appareil **Landauer MicroSTAR série 16640846/USA** version 2019/Labo INSP :
  Le Landauer MicroSTAR est constitué d'un lecteur de dosimètre, de dosimètre OSL nanoDot et d'un ordinateur portable pour la gestion des mesures effectuées. Cette gestion est rendue possible grâce au logiciel microSTAR.

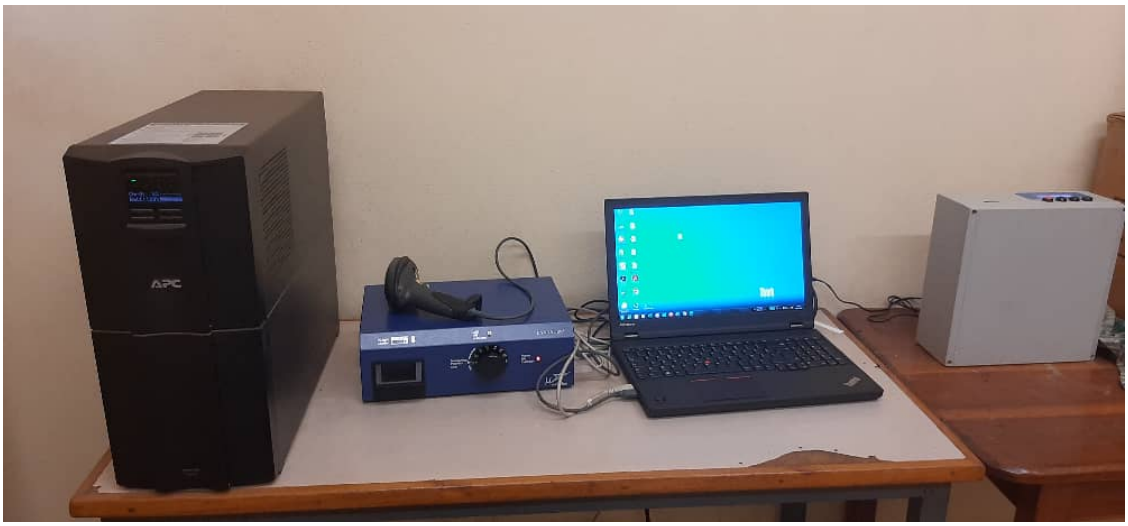


FIGURE 1.4 – Photo de l'appareil Landauer MicroSTAR (Photo prise par l'auteur au labo de l'INSP).

Le processus de lecture utilise une diode électroluminescente (LED) pour stimuler les détecteurs et, la lumière émise par le matériel OSL est détectée et mesurée par un tube de photomultiplicateur (PMT) utilisant un système très rapide de comptage de photon. La quantité de lumière sortie pendant la stimulation optique est exactement proportionnelle à la dose de radiation et d'intensité de la stimulation de la lumière.

1.3 Personnes enquêtées et Variables étudiées

1.3.1 Cadre d'Étude

Notre étude s'est effectuée dans huit (08) services d'imagerie médicale des hôpitaux de la ville de Bujumbura au Burundi à savoir : Kira Hospital, Hôpital Militaire de Kamenge, Centre Hospitalo-Universitaire de Kamenge (CHUK), Hôpital de la Police Nationale du Burundi, l'INSP, Hôpital Prince Régent Charles, Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura et Hôpital C.M.C.C Rohero.

1.3.2 Cadre humain

L'étude a concerné les travailleurs des services d'imagerie médicale qui sont responsables de la production des rayonnements ionisants lors des examens diagnostique de certaines pathologies radiolo-

giquement décelables, les médecins radiologistes dont le rôle est d'interpréter les clichés produits par les techniciens et les anesthésistes réanimateurs.

1.3.3 Variables étudiées

Les variables étudiées dans le cadre du travail de recherche sont :

- La quantité et la nature de la dose reçue par le personnel des services d'imagerie médicale ;
- Le niveau de respect des règles de radioprotection dans les services susmentionnés.

1.3.4 Critère d'inclusion

- Être utilisateur de radiologie et/ou Scanner ;
- Être régulièrement soumis à l'exposition professionnelle

1.3.5 Critère d'exclusion

- Être dans le service d'imagerie médicale mais non manipulateur ;
- Ne pas être régulièrement exposé aux rayons X dans la pratique quotidienne.

1.3.6 Méthode de collecte des données

Pour mener à terme notre travail, il a fallu distribuer un questionnaire aux personnels répondant à nos critères d'inclusion. Le questionnaire était subdivisé en deux grandes parties à savoir l'identification des personnels ainsi que la partie des questions ouvertes relatives à l'évaluation de l'exposition professionnelle. Pour mesurer la dose des rayons X reçue par les personnels des services d'imagerie médicale, cinquante trois dosimètres OSL **(Optically Stimulated Luminescence)** ont été remis à zéro et distribués aux participants, qui les ont portés pendant une période du 1 Octobre au 31 Décembre 2023. Ces dosimètres OSL ont enregistré la dose des rayons X absorbée par les individus et sont ensuite analysés en laboratoire de dosimétrie de l'INSP. Quelques obstacles ont été rencontrés au cours de notre travail :

- Réticence de certains personnels à répondre à nos questions ;
- Certains personnels qui refusaient de porter les dosimètres parce que ils ne voyaient comment les payer si ils arrivent à les perdre. Il nous a fallut beaucoup d'effort pour les convaincre et leur montrer la pertinence de ce travail.
- Réunion de tous les personnels d'un service pour leur enseigner comment porter les dosimètres et les conserver alors qu'ils ont des horaires différents.
- Vérification (contrôle) régulière du port des dosimètres lorsque le personnel est au lieu de travail.

Chapitre 2

GÉNÉRALITÉS SUR LES RAYONNEMENTS IONISANTS, LA DOSIMÉTRIE ET LA RADIOPROTECTION

2.1 Les rayonnements ionisants

2.1.1 Introduction

Le rayonnement est un transfert d'énergie sous forme d'ondes ou de particules (dualité onde-particule). Le rayonnement est généralement classé en rayonnement ionisant et en rayonnement non ionisant [Dance *et al.*, 2014].

- Le rayonnement ionisant possède suffisamment d'énergie pour arracher un électron d'un atome. Il comprend le rayonnement provenant de sources naturelles et de sources artificielles.
- Le rayonnement non ionisant comporte moins d'énergie que le rayonnement ionisant et est incapable d'arracher un électron d'un atome. Les ondes radioélectriques, les ondes sonores et les micro-ondes comptent parmi les exemples de rayonnement non ionisant.

Le présent mémoire est axé sur le rayonnement ionisant et les doses qu'il est susceptible d'entraîner.

2.1.2 Définition

Les rayonnements ionisants (X, γ, ions lourds, ...) : les rayonnements ionisants sont une propagation de l'énergie dans l'espace [Dance *et al.*, 2014]. Ils n'ont pas d'odeur, ne sont pas visibles et sont indétectables par les organes de sens de l'homme. Les rayonnements ionisants peuvent être classés en deux catégories :

- **Les rayonnements directement ionisants** : Ce sont des particules ou rayonnements particulaires, qui ont une masse au repos. Les rayonnements directement ionisants peuvent ioniser la matière qu'ils traversent, ils sont constitués de toutes les particules chargées (α, β, p : proton...) ;

  L'énergie de ces particules est donnée par la relation d'Einstein : $E = mc^2$, où m est la masse au repos et c la vitesse de la lumière ou « célérité » (3.10^8 m/s) [Podgorsak *et al.*, 2003].
- **Les rayonnements indirectement ionisants** : Ils sont constitués par des photons (X et γ) et donc n'ont pas de masse, ce sont des grains d'énergie ; ils communiquent une partie ou la totalité de leur énergie à des particules chargées qui vont ioniser la matière ; cette énergie est donnée par la relation $E = h\nu = hc/\lambda$, où h est la constante de Planck ($6,6.10^{-34} J.s$) et ν la fréquence du rayonnement [Podgorsak *et al.*, 2003].

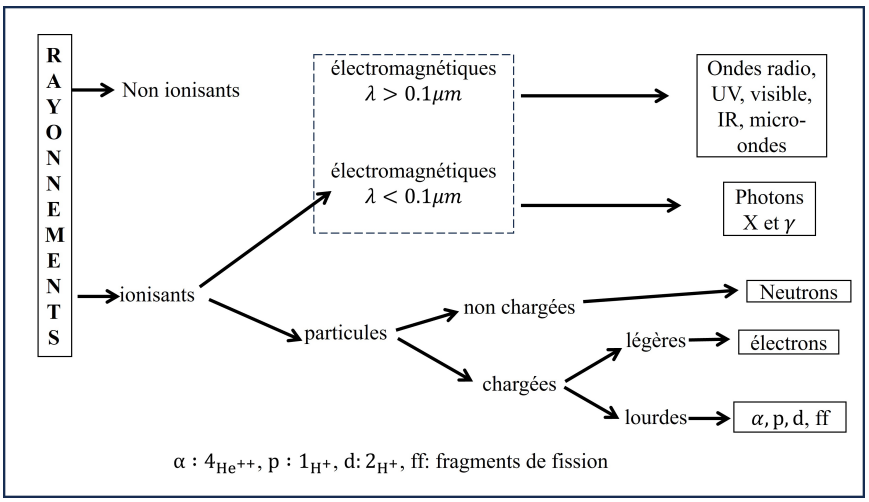


FIGURE 2.1 – Rayonnements Ionisants et non-ionisants.

Citons ici les quatre catégories principales de rayonnement ionisant [Ghlamallah, 2020] :

- le rayonnement alpha ;
- le rayonnement bêta ;
- le rayonnement photonique (rayons X et rayons gamma) ;
- le rayonnement neutronique.

Les rayonnements alpha et bêta peuvent être émis lorsqu'un noyau subit une désintégration radioactive. Le rayonnement neutronique ne peut être généré que par la fission nucléaire qui se produit uniquement avec certaines substances nucléaires présentant un numéro atomique élevé, comme l'uranium et le plutonium. Le rayonnement γ est composé de photons de haute énergie, il est appelé aussi rayonnement d'origine nucléaire. Le rayonnement X est formé de photons et il est dit rayonnement périphérique parce qu'il provient des électrons gravitant autour du noyau de l'atome. Peu importe la source, ces différentes catégories de rayonnements (alpha, bêta, photonique et neutronique) sont toutes capables de pénétrer dans le corps humain à des degrés divers et d'entraîner une dose de rayonnement [Chen *et al.*, 2021].

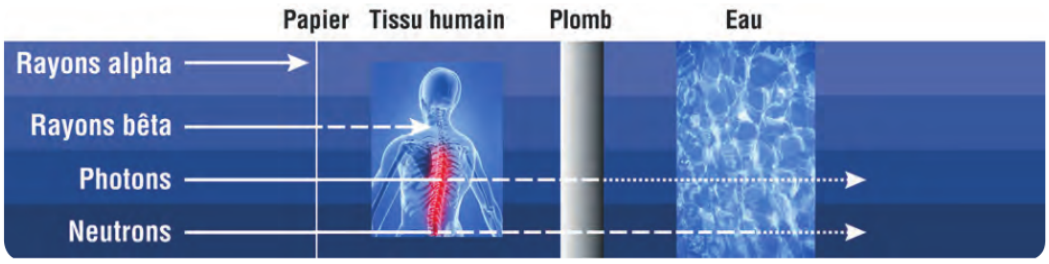


FIGURE 2.2 – Degré de pénétration des différents types de rayonnements ionisants.

2.1.3 Classification des rayonnements ionisants

Rayonnement alpha (α)

Le rayonnement alpha (α) est constitué de particules alpha comportant chacune deux protons et deux neutrons, et portant une double charge positive (noyaux d'helium). En raison de leur masse et de leur charge relativement importantes, leur capacité de pénétration dans la matière est extrêmement limitée. Le rayonnement alpha peut être arrêté par une feuille de papier ou une couche de cellules mortes de la peau [IRSN, 2012a] [Ghlamallah, 2020]. Par conséquent, le rayonnement alpha produit par des substances nucléaires se trouvant en dehors du corps ne présente pas de risque d'irradiation [Chen *et al.*, 2021].

Rayonnement bêta (β)

L'interaction faible est responsable de la radioactivité bêta (β). Il en existe deux types : la radioactivité (β^-) et la radioactivité (β^+). Un électron est émis dans la désintégration (β^-) et un positron dans la désintégration (β^+) [CLAUDE et CHRISTIAN, 2010]. Les particules β^- ont une charge négative, sont très petites et peuvent pénétrer plus profondément que les particules alpha. Contrairement au particule α, l'énergie cinétique des β^+/β^-, c'est-à-dire e^+/e^-, n'est pas constante mais varie de manière continue depuis zéro jusqu'à une valeur maximale. Il est néanmoins possible d'arrêter la majeure partie du rayonnement bêta avec une protection minimale, comme des feuilles de plastique, de verre ou de métal [Podgorsak *et al.*, 2003]. Lorsque la source de rayonnement se trouve à l'extérieur du corps, le rayonnement bêta d'une énergie suffisante peut entrer dans le corps en traversant la couche de cellules mortes de l'épiderme et communiquer son énergie aux cellules vivantes de la peau. Cependant, la capacité du rayonnement bêta à pénétrer dans les tissus et organes corporels plus profonds est très limitée [Chen *et al.*, 2021].

2.1.4 Rayonnement photonique (rayonnement gamma (γ) et rayons X)

Le rayonnement photonique est un rayonnement électromagnétique. Deux types de rayonnement photonique présentent un intérêt sur le plan dosimétrique : le rayonnement gamma (γ) et les rayons X [Podgorsak *et al.*, 2003]. En général, le rayonnement photonique peut traverser des distances plus grandes que les rayonnements alpha ou bêta et il peut pénétrer les tissus et les organes lorsque la source de rayonnement se trouve hors du corps [IRSN, 2012a]. Les rayons gamma sont de même nature que les rayons X mais sont d'origine et de fréquence différentes. Les rayons gamma sont produits par des transitions nucléaires, tandis que les rayons X sont produits par des transitions électroniques provoquées en général par la collision à haute vitesse d'un électron avec un atome [Chen *et al.*, 2021].

2.1.5 Production des rayons X

Les rayons X sont produits dans des tubes à rayons X également appelés tubes de Coolidge ou tubes à cathode chaude (voir figure 2.3). Le principe est le suivant : des électrons émis par une cathode (un filament, le plus souvent en tungstène, chauffé par le passage d'un courant électrique) sont accélérés par une différence de potentiel élevée (de 10 à 150 kV) en direction d'une cible constituée d'une anode en métal (en tungstène également). Les rayons X sont émis par la cible selon deux mécanismes :

- Le freinage des électrons par les atomes de la cible crée un rayonnement continu (rayonnement de freinage ou Bremsstrahlung) dont une partie dans le domaine des rayons X ;
- Les électrons accélérés ont une énergie suffisante pour exciter certains des atomes de la cible, en perturbant leurs couches électroniques internes. Ces atomes excités émettent des rayons X en retournant à leur état fondamental.

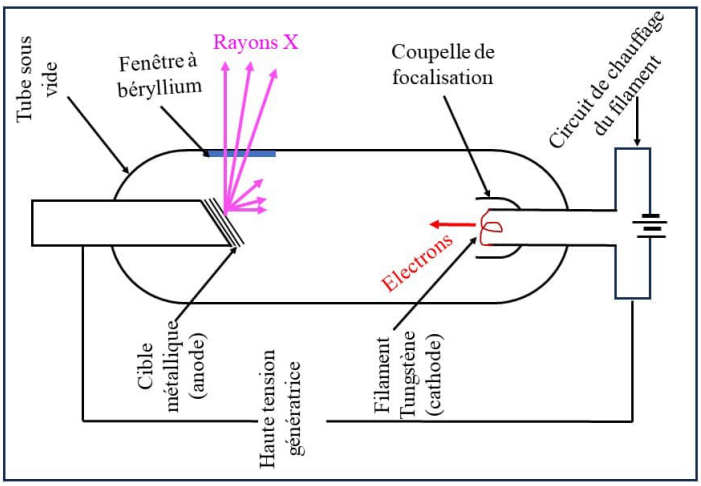


FIGURE 2.3 – Des rayons X sont générés lorsque des électrons qui s'échappent du filament chauffé (la cathode) sont accélérés par une différence de potentiel U et frappent une cible métallique (l'anode). L'ouverture dans la chambre à vide laisse passer les rayons X.

Une faible portion, 1% environ de l'énergie cinétique cédée par les électrons est rayonnée sous forme de rayons X, les 99 % restants sont convertis en énergie thermique [Amadou Tidiane, 2015].

2.2 Interaction photon-matière (effets macroscopiques)

2.2.1 Introduction

Les interactions des rayonnements tels que les photons et les électrons sont stochastiques et obéissent aux lois du hasard. Pour le rayonnement photonique, le concept de section transversale, et sa relation avec la probabilité, en découle directement. Cela peut s'expliquer assez simplement en considérant qu'un photon unique est incident sur une plaque de matériau de surface A qui contient une cible de section transversale [Podgorsak *et al.*, 2003].

Dans le cadre de ce travail, nous nous intéressons à l'interaction d'un ensemble de photons avec la matière, en caractérisant leur atténuation en fonction de l'épaisseur.

2.2.2 Loi d'atténuation

L'intensité du faisceau incident des photons monochromatiques de rayons X ou γ diminue lorsqu'il traverse une plaque d'un matériau d'épaisseur x, la perte de l'intensité est appelé l'atténuation du rayonnement. Cette atténuation a un caractère aléatoire défini par l'équation différentielle suivante [Ghlamallah, 2020] :

$$dI = -\mu.Idx \tag{2.1}$$

La solution de l'équation 2.1 est la loi d'atténuation exponentielle qui relie l'intensité du faisceau incident I_0 (nombre de particules par unité de surface et par unité de temps) perpendiculaire au plan d'une plaque (figure 2.4) avec l'intensité I du faisceau sortant de la plaque par la formule [Dance *et al.*, 2014] :

$$I(x) = I_0 e^{-\mu.x} \tag{2.2}$$

où μ est le coefficient linéique d'atténuation qui **dépend de la substance et de l'énergie du rayonnement**.

Si le faisceau traverse plusieurs milieux de coefficients d'atténuation linéique différents μ_1, μ_2, ..., μ_i sur des épaisseurs x_1, x_2, ...x_i la loi d'atténuation s'écrit [Ghlamallah, 2020] [Çalişkan et Çalişkan, 2018] :

$$I(x) = I_0 e^{-\Sigma_i \mu_i.x_i} \tag{2.3}$$

Pour un milieu non homogène :

$$I(x) = I_0 e^{-\int \mu(x).dx} \tag{2.4}$$

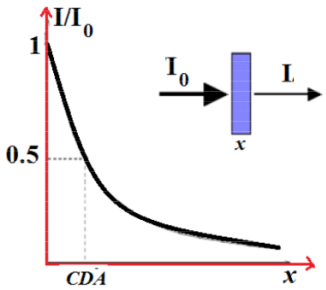


FIGURE 2.4 – Atténuation de rayonnement.

En utilisant la notion de coefficient d'atténuation massique $\frac{\mu}{\rho}$ afin de tenir compte de la densité d'un matériau, la loi d'atténuation s'écrit [Ghlamallah, 2020] :

$$I(x) = I_0 e^{-\frac{\mu}{\rho}\Omega} \tag{2.5}$$

où ρ est la masse volumique du matériau et $\Omega = \rho x$ la masse par unité de surface du matériau (masse surfacique) mesurée en kg/m^2.

Le coefficient d'atténuation massique a l'avantage d'être indépendant de l'état solide, liquide ou gazeux du matériau.

2.2.3 Coefficient d'atténuation et section efficace

La section efficace σ représente la probabilité d'interaction d'un rayonnement avec un atome du milieu. L'unité de la section efficace est le *barn* tel que : $1\ barn = 10^{-24} cm^2$. Elle est calculée par le rapport entre le taux d'interaction T et le flux incident Φ :

$$T = \sigma \Phi N \tag{2.6}$$

où Φ : le flux (le nombre de particules incidentes par unité de surface et par unité du temps) ; N : le nombre d'atomes dans le volume de la cible correspondant à la surface (S) couverte par le faisceau.

Le coefficient d'atténuation globale est relié à la section efficace totale d'interaction d'un photon avec un atome du milieu par la relation suivante [Dance *et al.*, 2014] :

$$\mu = \sigma n = \sigma \frac{\rho N_A}{A} \tag{2.7}$$

où n est la densité d'atomes du milieu (nombre d'atomes cible par unité de volume) :

$$n = \frac{N}{V} = \frac{mN_A}{AV} \tag{2.8}$$

où N_A est le nombre d'Avogadro, m est la masse de la cible, A est le numéro de masse atomique de la cible $\rho = m/V$ est la masse volumique de la cible [Ghlamallah, 2020].

2.2.4 Couche de demi-atténuation

On appelle couche de demi-atténuation $CDA = x_{1/2}$, l'épaisseur de matériau nécessaire pour atténuer d'un facteur 2 (diminuer de moitié) par rapport à l'intensité initiale [Çalişkan et Çalişkan, 2018] :

$$I(x_{1/2}) = \frac{I_0}{2} = I_0 e^{-\mu x_{1/2}} \tag{2.9}$$

$$\Rightarrow CDA = x_{1/2} = \frac{ln2}{\mu} \tag{2.10}$$

Remarque : On ne peut jamais arrêter totalement un faisceau de photons ; mais au delà de 10 CDA l'intensité de rayonnement à la sortie de l'écran est négligeable [Ghlamallah, 2020].

L'atténuation ou affaiblissement d'un rayonnement électromagnétique comprend, en plus des effets de l'absorption et de la diffusion, globalement tous les effets qui contribuent à des pertes de l'intensité.

2.3 Notions de dosimétrie

2.3.1 Introduction

La traversée de la matière par un faisceau de particules aboutit à un transfert d'énergie dans cette matière [CLAUDE et CHRISTIAN, 2010].

Le but de la dosimétrie est d'évaluer quantitativement cette énergie absorbée afin :

1. de prévoir les effets des traitements en radiothérapie aussi bien sur les tissus sains que sur les tissus tumoraux ;
2. de mesurer l'énergie déposée dans les tissus lorsque les rayonnements ionisants (directs ou indirects) sont utilisés à des fins diagnostics ;
3. de définir des normes de protection vis-à-vis de ces rayonnements (radioprotection) soit individuellement (sur le plan personnel ou professionnel), soit collectivement.

On distingue deux types principaux de dosimétries : La dosimétrie externe et interne.

- **La dosimétrie externe** est la mesure d'une dose lorsque la source de rayonnement se trouve à l'extérieur du corps (externe). En ce qui concerne les doses reçues par les êtres humains, la dosimétrie externe porte par conséquent sur les rayonnements capables de traverser la peau : le rayonnement bêta, le rayonnement photonique et le rayonnement neutronique.

Le principe fondamental de la dosimétrie externe consiste à déterminer la quantité d'énergie absorbée dans la matière et plus spécialement les tissus humains.

- **La dosimétrie interne** est la mesure des doses attribuables aux substances nucléaires qui sont entrées dans le corps par ingestion, par inhalation ou par d'autres moyens [Chen *et al.*, 2021].

2.3.2 Transfert et Absorption de l'énergie

Les grandeurs dosimétriques sont définies dans le but de fournir une mesure physique qui puisse être corrélée le mieux possible avec les effets de l'irradiation.

Lors des interactions des rayonnements avec la matière, on observe une série de phénomènes au cours desquels l'énergie des particules incidentes est transférée à d'autres particules et finalement absorbée dans la matière. Les grandeurs dosimétriques qui décrivent ces phénomènes concernent le transfert de l'énergie et l'absorption de l'énergie.
La **dose absorbée** exprime, en un point du milieu, la quantité d'énergie que le rayonnement traversant le milieu dépose au voisinage de ce point [Tubiana, 2005].

2.3.3 Dose absorbée

2.3.3.1 Définition

La dose absorbée D est le quotient de dE par dm, dans lequel dE est l'énergie déposée dans une masse de matière dm [Kloug, 2010]. On a donc :

$$D = dE/dm \tag{2.11}$$

où dE est égal à l'énergie cinétique de toutes les particules ionisantes (chargées ou non chargées) qui entrent dans le volume comprenant dm, moins la somme des énergies de toutes les particules ionisantes (chargées ou non chargées) qui quittent ce volume, plus la somme de tous les changements des énergies au repos Q des noyaux et particules élémentaires impliquées dans les interactions (Q>0 : diminution de l'énergie au repos ; Q<0 : augmentation de l'énergie au repos) [Tubiana, 2005].

La dose absorbée s'exprime en Jkg^{-1}. L'unité de dose absorbée est le gray (Gy), qui est égal à 1 joule par kilogramme [Podgorsak *et al.*, 2003].

2.3.3.2 Dose absorbée et densité d'ionisation

La dose absorbée est une grandeur non stochastique qui s'applique à la fois aux rayonnements indirectement et directement ionisants. Pour les rayonnements indirectement ionisants, l'énergie est transmise à la matière en deux étapes. Au cours de la première étape (qui aboutit au kerma : Kinetic energy released per unit mass (« énergie cinétique délivrée par unité de masse »)), le rayonnement indirectement ionisant transfère de l'énergie sous forme d'énergie cinétique aux particules chargées secondaires. Au cours de la deuxième étape, ces particules chargées transfèrent une partie de leur énergie cinétique au milieu (ce qui se traduit par une absorption) et perdent une partie de leur énergie sous forme de pertes radiatives [Podgorsak *et al.*, 2003].

Une dose de 1 Gy (=60.10^{17} eV/kg) correspond à une densité d'ionisation de 2.10^{17}ionisations par kg, soit 2.10^5 ionisations pour une cellule de masse 10^{-9} g.

La dose absorbée permet de quantifier l'exposition aux rayonnements ionisants de tout système biologique ou matériau. C'est une grandeur fondamentale qui peut être utilisée dans tous les domaines d'application des rayonnements ionisants.

Les effets physiques, chimiques et biologiques produits par une irradiation ionisante sont liés à la dose absorbée [Tubiana, 2005].

2.3.4 Dose équivalente

2.3.4.1 De la dose absorbée à la dose équivalente

Bien que les effets biologiques dépendent directement de la dose absorbée, celle-ci seule ne permet pas de prédire les effets biologiques ou cliniques. D'autres facteurs doivent être pris en compte, comme la distribution de la dose dans le temps, le système biologique et le type d'effet biologique, ainsi que la qualité du rayonnement. Celle-ci est définie par la nature des particules et leur spectre d'énergie.

Pour tenir compte de la qualité du rayonnement, le concept de dose équivalente a été défini pour les besoins de la radioprotection [Kloug, 2010]. Ce concept introduit, en plus de la quantité d'énergie absorbée, un facteur W_R qui tient compte des différences de nocivité biologique des rayonnements ionisants, donc de l'importance du risque que ces irradiations font encourir à dose absorbée égale [Tubiana, 2005].

2.3.4.2 Dose équivalente dans un tissu ou un organe

En radioprotection, la dose équivalente dans un tissu ou organe T, irradié par un rayonnement R, est la dose absorbée moyenne, $D_{T,R}$, dans ce tissu ou cet organe, pondérée par la qualité du rayonnement [Kloug, 2010] :

$$H_{T,R} = W_R D_{T,R} \tag{2.12}$$

Les facteurs de pondération radiologiques W_R (pour la qualité du rayonnement) sont définis pour un rayonnement R incident sur le corps. Les valeurs de W_R sont indiquées dans le Tableau 2.1 :

Tableau 2.1 – Valeurs du facteur de pondération radiologique W_R.

Type de rayonnement [(a)]	Facteur de pondération radiologique W_R
Photons	1
Electrons [(b)] et muons	1
Protons et pions chargés	2
Particules alpha	
fragments de fission, ions lourds	20
Neutrons [(c)] : fonction continue de l'énergie	2,5-20

(a) valeurs définies pour un rayonnement incident sur le corps ou, en cas de contamination interne, émis par le radionucléide incorporé.

(b) Sauf pour les précurseurs de l'ADN marqués au tritium et émetteurs d'électrons Auger.

(c) W_R est égal à 2,5 pour des neutrons d'énergie inférieure à $\approx 10keV$, puis augmente en fonction de l'énergie pour atteindre une valeur maximale de $\approx$ 20 à 1 MeV. W_R diminue ensuite avec l'énergie. Pour des énergies supérieures à 1GeV, $W_R = 2,5$.

La dose équivalente s'exprime en joule par kilogramme (comme la dose absorbée). L'unité de dose équivalente est le sievert (Sv) qui est égal à 1J/kg pour un rayonnement pour lequel $W_R = 1$ [Protection, 2007].

Le DARI (dose annuelle due au rayonnement interne) a été proposé comme sous-unité du sievert. Il est égal à la dose annuelle délivrée à l'organisme par les radioéléments naturels incorporés dans les tissus (essentiellement le potassium 40 et le carbone 14), soit $\sim 0,2$ mSv par an. La concentration corporelle moyenne du potassium 40 est de $\sim$ 60 Bq/kg, correspondant à une dose annuelle de $\sim 0,18$ mSv. L'intérêt du DARI est qu'il varie peu d'une région du globe à l'autre, compte tenu du contrôle homéostatique très rigoureux auquel le potassium est soumis [Tubiana, 2005].

La dose équivalente ne peut pas se mesurer, elle se calcule. En cas d'irradiation interne, W_R est choisi en tenant compte de l'émission du (des) radionucléide(s) incorporés. Ainsi, une dose absorbée au squelette de 10 mGy, délivrée par irradiation externe au moyen de rayons X ou gamma, équivaut à 10 mSv car, pour ces rayonnements, W_R est égal à 1 (c'est la valeur de référence). En revanche, elle entraîne u risque équivalent à celui d'une dose absorbée de 0.5 mGy délivrée par le radium 226, car celui-ci émet des particules alpha dont le facteur de pondération est égal à 20.

Ainsi :

- 10 mSv = 10 mGy $\times$ 1 dans le cas de rayons X ou gamma;
- 10 mSv = 0,5 mGy $\times$ 20 dans le cas de particules alpha.

En conclusion, la dose équivalente permet d'« additionner », pour les besoins de la radioprotection, les

effets de divers rayonnements ionisants qui entraînent, à dose absorbée égale, des risques différents. Elle sert de dénominateur commun aux divers rayonnements.

Un concept semblable mais non identique à la dose équivalente a été introduit par l'ICRU (1996 & 1993 b) : l'équivalent de dose H, qui est le produit de la dose absorbée D en un point par le facteur de qualité Q du rayonnement en ce point. On a :

$$H = QD \tag{2.13}$$

L'équivalent de dose s'exprime en sievert (Sv) comme la dose équivalente. Le facteur Q est sans dimension et sa valeur numérique est définie par rapport au TEL_∞. on a :
- pour un $TEL_\infty < 10$: $Q = 1$
- pour $10 < TEL_\infty < 100$: $Q = 0,32\ TEL_\infty - 2,2;$
- pour un $TEL_\infty > 100$: $Q = 300/(TEL_\infty)^{1/2}$. Par exemple, pour des particules alpha de $TEL_\infty = 144$ keV/μm, on calcule Q=25 [Tubiana, 2005].

2.3.5 Dose efficace

2.3.5.1 Concept de dose efficace

En cas d'irradiation partielle ou hétérogène, la probabilité d'apparition des effets tardifs (cancers et effets génétiques) ne dépend pas seulement de la dose absorbée et de la qualité du rayonnement, mais également d'autres facteurs dont les radiosensibilités particulières des organes et les volumes (dimensions) des régions irradiées.

Toute organe (ou tissu) n'a pas la même sensibilité face aux rayonnements ionisants, il est donc nécessaire d'attribué un facteur de pondération tissulaire W_T pour tenir compte de la gravité de l'atteinte de cet organe, toutes choses égales par ailleurs. Ce facteur permet de calculer la dose efficace. Sa valeur est périodiquement révisée en fonction des données épidémiologiques et expérimentales [Tubiana, 2005].

2.3.5.2 Définition

La dose efficace est une mesure de la dose équivalente pondérée par les différents organes et tissus du corps, en tenant compte de leur susceptibilité aux rayonnements. Cette quantité est calculée pour l'ensemble du corps. Les doses efficaces provenant de différents types de rayonnements et de modes d'exposition peuvent être comparées directement. Les limites de dose annuelle pour l'exposition professionnelle et publique sont exprimées en termes de dose efficace annuelle, dans le cas de l'exposition d'un organe, des mains ou des pieds, elles sont exprimées en termes de dose efficace annuelle [Podgorsak *et al.*, 2003].

La dose efficace E (**dose effective**) est la somme des produits des doses équivalentes délivrées à tous les tissus/organes (T) du corps et des facteurs de pondération tissulaire W_T correspondants.
On a :

$$E = \sum_T W_T H_T \tag{2.14}$$

La dose efficace peut aussi s'exprimer par la somme des doses absorbées dans tous les tissus/organes du corps pondéré pour la qualité du rayonnement W_R et pour le tissu irradié W_T. On a dans ce cas :

$$E = \sum_R W_R \sum_T W_T D_{T,R} = \sum_T W_T \sum_R W_R D_T \tag{2.15}$$

L'unité de dose efficace est le sievert (Sv), comme celle de dose équivalente. Il est donc important de spécifier clairement la grandeur considérée pour éviter toute confusion [Kloug, 2010].
La dose efficace correspond donc à la dose équivalente qui, si elle était reçue de façon uniforme au niveau de l'organisme entier, comporterait le même risque que des doses équivalentes H différentes, reçues au niveau des différents organes. L'intérêt de cette grandeur est de permettre l'addition des risques dus à plusieurs irradiations partielles et d'exprimer par un seul chiffre le risque cumulatif (Par exemple, une irradiation de la thyroïde par l'iode radioactif et du squelette par strontium radioactif) [Podgorsak *et al.*, 2003],[Tubiana, 2005].

2.3.5.3 Concepts relatives aux doses

Lorsque le rayonnement ionisant pénètre dans la matière, par exemple dans le corps humain, il lui communique de l'énergie. L'énergie absorbée par unité de masse à la suite de l'exposition au rayonnement porte le nom de dose. Il y a trois types différents de doses : la dose absorbée, la dose équivalente et la dose efficace. La figure 2.5 résume la relation entre ces quantités [Chen *et al.*, 2021].

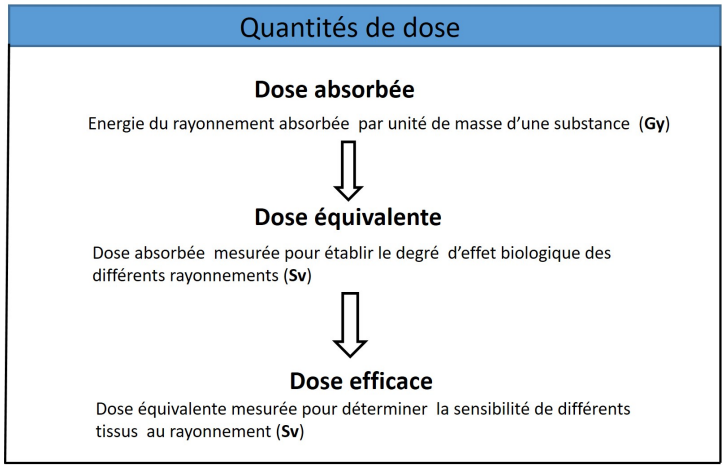


Figure 2.5 – Relation entre la dose absorbée, la dose équivalente et la dose efficace

2.3.5.4 Unités de mesure des rayonnements ionisants

Dans le domaine du nucléaire et en radioprotection, trois unités sont fréquemment utilisées : le Becquerel (Bq), le gray (Gy) et le sievert (Sv).

- **Le gray (Gy)** mesure la dose physique absorbée par la matière. Elle représente l'énergie absorbée par un kilogramme de matière exposé à un rayonnement ionisant apportant une énergie d'un joule :1 $Gy = 1\ J/kg$. L'ancienne unité de mesure utilisée était le rad (Radiation Absorbed Dose) : 1 $gray = 100\ rad$ [IRSN, 2012b].
- **Le sievert (Sv)** est l'unité de mesure des doses équivalentes et efficaces, qui permet d'évaluer l'impact du rayonnement sur la matière vivante. Ainsi défini l'on peut comparer l'effet d'une même dose délivrée par des rayonnements de nature différente à l'organisme entier, des organes ou des tissus qui n'ont pas la même sensibilité aux rayonnements. L'ancienne unité de mesure utilisée était le rem : 1 $rem = 0,01\ Sv$.
- **Le becquerel (Bq)** mesure l'activité (le nombre de désintégration par seconde) de la matière radioactive. Anciennement l'unité de mesure utilisée était le Curie (Ci). (1 $Ci = 3,7.10^{10}\ Bq$) [IRSN, 2012b].

2.3.6 Transfert d'Énergie Linéique (TEL)

Pour les particules chargées, le transfert d'énergie linéique (TEL), L_Δ, d'un matériau est le quotient dE_Δ/dl, dans lequel dE_Δ est l'énergie perdue par une particule chargée due aux collisions électroniques en parcourant une distance dl de ce matériau, moins la somme des énergies cinétiques de tous les électrons mis en mouvement pour lesquels les énergies cinétiques sont supérieures à Δ. On a donc [CLAUDE et CHRISTIAN, 2010], [Tubiana, 2005] :

$$\mathrm{L}_\Delta = \mathrm{dE}_\Delta/\mathrm{dl} \tag{2.16}$$

E peut être exprimé en eV, d'où L_Δ peut être exprimé en eV μm^{-1}, multiples ou sous-multiples commodes, comme keV μm^{-1}.

On définit TEL comme une mesure de l'énergie déposée par une particule, traversant une distance donnée dans le milieu. Tout type d'irradiation aboutit ainsi à une perte d'energie dE le long d'un trajet [Podgorsak *et al.*, 2003].
Conséquence : plus le TEL est élevé, plus la quantité d'énergie cédée est grande sur une faible distance (ou épaisseur des tissus), et plus la zone traversée subit d'ionisations.

Le TEL reflète donc directement la nuisance biologique d'un rayonnement (plus l'énergie cédée localement est grande, plus les **dégâts** sont importants).

Le TEL n'est pas accessible à la mesure mais seulement au calcul. Cependant, celui-ci nécessite une détermination du spectre des particules qui est généralement difficile à établir. Le TEL dérive du pouvoir de ralentissement et, comme celui-ci, il représente une grandeur moyenne qui ne prend pas en compte le caractère discontinu des transferts d'énergie [Waldhäusl *et al.*, 2005].

2.4 Rappels sur les principes fondamentaux de la radioprotection en milieu hospitalier

La radioprotection est l'ensemble des moyens devant être utilisés pour protéger les personnes exposées aux radiations ionisantes. Ces moyens doivent être adaptés à la nature des radiations ainsi qu'aux conditions particulières de leur utilisation et se conformer au principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable), [de la Justice, 2015].

Les règles de base en radioprotection sont relativement simples et consistent essentiellement à réduire au maximum l'exposition de l'utilisateur aux radiations :

- s'assurer de l'efficacité et de la sécurité de la procédure expérimentale en simulant l'expérience au préalable ;
- empêcher la propagation des rayonnements ionisants en ayant recours à des blindages et/ou au confinement ;
- choisir et manipuler des sources radioactives de la plus faible activité (nombre de désintégrations par unité de temps) possible pour le résultat recherché ;
- travailler derrière un blindage ou le plus loin possible de la source ;
- réduire le temps d'exposition ;
- manipuler dans une hotte ou une boîte à gants s'il y a production d'aérosol ;
- utiliser des moyens de protection personnels adéquats : sarrau, gants, tablier de plomb si requis, etc. ;
- vérifier les taux d'exposition et les contaminations possibles.

Dans tous les cas, il faut que le personnel soit adéquatement formé et informé des risques et des mesures de protection en situation normale et en cas d'incidents ou d'accidents.
La protection des travailleurs et du public contre les effets des rayonnements ionisants est fondée sur les concepts de la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) émis en 1977 (CIPR n^o 26) puis en 1990 (CIPR n^o60) et sur la directive EURATOM 96/29. Les objectifs de la réglementation en matière de radioprotection reposent sur les trois principes fondamentaux suivants [CEA, 2007] :

- **Le principe de justification** ; l'utilisation des rayonnements ionisants doit être justifiée au regard du détriment sanitaire qu'elle peut engendrer. Plus simplement, toute exposition doit être justifiée dans le sens qu'elle doit apporter plus d'avantages que d'inconvénients ;
- **Le principe d'optimisation** ; en application de ce principe les matériels, les procédés et l'organisation du travail doivent être conçus de telle sorte que les expositions individuelles et collectives soient maintenues aussi bas qu'il est raisonnablement possible en dessous des limites réglementaires (principe ALARA) ;
- **le principe de limitation** ; une fois que le « risque » induit par une activité justifiée a été optimisé, il reste à s'assurer que les expositions individuelles ne dépassent pas les limites de doses réglementaires en dessous desquelles le risque est jugé acceptable.

Les principes de justification, d'optimisation et de limitation des doses sont appliqués dans le cadre d'une organisation rationnelle du travail permettant d'évaluer la qualité de la protection et de la prévention mises en œuvre dans les installations du CEA [Sugier *et al.*, 2005].

2.5 Matériels de Radioprotection

C'est du matériel qui permet de se préserver des rayonnements ionisants afin d'éviter leurs effets pervers. Il existe des gros matériels et du petit matériel. En outre l'on peut noter des moyens de radioprotection immatériel qui sont notamment la distance de l'individu par rapport à la source de production des rayonnements ionisants. Plus la distance est grande moins l'individu est exposé aux rayonnements. Enfin le temps d'exposition : plus le temps d'exposition est court moins le risque d'exposition est grand.

2.5.1 Petits matériels

- **Lunette plombée ou lunette anti rayons-X**

Ce sont des lunettes pour la protection afin d'éviter que l'opérateur ne reçoivent les rayons-X dans les yeux.



Figure 2.6 – Illustration d'une paire de lunette plombée

- **Cache–thyroïde**

Cache –thyroïde est un matériel de radioprotection permettant au travailleur de protéger sa thyroïde contre l'exposition aux rayonnements ionisants. Il assure une protection optimale de la zone du cou et du sternum une fois mis avec une blouse [Socimed, 2023].



FIGURE 2.7 – Illustration du port d'un cache thyroïde

- **Protège-gonades anti-X**

Les protège gonades sont de plus en plus couramment employés lors des examens radiologiques. Ils sont particulièrement recommandés pour les examens pratiqués sur les enfants, plus sensibles aux rayonnements. En tout état de cause, les protège gonades constituent un équipement de protection de base, incontournable en radiologie [Xraystore, 2023].



FIGURE 2.8 – Illustration d'une Photo d'un protège gonade

- **Tablier plombé**

Le tablier plombé est la dernière ligne de défense permettant au technologue de se protéger contre les rayonnements ionisants. Il assure une protection parfaite contre les rayonnements-X.



FIGURE 2.9 – Illustration d'un tablier plombé.

2.5.2 Gros matériels

- **Mur plombé ou anti rayons-X**

C'est un mur sur lequel l'on a appliqué une couche de plomb dont le but est d'empêcher la traversée des rayons-X.

- **Paravent plombé anti rayons-X**

Il est un moyen de protection physique servant d'interface entre l'opérateur et le tube de production des rayons-X.



FIGURE 2.10 – Illustration d'un Paravent plombé anti rayons-X.

Distance tube de rayons-X — opérateur :
C'est la distance qui sépare le tube de production de rayonnements ionisants à l'opérateur. Elle est un moyen de radioprotection car plus cette distance est raisonnable, plus elle contribue à protéger l'opérateur des effets pervers des rayons-X. La distance minimale recommandée dans une salle radio-diagnostique est de 2,5 mètres.

Le débit de dose varie avec l'inverse du carré de la distance (CIPR n^0 60).

$$D(x) = D_0/x^2$$

– $D(x)$: est la dose mesurée au point situé à une distance x de la source ;
– D_0 : est la dose émise par la source ;
– x : est la distance séparant la source et l'opérateur.

Chapitre 3

RÉSULTATS

Introduction

Dans le cadre de cette étude, l'évaluation de l'exposition professionnelle (irradiation) a été menée dans huit hôpitaux de Bujumbura à savoir : Kira Hospital, Hôpital Prince Régent Charles, Centre Hospitalo-Universitaire de Kamenge (CHUK), Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura, INSP, Hôpital de la Police Nationale du Burundi, Hôpital C.M.C.C Rohero et Hôpital Militaire de Kamenge. Nous avons confectionné un questionnaire qui a été distribué en mains propres aux 45 personnels des services d'imagerie médicale des hôpitaux susmentionnés.

Dans l'objectif de mesurer les doses des rayonnements reçues par les personnels travaillant dans les services d'imagerie médicale, nous avons préparé et distribué 53 dosimètres OSL dont 8 étaient des dosimètres témoins qui nous ont permis de mesurer l'irradiation naturelle des endroits où se trouvent les huit structures de santé concernées par notre étude.

3.1 Caractéristiques sociodémographique des enquêtés

3.1.1 Genre

Parmi les 45 questionnaires distribués 33 ont été retournés soit un taux de participation de 73,33%. Sur les 33 personnels enquêtés dans les huit hôpitaux, nous avions recensé 27 hommes et 6 femmes soit une sexe-ratio de 4.5 hommes pour une femme.

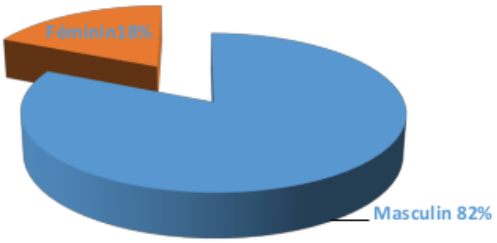


FIGURE 3.1 – Répartition du personnel selon le genre.

3.1.2 Profil du personnel

Le personnel travaillant sous rayonnements ionisants était essentiellement des médecins radiologues, des techniciens en imagerie médicale et un infirmier de niveau A2 formé sur terrain. Le profil de technicien radiologue était le personnel le plus rencontré.

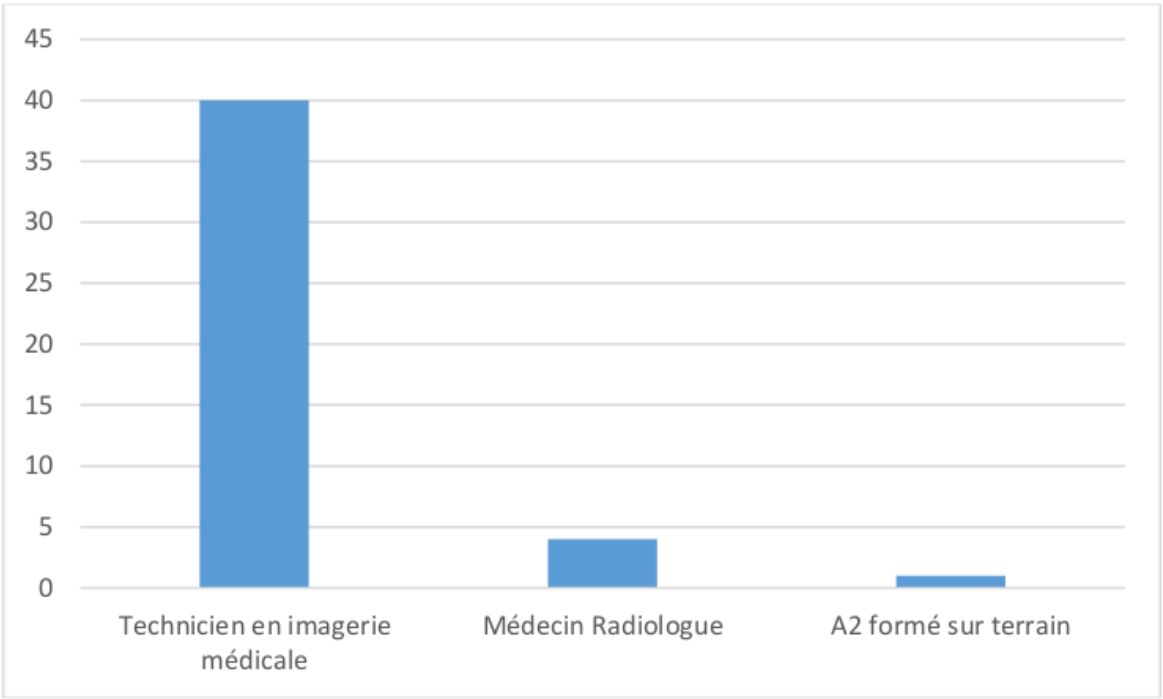


FIGURE 3.2 – Répartition du personnel selon le profil.

3.2 Moyen de protection chez les personnels d'Imagerie Médicale

3.2.1 Moyen Individuel

Ce tableau illustre les matériels de protections individuels que disposent les services d'imagerie médicale de huit hôpitaux enquêtés de la ville de Bujumbura.

Tableau 3.1 – Disponibilité des équipements de protection individuels (EPI) dans les services d'imagerie médicale.

Petits matériels de Protection	Effectif sur 33 personnels ayant ces RX
1. Gants plombés	6 (18.18%)
2. Tablier plombé	33 (100%)
3. Cache gonade plombé	5 (15.15%)
4. Cache ovaire plombé	6 (18.18%)
5. Cache thyroïde plombé	16 (48.48%)
6. Lunettes plombés	10 (30.3%)

Nous remarquons que 18,18 % des enquêtés ont des gants plombés et cache ovaire plombés, 100 % disposent un tablier plombé, 48,48 % possèdent de cache thyroïdes plombés, seulement 15,15% des enquêtés ont cache gonades plombés et 30,3 % disposent des lunettes plombés.

3.2.2 Moyen collectif

Ce tableau illustre les moyens de radioprotection collective que disposent les services d'imagerie médicale de huit hôpitaux enquêtés de la ville de Bujumbura.

Tableau 3.2 – Caractéristiques des équipements de radioprotection collective

Gros matériels de Protection	Nombre d'hôpitaux sur 8 possédant ce moyen
1. Cabinet en paravent plombé	4 (50%)
2. Cabinet en mur en béton & paravent	2 (25%)
3. Cabinet en brique	2 (25%)
4. Signalisation du public	2 (25%)

L'enquête a mis en évidence 4 services ayant un cabinet en paravent plombée, 3 ayant un cabinet en mur en béton et paravent et deux services qui disposent une signalisation du public et Cabinet en brique.

3.3 Normes de constructions de la salle abritant les appareils d'Imagerie Médicale

Le tableau 3.3 illustre la nature des vitres, fenêtres, portes et mur des salles abritant les appareils d'Imagerie Médicale.

Tableau 3.3 – Caractéristiques des salles abritant les appareils d'imagerie médicale

Nature des vitres, portes, fenêtres et existence des salles d'attente dans les hôpitaux	**Nombre d'hôpitaux sur 8**
Mur en béton	6 (75%)
Fenêtres et Porte plombés	3 (37.5%)
Vitres plombes	7 (87.5%)
Salle d'attente	5 (62.5%)

Six salles sur neuf sont construites en béton soit 66,66 %, 3 salles seulement sur neuf enquêtées (Hôpital Prince Régent Charles dispose deux salles d'imagerie médicale), soit 33,33 %, des salles enquêtées ont des fenêtres et portes plombées alors que deux ne disposent pas des vitres plombées. Les salles d'attente ont été observées dans 5 hôpitaux sur 8.

3.4 Calibrages des équipements

Le tableau 3.4 nous montre la disponibilité des physiciens médicaux et techniciens biomédicaux dans les services d'imagerie médicale mais aussi les pratiques liées au calibrage des appareils d'imagerie médicale.

Tableau 3.4 – Tableau récapitulatif de l'état de calibrage et disponibilité des physiciens médicaux et techniciens biomédicaux dans les services d'imagerie médicale

Hôpital	Physicien médical	Technicien biomédical	Connaissance de l'état de calibrage
1.Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura	0	0	NON
2.C.M.C.C Rohero	0	0	NON
3. INSP	0		NON
4. Hôpital MK	0	0	NON
5. HPRC	0	0	NON
6. HPNB	0	1	NON
7. CHUK	0	0	NON
8.KIRA HOSPITAL	0	1	NON

Nous remarquons que sur les huit hôpitaux enquêtés, aucun test de calibrage n'est effectué pour voir si la dose effective E est inférieure aux valeurs recommandées par le NCRP. L'enquête continue à nous montrer que ces services ne disposent aucun physicien médical, les techniciens biomédicaux sont rares alors que le travail de ces derniers est de grande importance dans les services d'imagerie Médicale. Dans les services d'imagerie médicale, le travail d'un physicien médical est de garantir la sécurité des patients comme des personnels tandis que le technicien biomédical est le responsable de l'entretien du matériel biomédical.

3.5 Surveillance dosimétrique des personnels du service d'Imagerie médicale

3.5.1 État des lieux de pratique de radioprotection dans les huit services d'imagerie médicale

Le tableau 3.5 montre la situation sur les pratiques de la radioprotection par les personnels de services d'imagerie médicale des huit hôpitaux enquêtés.

Tableau 3.5 – Adhérence aux pratiques de la radioprotection par le personnel travaillant sous le rayonnement ionisant

Quelques pratiques liées à la radioprotection	**Effectif sur 33**
Disponibilité d'un dossier individuel de suivi de dose	13 (39,39%)
Suivi dosimétrique périodique	13 (39,39%)
Port d'un tablier en plomb pendant les heures de travail	16 (48,48%)
Les personnels qui se positionnent à une distance ≥ 2 m de la source pendant le travail	33 (100%)
Personnels qui disposent des manuels ou fiches techniques de procédures en radioprotection dans leurs services	3 (9,09%)
Personnels qui ont déjà bénéficié d'une (des) formation(s) en cours d'emploi en rapport avec la radioprotection	6 (18,18%)

Les résultats de notre enquête révèlent que 13 sur 33, soit 39,39 %, des enquêtés bénéficient d'un suivi dosimétrique et disposent un dossier individuel de suivi de dose. Les mêmes résultats montrent que les personnels des services d'imagerie médicale ne passent pas des examens hématologiques (NFS). Le respect de la distance séparant la source d'irradiation et la salle de commande (paravent) est respecté dans toutes les structures de santé enquêtées. L'enquête continue à nous montrer que

trois sur 33 enquêtés soit 9,09 % des enquêtes, disposaient des manuels ou fiches techniques de procédure en radioprotection dans leurs services et que 6 seulement sur 33 travailleurs des services d'imagerie médicale, soit 18,18 % des enquêtés, ont déjà bénéficié de formations en cours d'emploi en radioprotection organisées par les partenaires de l'INSP.

3.5.2 Surveillance collective des personnels

Le tableau 3.6 illustre les pratiques de surveillance collective des personnels dans les huit services d'imagerie médicale impliquées dans le cadre de cette étude.

Tableau 3.6 – Adhérence aux pratiques de surveillance collective des personnels exposés

Quelques pratiques collectives liées à la radioprotection	**Effectif des hôpitaux sur 8**
Disponibilité d'un médecin légiste pour le suivi de la santé des personnels d'Imagerie médicale	0 (0,0%)
Disponibilité d'une personne compétente en Radioprotection	1 (12,5%)
Services qui disposent de matériels de protection individuelle pour les stagiaires	0 (0,0%)
Services qui font des suivis dosimétriques aux stagiaires	0 (0,0%)
Services qui exigent les tests de grossesse ou échographie pelvienne avant de commencer les stages	0 (0,0%)
Les services qui accordent les stages aux jeunes femmes même si elles sont enceintes	7 (87,5%)

Notre enquête montre que tous les services d'imagerie médicale enquêtés ne disposent d'un médecin légiste pour le suivi de la santé des personnels, des matériels de protections individuelle pour les stagiaires ou des dosimètres pour les stagiaires. Les services qui octroient les stages n'exigent aucun test de grossesse ou échographie pelvienne pour accorder les stages. Une seule structure sur 8 a signalé qu'elle ne donne pas de stages. Et sept qui accordent des stages affirment recevoir même les femmes enceintes. Les personnes compétentes en radioprotection sont rares, seule une seule structure en dispose.

3.6 Information sur les heures de travail des personnels et autres droits

3.6.1 Heures de travail et nombre de patients reçus par jour

Le tableau suivant présente les détails sur les heures de travail des personnels (inclus les gardes de nuits, weekend et jours fériés) ainsi que la fréquence des patients par jour.

Tableau 3.7 – Situation sur les heures de travail des personnels et le nombre des patients accueillis par jour

Structure médicale	Heures de travail par semaine	Nombre de patients reçus par jour
Polyclinique Maison Médicale		**15-30**
Travailleur 1	40	
C.M.C.C Rohero		**20-25**
Travailleur 1	67,5	
Travailleur 2	72	
Travailleur 3	72	
INSP		**10-15**
Travailleur 1	40	
Travailleur 2	24	
Travailleur 3	16	
HMK		**50-60**
Travailleur 1	45	
Travailleur 2	40-45	
Travailleur 3	40	
Travailleur 4	40	
Travailleur 5	Il n'a pas répondu	
Travailleur 6	Il n'a pas répondu	
Travailleur 7	40-50	
Travailleur 8	50	
Travailleur 9	40	
CHUK		**35-50**
Travailleur 1	36	
Travailleur 2	52	
Travailleur 3	40	
Travailleur 4	40	
Travailleur 5	50	
KIRA HOSPITAL		**30-50**
Travailleur 1	40	
Travailleur 2	40-50	

Travailleur 3	45	
Travailleur 4	Il n'a pas répondu	
Travailleur 5	50	
HPNB		**15-20**
Travailleur 1	40-50	
Travailleur 2	50	

Les heures de travail varient entre 36h et 72h, le nombre de patients par service est entre 10 et 60 par jour. Certains dépassent le nombre d'heures permis par la loi (40 h par semaine) parce ce qu'ils travaillent soit dans plus d'un service d'imagerie médicale, soit ils acceptent les heures supplémentaires moyennant une rémunération. Le personnel de HPRC n'a pas donné les informations sur les heures de travail, nous ignorons la cause. Le nombre de patients accueillis dans ce service varie de 30 à 50 patients par jour.

3.6.2 Avantages liés au métier

La situation sur les avantages que les personnels des services d'imagerie médicale devraient bénéficier est illustrée dans le tableau 3.8.

Tableau 3.8 – Situation sur les avantages que devraient bénéficier les travailleurs exposés

Avantages liées au travail	Nombre de personnes sur 33 qui bénéficient ces avantages
Congé d'irradiation (à RX)	0 (0,0%)
Une indemnité d'irradiation (à RX) sur le salaire	15 (45,45%)
Régime alimentaire	0 (0,0%)

Les résultats de l'enquête montrent qu'aucun personnel des huit services d'imagerie médicale ne bénéficie d'un congé d'irradiation tandis que 15 seulement sur 33 reçoivent sur leur salaire une indemnité d'irradiation. Il y a ceux qui reçoivent une indemnité forfaitaire de 20.000 francs burundais sur leur salaire, d'autres 20 % ou 24,4% du salaire comme indemnité. Et 3 parmi les 15 n'ont rien voulu dire sur le montant qu'ils reçoivent comme indemnité.

3.7 Information sur les heures de travail pour les femmes enceintes

Sur 33 personnes enquêtées, nous avons totalisé 6 femmes dont une était célibataire.

Tableau 3.9 – Information sur le personnel féminin des services d'imagerie médicale

Femmes qui travaillent dans la salle à RX étant enceinte	4 oui 1 NON	16-40 h/semaine
Femmes qui travaillent dans la salle à RX pendant l'allaitement	2 oui 2 NON	 –
Femmes qui bénéficient d'un congé de maternité	5	43-90 jours

Les résultats de notre enquête montrent qu'il y a des femmes qui travaillent sous le rayonnement étant enceinte.

3.8 Types d'appareils, dimension des salles abritant les appareils d'imagerie médicale et doses mesurées

Les dosimètres distribués aux personnels directement exposés aux rayonnements X nous ont permis de mesurer les grandeurs suivantes :

- Hp(10) : Pour l'équivalent de dose profonde à 10 *mm* de profondeur dans le tissu corporel. Elle est utilisée pour évaluer l'exposition des tissus, tels que les organes internes, aux rayonnements ionisants ;
- Hp(0,07) : Pour mesurer l'équivalent de dose superficielle à $0,07$ *mm* de profondeur dans le tissu corporel. Elle est utilisée pour évaluer l'exposition de la peau et des tissus superficiels aux rayonnements
- Hp(3) : Pour mesurer l'équivalent de dose à 3 *mm* de profondeur dans le tissu corporel. Elle est utilisée pour évaluer l'exposition des tissus situés à une profondeur intermédiaire par rapport à Hp(10) et Hp(0,07) : le cristallin de l'œil.

Le tableau 3.10 donne une vue d'ensemble sur certaines variables étudiées : Type et âge des appareils utilisés dans les salles d'IM, dimensions des salles abritant ces derniers et distance séparant le paravent et le tube à RX mais aussi un échantillon de doses provenant des appareils d'IM.

Tableau 3.10 – Illustration des dimensions des salles, doses provenant des appareils pour un échantillon de trois personnel dans chaque service

Hôpital	Type d'équipements	Distance entre le tube à RX et le paravent	Dose (mSV)			Nombre de fenêtres	Dimensions des salles d'imagerie médicale		
							L (m)	l (m)	S (m^2)
Maison Médicale de Bujumbura	Analogique	3m	Hp(10) 0.026 0.022 0,020	Hp(3) 0.025 0.021 0.021	Hp(0,07) 0.025 0.022 0.022	4	5	3	15
C.M.C.C	Analogique	3m	Hp(10) 0 0.012 0.054	Hp(3) 0 0.014 0.014	Hp(0.07) 0 0.053 0.053	2	6	2.5	15
INSP	Analogique	3m	Hp(10) 0.031 0.057 0.050	Hp(3) 0.030 0.084 0.048	Hp(0.07) 0.030 0.084 0.048	0	8.2	7	57.4
HMK	Numérique Semi-numérique	3.45m	Hp(10) 0.019 0.024 0.095	Hp(3) 0.015 0.020 0.090	Hp(0.07) 0.015 0.020 0.090	1	4.9	3.9	19.11
HPRC (Deux salles)	Numérique Semi-numérique	2.7m 3m	Hp(10) 0.086 0.078 0.043	Hp(3) 0.078 0.075 0.036	Hp(0.07) 0.078 0.075 0.036	0 0	4.8 5.9	3.1 4.8	14.88 28.32
HPNB	Analogique	5m	Hp(10) 0 0.009 0.014	Hp(3) 0.007 0.010 0.017	Hp(0.07) 0.007 0.010 0.017	0	9.5	6.5	61.75
CHUK	Numérique	3m	Hp(10) 0 0.112 0.007	Hp(3) 0 0.293 0.007	Hp(0.07) 0 0. 293 0.007	0	8	7	56
KIRA HOSPITAL	Numérique	3m	Hp(10) 0.019 0.033 0.016	Hp(3) 0.020 0.030 0.019	Hp(0.07) 0.020 0.030 0.019	0	8	7	56

Il ressort de notre enquête que 4 hôpitaux disposent uniquement des appareils analogiques, deux hôpitaux disposent des appareils numériques et deux autres ont des appareils semi-numériques. L'année

de fabrication des appareils des huit structures enquêtées varie de 1984 à 2021, soit un âge qui varie 40 ans à 2 ans (Annexe A.2).

D'après les mesures effectuées dans le cadre de cette enquête, nous constatons que les surfaces des salles qui abritent les appareils d'imageries médicales (Radiographie conventionnelle et Scanner) varient entre $14,88\ m^2$ et $61,75\ m^2$. Notre enquête nous montre que sur neuf salles enquêtées, six n'avaient pas de fenêtre alors qu'il y a une salle qui a, à elle seule, 4 fenêtres. Sur huit hôpitaux enquêtés, un seul possède le scanner et la radiographie conventionnelle tandis que les autres possèdent uniquement la radiographie conventionnelle (Annexe A.3).

Pour comparer la moyenne des doses des différents services d'imagerie médicale, nous avons considéré ici un échantillon de dose de trois personnels dans chaque service, les détails sur les doses absorbées se trouvent dans l'annexe A.1.

Chapitre 4

DISCUSSION DES RÉSULTATS ET REVUE DE LA LITTÉRATURE

4.1 Introduction

L'étude s'est déroulée dans huit services d'imagerie médicale de certains hôpitaux de Bujumbura qui ont été retenus de manière empirique sur base de l'affluence des malades dans ces services. Les dosimètres OSL distribués au personnel de ces services nous a permis de mesurer la dose qu'il a absorbée durant la période de trois mois. La compilation des informations recueillies par moyen d'un questionnaire, nous a permis d'évaluer l'exposition professionnelle et le respect des normes de radioprotection dans les services d'imagerie médicale.

4.2 Répartition selon le genre et profil des personnels d'Imagerie médicale

Les personnels ayant participé à cette étude sont répartis en trois catégories : médecin radiologues, techniciens en imagerie médicale et infirmier A2 formé sur terrain. Le profil technicien en imagerie médicale est le plus représentatif dans ce domaine avec 88,88% suivi des médecins radiologues qui représentent 8,88 % tandis que les infirmiers A2 formés sur terrain représentent 3,03%.

Sur 33 questionnaires retournés, nous avons recensé 27 (soit 81,81%) manipulateurs de sexe masculin contre 6 (soit 18,18%) de sexe féminin. Ces chiffres donnent l'impression qu'au Burundi le travail sous rayonnement est un métier d'homme. Pourtant percevoir le problème sous cet angle ne parait pas juste car le pourcentage bas du nombre des femmes peut se justifier par le fait qu'elles s'intéressaient peu à ce métier ou par le manque de coaching. Selon l'enquête de l'organisation des femmes en Sciences au Burundi (OWSD-Burundi), les femmes étudiantes représentent 19 % dans les facultés de formation scientifique et 13 % des enseignants-chercheurs. Selon la même enquête,

la rareté des femmes dans les sciences peut s'expliquer par la rareté des femmes qui excellent dans les sciences depuis le niveau primaire ou fondamental, ce qui fait que les jeunes filles manquent de modèles [Journal.Africa, 2022]. La tradition du mariage en bas âge est aussi un élément qui décourage les femmes à aller plus loin dans les études. La situation semble généralisée, selon les données publiées en 2015 par l'UNESCO : les femmes sont, dans l'ensemble, minoritaires dans les Sciences [CHIMIQUE, 2018].

4.3 Moyen de protection chez les personnels d'Imagerie Médicale

Les équipements de radioprotection dans les services faisant l'objet de notre enquête sont insuffisants. Lors de nos descentes sur terrains, nous avons pu constater la présence effective des tabliers plombés dans tous les services. En revanche un certain nombre de petit matériel existe en petite quantité par rapport au nombre de personnel, les caches gonades (15%), les caches thyroïde (48,48%), les caches ovaires plombés (18,18 %), les gants plombés (18,18%) et les lunettes plombées (30,3 %).

Plusieurs études ont montré que le risque d'irradiation de certains organes augmente avec le manque de certains matériels appropriés. Et cela réconforte l'assertion du professeur Julien DOSSOU qui stipule qu'en imagerie médicale les techniciens absorbent les rayonnements ionisants diffusés, s'ils sont mal protégés [Dossou *et al.*, 2015].

Au titre du matériel de radioprotection collective, les murs de toutes les salles ne sont pas plombés mais certains sont en briques pleines ou en béton. Sur huit structures étudiées, l'enquête a mis en évidence 4 services, soit 50 %, avec un cabinet en paravent plombé, 2 services, soit 25 %, ont un cabinet en mur en béton et paravent, et 2, soit 25%, des services d'imagerie médicale disposent d'un cabinet en brique. Ce qui est déconseillé, c'est d'avoir un cabinet en brique car cette situation expose le manipulateur tandis que le paravent plombé protège la personne qui se trouve au poste de commande.

Lors de nos travaux de terrain nous avons recensé 3 services, soit 37,5 %, qui disposent en total 7 fenêtres et que la salle d'imagerie médicale de la Polyclinique Maison médicale a elle seule 4 fenêtres non plombées. Trois, soit 37,5 %, des services enquêtés, ont des fenêtres et portes plombées. L'absence des portes et fenêtres plombées dans les salles d'imagerie médicale expose le public aux rayons X. 62,5 % des services d'imagerie médicales disposent de salles d'attente et 25% des salles enquêtées ont le système de signalisation du public. Le manque de signalisation du public dans certains services d'imagerie médicale et l'absence de salles d'attente dans certains hôpitaux peuvent occasionner davantage l'exposition du public aux rayons X. Partant de ces statistiques, nous constatons que les normes de radioprotections ne sont pas rigoureusement respectées dans les milieux hospitaliers de Bujumbura.

Les résultats trouvés des études similaires faites en Tunisie et au Bénin pour vérifier la disponibilité

des équipements de radioprotection individuel dans les services d'imagerie médicale, sont similaires aux résultats issus de notre étude [de TOVE Kofi-Mensa *et al.*, 2020]. Les tableaux 4.1 et 4.2 illustrent les résultats trouvés dans certains services d'imagerie médicale des pays susmentionnés.

Tableau 4.1 – Résultats sur l'équipement de protection Individuelle des services (n=17), Bénin.

Matériels de Protection Individuelle	Pourcentage
Tablier plombé	16 (94,11%)
Gant plombé	10 (58,82%)
Protèges thyroïdes	03 (17,65%)
Lunettes plombées	02 (11,76%)
Protèges gonades	01(05,88%)

Ce tableau illustre les résultats de l'Étude faite au Bénin en 2020 pour évaluer le respect des normes de radioprotection dans les 17 services d'imagerie médicale situées au Nord de Bénin. Les résultats ici donnent une vue d'ensemble sur la disponibilité des équipements de radioprotection individuels dans ces services [de TOVE Kofi-Mensa *et al.*, 2020].

Tableau 4.2 – adhérence des enquêtés aux bonnes pratiques de radioprotection (n=58), Tunisie.

Pratiques	Toujours (en pourcentage)
Port du tablier en plombé	58 (100%)
Port du cache thyroïde	50 (86,2%)
Port des lunettes en plomb	7 (12,1%)

Ce tableau illustre une partie des résultats de l'Étude faite en Tunisie en 2021 pour évaluer le niveau des connaissances et des pratiques en radioprotection des radiologues tunisiens exposés au rayons X [Hammami *et al.*, 2021].

4.4 Normes de constructions de la salle abritant les appareils d'Imagerie Médicale

D'après les mesures effectuées dans le cadre de cette enquête, nous constatons que les surfaces des salles qui abritent les appareils d'imageries médicales (Radiographie conventionnelle et Scanner) varient entre $14,88\ m^2$ et $61,75\ m^2$. Lors des descentes que nous avons effectuées sur terrain, nous avons remarqué que 8 salles, soit 88,88% des salles enquêtées, ont une superficie supérieure ou égale à $15\ m^2$; nous avons également remarqué des salles exiguës qui ne favorisent pas une observance

efficiente des mesures de radioprotection, une libre circulation ni la pratique aisée d'une maintenance en cas de besoin. Les normes sanitaires pour la mise en œuvre du Programme National de Developpement Sanitaire (PNDS) 2016-2023 au Burundi stipulent que la salle abritant les appareils d'imagerie médicale doit avoir une superficie supérieure ou égale à 15 m^2 ; la législation ivoirienne exige une surface ($N \geq 25\ m^2$) [Kouassi *et al.*, 2005a]. L'Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) recommande une surface N tel que $N \geq 37,8\ m^2$ [Dance *et al.*, 2014]. Comparativement aux normes ivoiriennes et de l'AIEA, nous constatons que la surface exigée par les normes burundaises est petite.

4.5 Contrôle qualité et types d'équipements

Les normes de radioprotection imposent des exigences aux personnes morales autorisées à mettre en œuvre des pratiques entraînant une exposition aux rayonnements ou à intervenir pour réduire les expositions existantes ; ces personnes morales sont les premières responsables de l'application des normes. Les gouvernements, cependant, sont responsables de leur application, généralement par le biais d'un système comprenant une autorité de réglementation [Podgorsak *et al.*, 2003].

Les résultats de notre enquête montrent qu'aucun hôpital ne dispose d'un physicien médicale et deux seulement disposent un technicien biomédical, déplus le contrôle qualité des appareils n'est pas effectué dans aucune service d'imagerie médicale. L'absence des physiciens médicaux et d'équipements de contrôle qualité dans les services font que le calibrage ne soit pas effectué sur les appareils de radiologie. L'absence du personnel qualifié en matière de radioprotection met en insécurité les patients et le personnel soignant lors d'examens utilisant les techniques de rayonnements ionisants.

L'année de fabrication des appareils des huit hôpitaux enquêtés varie de 1984 à 2021, soit un âge qui varie de 40 ans à 2 ans. Les appareils numériques représentaient 46,66% dans notre étude, contre 40% pour les appareils analogiques et 13,33% des appareils semi-numériques. Depuis la découverte des rayons X en 1895, l'imagerie médicale a connu de nombreuses évolutions, la radiographie a d'abord été analogique avant d'évoluer progressivement vers la numérisation. Cette transition vers le numérique ne peut être qu'applaudie pour plusieurs raisons. L'imagerie analogique nécessite un traitement chimique en vue du développement de l'image sur film analogique, qui représente alors le seul moyen de reprographie et d'archivage, en plus d'être l'unique support pour l'interprétation des images. Les bains chimiques utilisés sont sensibles aux variations climatiques et s'oxydent rapidement au contact de l'air ; mal conservés, ils donnent des images de mauvaise qualité qui vont rapidement être dégradées. L'imagerie numérique présente l'avantage de pouvoir traiter l'image. Elle permet au médecin d'effectuer un diagnostic plus fiable, de disposer de l'information à tout moment sur place et à distance, archivé et enregistré sur un support disque dur ou USB ce qui peut être transmis via les réseaux sécurisés ou consultée directement sur un écran : ce qui est rapide, économique et écologique. L'imagerie numérique permet d'optimiser la dose, de réduire l'exposition aux rayonnements ionisants, mais aussi permet de minimiser l'irradiation et respecter les normes de radioprotection.

Il est donc souhaitable que les appareils analogiques soient remplacés par les appareils numériques dans les services d'imagerie medicale [Coulomb *et al.*, 2000] [BOUAROURA, 2022] [AYADI, 2021] [Abdoul A. BA, 2017].

Avec l'âge avancée de certains appareils de services d'imageries médicale et l'absence de leur maintenance depuis leur installation, cette situation expose certains travailleurs aux rayonnements et nous pensons que cela peut également provoquer l'irradiation chez les patients d'où l'intérêt d'un service technique de contrôle est à souhaiter pour ces services.

4.6 Surveillance dosimétrique et suivi des personnels de service d'Imagerie médicale

Depuis l'arrivée des dosimètres OSL à l'INSP en 2019, certains services d'imagerie médicale se sont fait abonner pour que leurs personnels bénéficient d'un suivi dosimétrique. Face à cette perception du port du dosimètre par cette tranche du personnel, une sensibilisation et une formation sont nécessaires pour les personnels. Au regard des résultats de notre enquête, il y a des manquements en ce qui concerne la passation régulière des examens hématologiques notamment NFS pour évaluer les effets des rayonnements provenant des appareils d'imagerie médicale sur les cellules sanguines à savoir la chute de lymphocytes et polynucléaires neutrophiles.

Aucun service ne dispose d'un médecin légiste pour le suivi de la santé des personnels d'Imagerie médicale et seul un hôpital (soit 12,5%) dispose d'une personne compétente en Radioprotection. Dans la plupart des hôpitaux, il n'existe pas de registre dans lequel devraient être mentionnées les doses reçues par le personnel dans les services.

Au regard de notre enquête, le constat est que les équipements de radioprotections ne sont pas suffisants pour les stagiaires de ces services et les tests de grossesse ou échographie pelvienne ne sont pas exigés aux stagiaires féminins avant de commencer les stages.

Plusieures études expérimentales menées sur les enfants d'Hiroshima montrent que, pour une valeur de 1 Gy, il y a risque de retard mental sévère et qui augmente rapidement de 40 %. Les mêmes études montrent que l'exposition des femmes enceintes aux rayonnements ionisants entraîne toujours un certain risque : (i) d'avortement spontané (>15 %), (ii) de retard de croissance intra-utérin (~4%), (iii) d'anomalies génétiques (4-10 %) et (iv) malformation majeure (2~4 %) [Dance *et al.*, 2014].

Les mesures de radioprotections doivent être appliquées rigoureusement aux femmes enceintes et stagiaires féminins.

4.7 Heures de travail des personnels des services d'imagerie médicale enquêtés et autres droits

Les heures de travail des personnels des services d'imagerie médicale enquêtées sont comprises entre 36 *et* 72 *h* par semaines. Le code du travail de la République du Burundi recommande un volume horaire de 8h par jour, soit 40 h par semaine [Burundi, 1993]. Le nombre de patients reçus dans les services d'imagerie Médicale varie entre 10 et 60 patients par jour. Le nombre élevé d'examens de radiographie sollicité et le travail sous rayonnement pendant une longue durée favorisent l'exposition aux rayonnements.

Au regard des résultats de notre enquête, les personnels des services d'imagerie médicale enquêtées ne bénéficient pas de congé d'irradiation tandis que 15 seulement sur 33 (soit 45,45 %) reçoivent sur leur salaire une indemnité d'irradiation. Notre enquête continue à nous montrer que ces personnels ne reçoivent pas de régime alimentaire (lait, viande,...) permettant la régénération des cellules endommagées.

Au regard de notre enquête, 4 femmes sur 5 enquêtées (soit 80%) affirment travailler sous rayonnement pendant la période de grossesse et parmi elles deux femmes affirment travailler dans la salle à RX pendant l'allaitement.

Outre les effets déterministes et stochastiques sur la santé des adultes, d'autres effets sur la santé peuvent se produire chez les nourrissons en raison de l'exposition de l'embryon ou du fœtus aux rayonnements. Ces effets comprennent une plus grande probabilité de leucémie (effet stochastique) et, pour une exposition supérieure à diverses valeurs de dose seuil pendant certaines périodes de la grossesse, un retard mental grave et des malformations congénitales (effet déterministe) (la publication 84 de la CIPR) [Podgorsak *et al.*, 2003].

Le paragraphe I.16 du BSS (annexe I, Exposition professionnelle, Conditions de service) stipule que : Une travailleuse devrait, lorsqu'elle apprend qu'elle est enceinte, en informer l'employeur afin que ses conditions de travail puissent être modifiées si nécessaire [Podgorsak *et al.*, 2003].

4.8 Relevé des doses reçues par les personnels travaillant dans les services d'imagerie Médicale

Tenant compte de l'exposition aux rayonements, on peut classer les individus selon deux catégories : (1) les travailleurs sous irradiation, c'est-à-dire les personnes qui sont, de par leur profession, exposées aux rayons X et (2) le public en général. Les doses limites sont indiquées pour toutes les deux catégories dans le tableau 4.3. Ces doses limites sont fondées sur les recommandations les plus récentes de la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) comme spécifié dans la publication 60 de la CIPR (CIPR, 1991) [DE RADIOPROTECTION, 2016].

Les doses limites pour les travailleurs s'appliquent uniquement à l'irradiation résultant directement de leurs activités professionnelles et n'incluent pas l'exposition aux rayonnements provenant d'autres sources, comme ceux provenant du radiodiagnostic médical ou du rayonnement ambiant [Podgorsak *et al.*, 2003].

Tableau 4.3 – Résumé des limites de dose annuelles selon BSS et le rapport 60 de la CIPR.

	Exposition professionnelle	**Exposition aux apprentis âgés de 16 à 18 ans**	**Exposition du public**
Dose effective (corps entier) (**mSv**)	20, en moyenne sur cinq années consécutives ; 50 au cours d'une seule année	6	1, en moyenne sur cinq années consécutives ; 5 pour une seule année
Dose équivalente (lentille oculaire) (**mSv**)	150	50	15
Équivalent de dose (mains, pieds, peau) (**mSv**)	500	150	50

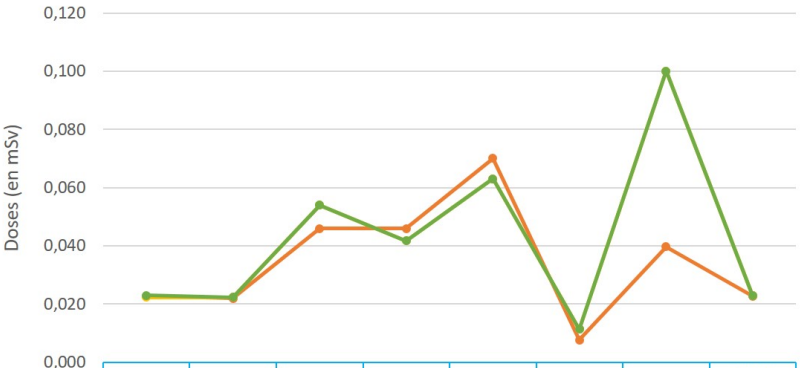
Tenant compte des mesures données par les dosimètres témoins installées dans les endroits qui abritent les hôpitaux enquêtés, nous constatons qu'au Burundi il y a des endroits qui sont plus irradiants que les autres. La CIPR stipule que l'exposition publique ne doit pas dépasser 1 mSv par an et par contre les doses mesurées dans ces endroits sont : $0,432$ mSv ; $0,412$ mSv ; $0,446$ mSv ; $0,353$ mSv ; $0,404$ mSv ; $0,466$ mSv ; $0,424$ mSv ; $0,387$ mSv par trimestre, soit respectivement $1,728$ mSv ; $1,648$ mSv, $1,784$ mSv ; $1,412$ mSv, $1,616$ mSv ; $1,864$ mSv ; $1,696$ mSv ; $1,548$ mSv par an. Ces résultats montrent qu'il y a des endroits peu irradiants. Cela pourrait être expliqué par la présence des radons dans ces endroits (voir Annexe A.1).

Pour les doses mesurées par les dosimètres individuels (voir Annexe A.1), le tableau 4.4 illustre la variation de la dose absorbée par le personnel dans chaque service d'imagerie médical.

Tableau 4.4 – Synthèse de la variation de la dose absorbée par les personnels d'imagerie médicale provenant des appareils utilisant les rayons X

Nom de l'hôpital	Variation de la dose efficace (mSv) reçue par le personnel au niveau du corps entier Hp(10)	Variation de la dose équivalente (mSv) reçue par le cristallin Hp(3)	Variation de la dose équivalente (mSv) au niveau de la peau Hp(0.07)
Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura	0, 004 à 0, 026 mSv par trimestre, soit 0, 016 à 0, 104 mSv par an.	0, 003 à 0, 025 mSv par trimestre, soit 0, 012 à 0, 1 mSv par an.	0, 003 à 0, 025 mSv par trimestre, soit 0, 0120, 1 mSv par an.
Hôpital Militaire de Kamenge	0 à 0, 095 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 38 mSv par an.	0 à 0, 091 mSv par trimestre, soit 0 à 0.364mSv par an.	0 à 0, 091mSv par trimestre, soit 0 à 0.364mSv par an.
C.M.C.C Rohero	0 à 0.054 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 216 mSv par an.	0 à 0.053 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 212 mSv par an.	0 à 0.053 mSv, soit 0 à 0, 212 mSv par an.
CHUK	0 à 0, 112 mSv au niveau du corps entier par trimestre, soit 0 à 0, 448 mSv.	0 à 0, 293 mSv par trimestre, soit 0 à 1, 172 mSv par an.	0 à 0, 293 mSv par trimestre, soit 0 à 1, 172 mSv par an.
Hôpital de la Police Nationale du Burundi (HPNB)	0 à 0, 014 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 056 mSv par an.	0, 007 à 0, 017 mSv par trimestre, soit 0, 028 à 0, 068 mSv par an.	0, 007 à 0, 017 mSv par trimestre, soit 0, 028 à 0, 068 mSv par an.
INSP	0 à 0.057 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 228 mSv par an.	0 à 0.084 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 336 mSv par an.	0 à 0.084 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 336 mSv par an.
KIRA Hospital	0 à 0, 033 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 132 mSv par an.	0 à 0, 031 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 124 mSv par an.	0 à 0, 031 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 124 mSv par an.
Hôpital HPRC	0 à 0, 086 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 344 mSv par an.	0 à 0, 078 mSv par trimestre, soit 0 à 0, 312 mSv par an.	0 à 0, 078 mSv par trimestre soit 0 à 0, 312 mSv par an.

Le graphique 4.1 donne une vue d'ensemble sur le niveau d'exposition des personnels de différents services d'imagerie médicale. Le constat est que par rapport aux autres personnels, celui du Centre Hospitalo-Universitaire de Kamenge absorbe beaucoup de dose au niveau des cristallins et nous pensons que cela est dû à la négligence ou non port des lunettes plombées pendant le travail. Ce cas



	Maison medicale	C.M.C.C	INSP	HMK	HPRC	HPNB	CHUK	KIRA HOSPITAL
H(10)	0,023	0,022	0,046	0,046	0,070	0,008	0,040	0,023
H(3)	0,022	0,022	0,054	0,042	0,063	0,011	0,100	0,023
H(0.07)	0,023	0,022	0,054	0,042	0,063	0,011	0,100	0,023

FIGURE 4.1 – Illustration de la moyenne des doses dans les différents services d'imagerie médicale.

trouve aussi les explications dans les examens spéciaux faits par son personnel, notamment l'hystérosalpingographie qui sert à visualiser l'utérus et les trompes d'une femme pendant le bilan de l'infertilité, transit Oesogasyro duodénal (TOGD), lavement baryté (LB), urographie intraveineuse (UIV), uretrocystographie rétrograde (UCR), fustulographie, opacification du moignon distal. Ces examens spéciaux exigent que le technicien s'approche du patient pour faire le diagnostic. Pour les doses absorbées au niveau du corps entier, le personnel d'imagerie médicale de HPRC est beaucoup exposé par rapport aux personnels des autres hôpitaux, nous pensons également que cela est dû aux manquements du respect des règles de radioprotection. En plus, la salle d'IM de HPRC est la plus petite par rapport aux autres salles enquêtées. Même si les personnels de l'HPRC n'ont pas fourni des informations sur leurs heures de travail, nous pensons également que leurs durées à l'exposition peut être parmi les causes (HPRC est l'un des services qui accueillent un grand nombre de patients). Au regard de ces résultats, nous constatons que le personnel de HPNB est moins exposé comparativement aux autres, mais aussi l'HPNB dispose d'un service qui accueille moins de patients au regard des autres. Et ce facteur réduit la durée d'exposition du personnel. Aussi, parmi les salles d'IM enquêtées celle de HPNB est la plus grande ($61,75\ m^2$). Elle est presque le double de la surface recommandée par l'AEIA ($37,8\ m^2$).

En comparant la dose mesurée à l'aide des dosimètres individuels aux limites de dose recommandées par les organismes de réglementation en matière de Radioprotection, nous constatons que la situation n'est pas alarmante. Les doses absorbées sont beaucoup inférieurs aux doses limites. Cette situation pourrait être expliquée par le respect de la distance séparant la source des rayons X et le poste de commande, cette distance favorise l'atténuation des rayons X. Cela pourrait aussi être expliqué par le minimum de respect des règles de radioprotection dans ces services.

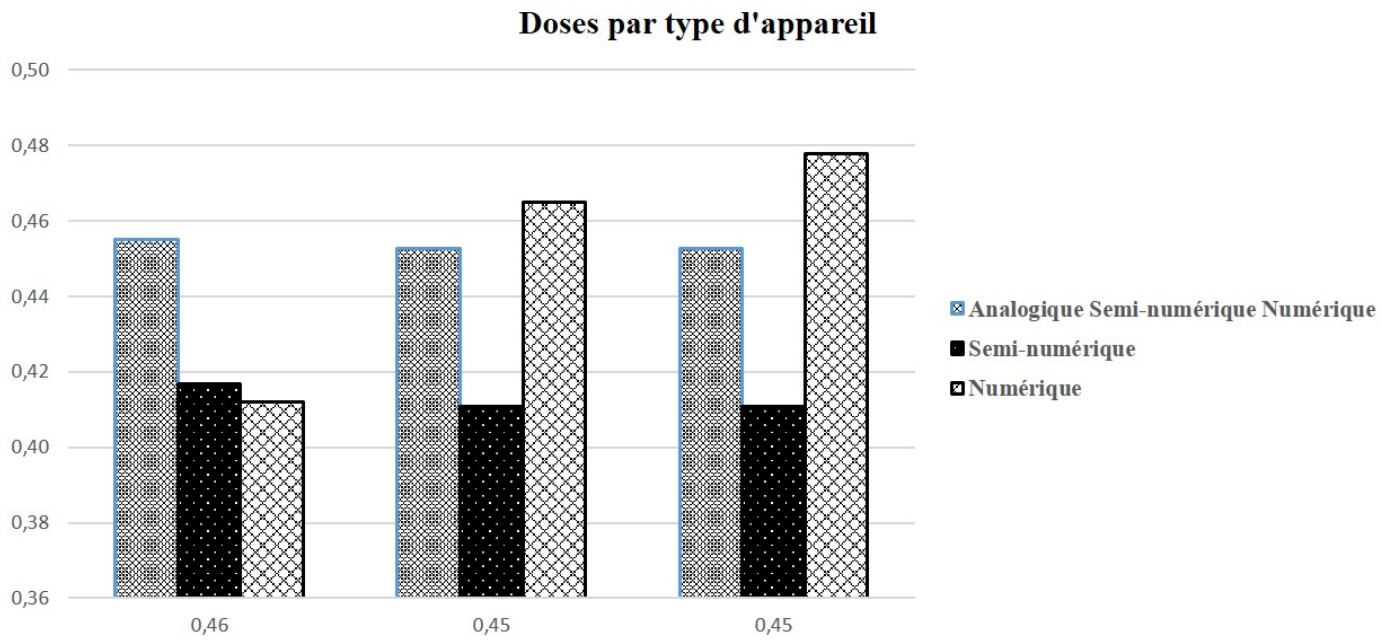


FIGURE 4.2 – Illustration de la dose selon le type d'appareil.

Néanmoins, il faut souligner que toute irradiation comporte un certain degré de risque et que les niveaux recommandés dans le tableau (4.3) sont les valeurs maximales recommandées. Il faut réduire le plus possible toutes les doses et éviter toute irradiation inutile [Podgorsak *et al.*, 2003].

Face à un risque d'exposition douteux, il est très important de ne pas banaliser l'exposition professionnelle aux rayonnements ionisants. Il faut surtout y accorder une extrême vigilance et sensibiliser puis former le personnel à ce sujet. Plusieurs etudes montrent que les expositions aux faibles doses sont susceptibles d'engendrer des effets néfastes sur le travailleur [Jimonet et Métivier, 2007] [Vaillant et Schneider, 2012] [Brown et Green, 2020].

4.9 Étude comparative de doses absorbées au niveau de différentes parties du corps

4.9.1 Introduction

L'objectif de cette étude est de déterminer la dépendance de la dose absorbée par rapport au niveau considéré : $Hp(10)$, $Hp(3)$ et $Hp(0.07)$. Pour ce faire, nous allons tester la signification de différences entre des moyennes calculées pour différentes catégories, autrement dit tester une hypothèse nulle (H_0) selon laquelle les moyennes sont égales. On a alors recours à l'analyse de variance (ANOVA) développée par Fischer. On cherche à déterminer si les valeurs de la variable quantitative s'organisent selon les modalités de la variable qualitative. Statistiquement l'analyse de la variance est utilisée afin

d'examiner la relation entre deux (ou plusieurs) variables et notamment entre une variable explicative et une variable cible (ou dépendante).

4.9.2 Principe de base de l'analyse de variance

Le principe de base repose sur la décomposition de la variabilité totale en ses composantes *intraclasse* (variabilité à l'intérieur de chaque modalité de la variable qualitative) et *interclasse* (variabilité entre les différentes classes) selon la formule :

$$Var_{totale} = Var_{intraclasses} + Var_{interclasses} \tag{4.1}$$

Avec [WikiStat, 2000] :

$$Var_{interclasse} = \frac{1}{k-1}\sum_{j=1}^{k} n_j(\bar{x}_j - \bar{x}_g)^2 \tag{4.2}$$

$$Var_{intraclasse} = \frac{1}{n-k}\sum_{j=1}^{k}(n_j - 1)S_j^2$$

k est le nombre de catégorie et n le nombre d'éléments. $Var_{interclasse}$ consiste à calculer les écarts des moyennes entre les différentes groupes tandis que $Var_{intraclasse}$ mesure l'ampleur de la variation au sein d'un groupe. Elle consiste à les écarts qui existent aux individus qui appartiennent au même groupe.

Le degré de liberté interclasses, $DL_{interclasses} = k - 1$ et le degré de liberté intra-classe est donné par la relation, $DL_{intraclasses} = n - k$

Ici nous avons considéré un seuil de 1% pour vérifier si les doses sont différentes. La règle de la prise de décision est influencée soit par la comparaison de F (loi de Fisher) et la valeur critique soit par la comparaison de la probabilité et le seuil.

- Si F est > à la valeur critique, on rejette H_0, le cas contraire on ne rejette pas H_0, avec $F = \frac{V_{inter}}{V_{intra}}$
- Si la $valeur_P$ ou $P-value$ (degré de signification) est inférieur au seuil, on rejette H_0, le cas contraire on ne rejette pas H_0.

Le choix de la règle de la prise de décision est arbitraire car les deux procédures aboutissent à la même conclusion.

4.10 Résultats de l'étude statistique

4.10.1 Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura

Tableau 4.5 – Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de la Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Colonne 1 Hp(10)	4	1,80004102	0,450010255	9,22974E-05
Colonne 2 Hp(3)	4	1,78340897	0,445852242	9,94613E-05
Colonne 3 Hp(0.07)	4	1,78340897	0,445852242	9,94613E-05

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique de F
Entre Groupes	4,61042E-05	2	2,30521E-05	0,237470937	0,793408407	8,02151731
A l'intérieur des groupes	0,00087366	9	9,70733E-05			
Total	0,000919764	11				

L'hypothèse nulle H_0 est à garder, car F calculé est inférieur à la valeur critique de F. Cela montre qu'il y a indépendance des doses mesurées au niveau de la peau, des cristallins et du corps entier pour le personnel de service d'imagerie médicale de la Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura.

4.10.2 Hôpital Militaire de Kamenge

Tableau 4.6 – Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de l'hôpital Militaire de Kamenge

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Colonne 1 Hp(10)	9	3,790804952	0,42120055	0,00309395
Colonne 2 Hp(3)	9	3,74437508	0,416041676	0,00339248
Colonne 3 Hp(0.07)	9	3,74437508	0,416041676	0,00339248

L'hypothèse nulle H_0 est à garder, car F calculé est inférieur à la valeur critique de F. Cela montre qu'il y a indépendance des doses mesurées au niveau de la peau, des cristallins et du corps entier pour le personnel de service d'imagerie médicale de l'hôpital Militaire de Kamenge.

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique de F
Entre Groupes	0,000159684	2	7,9842E-05	0,02424617	0,976069278	5,613591211
A l'intérieur des groupes	0,079031318	24	0,003292972			
Total	0,079191002	26				

4.10.3 Hôpital C.M.C.C Rohero

Tableau 4.7 – Resultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de l'hôpital C.M.C.C

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Colonne 1 Hp(10)	3	1,402047008	0,467349003	0,00087204
Colonne 2 Hp(3)	3	1,385947019	0,46198234	0,00077744
Colonne 3 Hp(0.07)	3	1,385947019	0,46198234	0,00077744

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique de F
Entre Groupes	5,76021E-05	2	2,88011E-05	0,03560195	0,96522663	10,9247665
A l'intérieur des groupes	0,004853848	6	0,000808975			
Total	0,00491145	8				

L'hypothèse nulle H_0 est à garder, car F calculé est inférieur à la valeur critique de F. Cela montre qu'il y a l'indépendance des doses mesurées au niveau de la peau, des cristallins et du corps entier pour le personnel de service d'imagerie médicale de l'hôpital C.M.C.C.

4.10.4 Centre Hospitalo-Universitaire de Kamenge (CHUK)

Tableau 4.8 – Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale du CHUK

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Colonne 1 Hp(10)	7	2,51698795	0,359569707	0,00228356
Colonne 2 Hp(3)	7	2,855833918	0,407976274	0,01358072
Colonne 3 Hp(0.07)	7	2,934265941	0,419180849	0,01631168

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique pour F
Entre Groupes	0,014051862	2	0,007025931	0,65507907	0,53134925	6,012904835
A l'intérieur des groupes	0,193055709	18	0,010725317			
Total	0,207107571	20				

L'hypothèse nulle H_0 est à garder, car F calculé est inférieur à la valeur critique de F. Cela montre qu'il y a indépendance des doses mesurées au niveau de la peau, des cristallins et du corps entier pour le personnel de service d'imagerie médicale du CHUK.

4.10.5 Hôpital de la Police Nationale de Bujumbura (HPNB)

Tableau 4.9 – Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de l'hôpital de la Police Nationale de Bujumbura

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Colonne 1 Hp(10)	3	1,235214978	0,411738326	
Colonne 2 Hp(3)	3	1,223911017	0,407970339	2,7439E-05
Colonne 3 Hp(0.07)	3	1,223911017	0,407970339	2,7439E-05

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique de F
Entre Groupes	2,83955E-05	2	1,41977E-05	0,38707711	0,69484592	10,9247665
A l'intérieur des groupes	0,000220076	6	3,66793E-05			
Total	0,000248471	8				

L'hypothèse nulle H_0 est à garder, car F calculé est inférieur à la valeur critique de F. Cela montre qu'il y a indépendance des doses mesurées au niveau de la peau, des cristallins et du corps entier pour le personnel de service d'imagerie médicale de l'hôpital de la police National du Burundi.

4.10.6 Institut National de Santé Publique (INSP)

Tableau 4.10 – Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de l'INSP

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Colonne 1 Hp(10)	4	1,992375016	0,498093754	0,000894867
Colonne 2 Hp(3)	4	1,999310017	0,499827504	0,001509947
Colonne 3 Hp(0.07)	4	1,999310017	0,499827504	0,001509947

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique de F
Entre Groupes	2,83955E-05	2	1,41977E-05	0,38707711	0,69484592	10,9247665
A l'intérieur des groupes	0,000220076	6	3,66793E-05			
Total	0,000248471	8				

L'hypothèse nulle H_0 est à garder, car F calculé est inférieur à la valeur critique de F. Cela montre qu'il y a indépendance des doses mesurée au niveau de la peau, des cristallins et du corps entier pour le personnel de service d'imagerie médicale de l'INSP.

4.10.7 KIRA HOSPITAL

Tableau 4.11 – Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de Kira Hospital

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Colonne 1 Hp(10)	8	3,409242988	0,426155373	0,00063664
Colonne 2 Hp(3)	8	3,354257971	0,419282246	0,00067437
Colonne 3 Hp(0.07)	8	3,354257971	0,419282246	0,00067437

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique de F
Entre Groupes	0,000251946	2	0,000125973	0,19035073	0,82807968	5,780415688
A l'intérieur des groupes	0,013897678	21	0,000661794			
Total	0,014149624	23				

L'hypothèse nulle H_0 est à garder, car F calculé est inférieur à la valeur critique de F. Cela montre qu'il y a indépendance des doses mesurée au niveau de la peau, des cristallins et du corps entier pour le personnel de service d'imagerie médicale de KIRA Hospital.

4.10.8 Hôpital Prince Régent Charles (HPRC)

Tableau 4.12 – Résultats de l'analyse de dose reçue par le personnel du service d'Imagerie médicale de l'hôpital Prince Régent Charles

RAPPORT DÉTAILLÉ

Groupes	Nombre d'échantillons	Somme	Moyenne	Variance
Colonne 1 Hp(10)	8	3,270801991	0,408850249	0,0038
Colonne 2 Hp(3)	8	3,200177997	0,40002225	0,00416351
Colonne 3 Hp(0.07)	8	3,200177997	0,40002225	0,00416351

ANALYSE DE VARIANCE

Source des variations	Somme des carrés	Degré de liberté	Moyenne des carrés	F	Probabilité	Valeur critique de F
Entre Groupes	0,000415646	2	0,000207823	0,05141153	0,950006859	5,780415688
A l'intérieur des groupes	0,084889129	21	0,004042339			
Total	0,085304775	23				

L'hypothèse nulle H_0 est à garder, car F calculé est inférieur à la valeur critique de F. Cela montre qu'il y a l'indépendance des doses mesurée au niveau de la peau, des cristallins et du corps entier pour le personnel de service d'imagerie médicale de l'hôpital Prince Régent Charles.

4.11 Corrélation entre les différentes variables étudiées.

Cette section a pour but de montrer la corrélation entre les différentes variables étudiées.

Tableau 4.13 – Illustration de la corrélation entre certaines variables étudiées

	Distance entre la source - opérateur	Hp(10)	Hp(3)	Hp(0.07)	Surface
Distance entre la source - opérateur	1				
Hp(10)	-0.1878	1			
Hp(3)	-0.26317	0.733656	1		
Hp(0.07)	-0.27679	0.619045	0.976456	1	
Surface	0.151757	-0.09838	0.122581	0.157036	1

Cette section consiste à étudier la corrélation qui peut exister entre les doses absorbées, la surface et la distance séparent l'opérateur (paravent) et le tube à rayons X. Les résultats montrent qu'il n'y a pas de corrélation entre ces différentes variables étudiées (elles n'évoluent pas ensemble à la vitesse constante).

CONCLUSION GÉNÉRALE, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE

Il existe des insuffisances dans l'application des normes de radioprotection et un risque d'exposition du personnel existe dans les services d'imagerie médicales de huit hôpitaux de la ville de Bujumbura au Burundi. En effet, le Burundi ne dispose pas encore de cadre légal régissant la radioprotection, les textes de sa mise en application sont en cours de préparation.

La plupart des appareils des services d'imagerie médicales enquêtés sont vétustes et ne bénéficient pas de contrôle de qualité. Non seulement ce manquement incite l'exposition des travailleurs, mais également les patients. D'autre part, huit salles (soit 88,88%) de services d'imagerie médicale sont constituées de murs en béton et une parmi les salles enquêtées est construite en briques. Certaines salles disposent de fenêtres et/ou portes non plombées. L'insuffisance de matériels de radioprotection individuelle (cache thyroïde, cache ovaire plombé, gants plombés, cache gonade et lunettes plombées) et l'absence de contrôle de qualité (chambre d'ionisation, fantômes, détecteurs, ...) sont notées dans tous les services. Les personnels d'imagerie médicale ne bénéficient d'aucun suivi médical durant l'exercice de leur profession par un médecin légiste. La passation régulière des examens hématologiques notamment NFS pour évaluer les dose absorbées provenant des appareils d'imagerie médicale n'est pas respectée par les travailleurs d'imagerie médicale. En plus, l'absence de procédure claire à l'égard des techniciennes et stagiaires féminins est notée. Il en est de même pour l'irrégularité de la protection collective, des formations régulières des personnels sur la radioprotection, de la disponibilité des manuels ou fiches techniques de procédures en radioprotection dans leurs services et une négligence du port du tablier plombé pendant le travail. L'absence de personne compétente en radioprotection est notée dans presque tous les services.

L'utilisation periodique des dosimètres passifs portés au niveau de la poitrine était observée dans trois (03) hôpitaux, soit 37,5%. Treize (13) travailleurs sur 45 enquêtés (soit 28,88%) travaillant sous rayonnements ionisants affirmaient porter un dosimètre passif et 32 autres (soit 71,11%) n'en disposent pas. La collecte des dosimètres était trimestrielle et le traitement s'effectuait au laboratoire de

dosimétrie de l'INSP à Bujumbura. Au regard des mesures données par ces dosimètres pendants la période de trois mois et en comparant avec la dose limite (≤ 20 mSv pour le corps entier, ≤ 150 mSv pour les cristallins et 500 mSv pour la peau) qu'un travailleur sous rayonnement ne peut dépasser selon les recommandations de la CIPR, nous remarquons qu' aucune situation alarmante n'est à signaler sur la dose absorbée par le corps tout entier, la peau ou les cristallins. Néanmoins, l'absence de calibrages des appareils des services d'imageries nous pousse à penser que certains patients pourraient être exposés à l'irradiation. L'absence d'une signalisation lumineuse fait que le public manque de l'information sur la présence de rayons X à cet endroit.

RECOMMANDATIONS

Les recommandations visant à améliorer la radioprotection dans les services d'imagerie médicale sont les suivantes :

A l'intention du personnel travaillant sous rayonnements il faut :

- Porter le tablier plombé pendant l'examen et de bien le garder car ceci constitue un geste qui protège efficacement contre la surexposition aux rayonnements ;
- Consulter régulièrement un médecin pour des examens hématologiques notamment NFS (pour évaluer les dose absorbées), ophtalmologiste (pour suivre de près la santé de leurs yeux, qui peut être abîmé par la dose absorbée au niveau des cristallins)... ;
- Se tenir derrière le paravent plombé pendant la réalisation des examens radiologiques ;
- Se munir des matériels individuels de radioprotection (cache tyroide, cache ovaire, gants plombés, lunettes plombées,...) ;
- Exiger aux accompagnateurs des patients de rester dans la salle d'attente pendant l'irradiation.

A l'intention des responsables des structures de service de radiologie il faut :

- Abonner tout le personnel travaillant sous rayonnement à un service de dosimétrie ;
- Faire aux personnels travaillant sous rayonnements une visite médicale spécifique et régulière ;
- Réaliser le plombage des murs et des portes des salles de radiologie ;
- Effectuer la maintenance préventive des appareils de radiologie ;
- Doter les services de radiologie en matériel de radioprotection individuelle ;
- Organiser des formations continues sur la radioprotection ;
- Disponibiliser des manuels ou fiches techniques de procédures en radioprotection dans leurs services ;
- Exiger un test de grossesse ou échographie pelvienne avant d'octroyer les stages aux stagiaires féminins ;

- Informer les patients sur l'examen et le risque lié à l'exposition aux rayonnements ionisants.

A l'intention du Ministère ayant la Santé Publique dans ses attributions, il lui est recommandé de :

- S'impliquer dans le processus de mise en place de l'autorité indépendante de radioprotection et de sûreté nucléaire (ARSBU) ;
- Organiser des formations régulières des personnels des services d'imagerie médicale sur la radioprotection ;
- Recruter des physiciens médicaux dans les services d'imagerie médicale ;
- Exiger aux hôpitaux une bonne gestion des déchets des produits chimiques provenant dans les chambres noires à défaut de renouveler les équipements (passer de l'analogique au numérique) ;
- Organiser des inspections des locaux pour satisfaire la législation burundaise ;

A l'intention du Gouvernement du Burundi :

- Attribuer des avantages spéciaux aux personnels d'imagerie médicale notamment une indemnité, congé d'irradiation, régime alimentaire ;
- D'accorder des congés spéciaux aux femmes enceintes travaillant dans les services d'imagerie médicale.

PERSPECTIVES

La présente étude est la première à être faite au Burundi pour établir l'exposition professionnelle et le respect des normes de radioprotection dans les services d'imagerie médicale utilisant les rayons X. Nous continuerons à mesurer les doses reçues par les travailleurs exposés pour une période d'une année et à l'issue de cette période, nous envisageons publier deux articles. Dans le cadre d'une étude doctorale, nous allons poursuive nos recherches dans le domaine de la physique médicale. La technique de la dosimétrie physique OSL au Burundi date de Juin 2019 et est installée au sein de l'INSP. Les doses d'irradiation déjà absorbées par les professionnels exposés aux rayonnements ionisants restent jusqu'à maintenant inconnues. Jusqu'ici l'étude faite est partielle (seulement dans certains hôpitaux de Bujumbura), il y aura une autre étude au niveau national pour déterminer le niveau d'exposition du personnel . Dans le cadre de la formation doctorale, nous utiliserons des techniques cytogénétiques par **l'analyse des aberrations chromosomiques stables**, pour estimer la quantité de dose d'irradiation que ces professionnels exposés aux rayonnements ionisants ont déjà absorbée au Burundi.

En outre, les résultats de notre étude feront objet de la promotion de la radioprotection au Burundi.

Bibliographie

[Abdoul A. BA, 2017] Abdoul A. BA, Nadège G. PEYO, F. V. (2017). La numérisation en imagerie médicale : État des lieux au Sénégal. https://www.researchgate.net/publication/322293678_LA_NUMERISATION_EN_IMAGERIE_MEDICALE_ETAT_DES_LIEUX_AU_SENEGAL, consulté, le 12/04/2024.

[Amadou Tidiane, 2015] Amadou Tidiane, S. (2015). *Evaluation de la fiabilité d'un générateur à rayons X pour application médicale*. UNIVERSITÉ DE BORDEAUX, Paris.

[Ardaillou, 2008] Ardaillou, R. (2008). Radiobiologie-maurice tubiana. *médecine/sciences*, 24(12): 1105–1106.

[AYADI, 2021] AYADI, A. (2021). Rayonnements-biophysique. Institut des Sciences Vétérinaires, Université frère Mentouri-Constantine 1.

[Bogen, 2017] Bogen, J. (2017). The callosal syndromes. *In K. M. Heilman & E. Valenstein (Eds.), Clinical neuropsychology (3rd ed., pp. 337–407)*, pages 45–80. Oxford University Press.

[BOUAROURA, 2022] BOUAROURA, D. (2022). Introduction à la sémiologie radiologique. https://facmed.univ-constantine3.dz/wp-content/uploads/2021/10/RADIOLOGIE-UEI-1-G%C3%A9n%C3%A9ralit%C3%A9s-et-principes-de-l%E2%80%99imagerie-par-rayons-X-Dr-Bouaroura.pdf, consulté, le 13/04/2024.

[Brown et Green, 2020] Brown, C. et Green, D. (2020). Effects of x-ray irradiation on biological tissue. *Radiology*, 295(2):456–467.

[Burundi, 1993] Burundi (1993). Code du travail du Burundi. https://www.warnathgroup.com/wp-content/uploads/2017/10/Burundi-Labor-Code.pdf, consulté, le 29/02/2024.

[Bushberg et Clark, 2011] Bushberg, J. R. et Clark, A. G. C. (2011). *Radiologic Science for Technologists : Physics, Biology, and Protection*. Lippincott Williams & Wilkins, 10th édition.

[Çalişkan et Çalişkan, 2018] Çalişkan, B. et Çalişkan, A. C. (2018). Interaction with matter of ionizing radiation and radiation damages (radicals). *Ionizing Radiation Effects and Applications*, 135.

[CEA, 2007] CEA (2007). Règles générales de radioprotection du cea.

[Chen *et al.*, 2021] Chen, J., Prendergast, T., Prince, P., Gaw, A. et Quayle, D. (2021). The national dose registry—canadian occupational exposure to ionising radiation, 1998–2018. *Journal of Radiological Protection*, 41(2):266.

[Cherry, 2005] Cherry, R. (2005). Chapitre 48-les rayonnements ionisants. *Encyclopédie de sécurité et de santé au travail*.

[CHIMIQUE, 2018] CHIMIQUE, L. (2018). Femmes de sciences : pourquoi si peu nombreuses ? https://new.societechimiquedefrance.fr/wp-content/uploads/2019/12/218-429-mai-p10-louis-hd.pdf, consulté, le 29/02/2024.

[CLAUDE et CHRISTIAN, 2010] CLAUDE, L. S. et CHRISTIAN, N. (2010). *Physique Nucléaire : Des quarks aux applications*. Dunod, Paris.

[Coulomb *et al.*, 2000] Coulomb, M., Ferretti, G., Guillemaud, R. et Thony, F. (2000). Technologie-radiographie numérique. *Feuillets de Radiologie*, 40(2):83–105.

[Dance *et al.*, 2014] Dance, D., Christofides, S., Maidment, A., McLean, I. et Ng, K. (2014). Diagnostic radiology physics. *International Atomic Energy Agency*, 299.

[de la Justice, 2015] de la Justice, M. (2015). Règlement sur la radioprotection. https://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/SOR-2000-203.pdf, consulté le 27/9/2023.

[DE RADIOPROTECTION, 2016] DE RADIOPROTECTION, A. (2016). Présentation des principales dispositions réglementaires de radioprotection applicables en radiologie médicale et dentaire.

[de TOVE Kofi-Mensa *et al.*, 2020] de TOVE Kofi-Mensa, S., Herbert, F., Fabien, G., Djivèdé, A., Gil-Christ, A. B., Miralda, K., Patricia, Y. A., Olivier, B., Vicentia, B. *et al.* (2020). Radioprotection en imagerie médicale dans les hôpitaux du nord bénin. *Journal Africain d'Imagerie Médicale (J Afr Imag Méd).*, 12(3).

[Domine, 2022] Domine, B. (2022). A la sureté et à la securité de l'énergie nucléaire et aux rayonnements ionisants. https://www.ilo.org/dyn/natlex/docs/ELECTRONIC/113828/142900/F524371253/BDI-113828.pdf.

[Dossou, 2015] Dossou, J. (2015). Evaluation spontanee de la radioprotection et les effets des faibles doses d'exposition aux rayons x face a la reparation cellulaire.

[Dossou *et al.*, 2015] Dossou, J., ABINDA, G.-M., Adjagba, M., BONI, L., LOKO, F., Badie, C. et Foray, N. (2015). Evaluation spontanee de la radioprotection et les effets des faibles doses d'exposition aux rayons x face a la reparation cellulaire. *Les Cahiers du CBRST*, 4:683–697.

[Florence *et al.*, 2023] Florence, O. T., Hugues, S., Sandrine, O., Victor, G. et Lincoln, T. T. (2023). Application of worker radiation protection measures in the department of nuclear medicine of the centre hospitalier universitaire yalgado ouédraogo, burkina faso. *HEALTH SCIENCES AND DISEASE*, 24(9).

[Ghlamallah, 2020] Ghlamallah, D. B. (2020). Interaction rayonnement-matière. http://fsm.univ-tiaret.dz/docs/cours/P_M1__interaction_Rayonn_Mat.pdf, consulté le 17/2/2024.

[Hammami *et al.*, 2021] Hammami, R., Jmaa, A. B., Bahloul, A., Charfeddine, S., Ellouze, T., Mallek, S., Mrad, I. B., Abid, L., Kammoun, S. et Jdidi, J. (2021). Évaluation des pratiques et connaissances en radioprotection des cardiologues en tunisie. *Pan African Medical Journal*, 38(1).

[Hazou *et al.*, 2023] Hazou, E., Dzagli, M., Ndontchueng, M., Konzou, E., Patchali, T., Kola, P. et Zorko, B. (2023). Assessment of radiation hazards related to phosphate ore processing around kpémé plant in togo : Multivariate statistical approach. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20(1):307–320.

[IRSN, 2012a] IRSN (2012a). Les différents rayonnements ionisants : alpha, beta, gamma... https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/sante/differents-rayonnements-ionisants-alpha-beta-gamma, consulté, le 10/03/2024.

[IRSN, 2012b] IRSN (2012b). Les unités de mesure. https://www.irsn.fr/savoir-comprendre/dialogue-pedagogie/unites-mesure, consulté le 20/09/2023.

[ISO, 1994] ISO (1994). Organisation internationale de normalisation, management de la qualité et assurance de la qualité — vocabulaire, ISO 8402 : ISO, genève.

[Jimonet et Métivier, 2007] Jimonet, C. et Métivier, H. (2007). Collectif : Principes de radioprotection : Réglementation. *EDP SCIENCES, août*.

[Journal.Africa, 2022] Journal.Africa, L. (2022). Burundi : la rareté de femmes scientifiques affecte l'atteinte des odd. https://lejournal.africa/burundi-la-rarete-de-femmes-scientifiques-affecte-latteinte-des-odd/, consulté, le 29/02/2024.

[Kloug, 2010] Kloug (2010). Initiation à la dosimétrie. https://www.rpcirkus.org/images/pdf/DOC-FO/DOC-FO-11_1_Initiation_a_la_dosimetrie.pdf, consulté, le 12/04/2024.

[Kouassi *et al.*, 2005a] Kouassi, Y., Wognin, S., N'gbesso, R., Yeboue-Kouame, Y., Tchicaya, A., Alla, D. et Bonny, J. (2005a). Etude de l'observance des règles de radioprotection en milieu hospitalier à abidjan. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 66(4):369–374.

[Kouassi *et al.*, 2005b] Kouassi, Y., Wognin, S., N'gbesso, R., Yeboue-Kouame, Y., Tchicaya, A., Alla, D. et Bonny, J. (2005b). Etude de l'observance des règles de radioprotection en milieu hospitalier à abidjan. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 66(4):369–374.

[Mbo Amvene, 2017] Mbo Amvene, D. (2017). Observance des règles de radioprotection dans les services d'imagerie des hôpitaux de l'extrême-nordducameroun.

[OMS, 2016] OMS (2016). Rayonnements ionisants, effets sur la santé et mesures de protection. *Repéré à http ://www. who. int/mediacentre/factsheets/fs371/fr*.

[Podgorsak *et al.*, 2003] Podgorsak, E. B. *et al.* (2003). Review of radiation oncology physics : a handbook for teachers and students. *Vienna, Austria : IAE Agency*, 19:133.

[Protection, 2007] Protection, R. (2007). Icrp publication 103. *Ann ICRP*, 37(2.4):2.

[Samueli, 2009] Samueli, J.-J. (2009). La découverte des rayons x par röntgen. *Bibnum. Textes fondateurs de la science*.

[Smith et Doe, 2019] Smith, J. et Doe, A. (2019). Advancements in x-ray irradiation techniques. *Journal of Radiological Protection*, 39(4):123–134.

[Socimed, 2023] Socimed (2023). Description du cache thyroïde plombé. https://www.xraystore.fr/927-proteges-gonades, consulté le 24/09/2023.

[Sugier *et al.*, 2005] Sugier, A., Nénot, J.-C. et Lecomte, J.-F. (2005). Les recommandations de la cipr : les raisons d'un changement. *Radioprotection*, 40(3):327–344.

[Tubiana, 2005] Tubiana, M. (2005). *Introduction to radiobiology*. CRC Press.

[UNSCEAR, 2000] UNSCEAR (2000). United nations scientific committee on the effect of atomic radiation (unscear), report to the general assembly. Annex B : Exposures from natural radiation sources.

[Vaillant et Schneider, 2012] Vaillant, L. et Schneider, T. (2012). Evaluation du détriment associé à l'exposition aux faibles doses et faibles débits de dose dans le système de radioprotection. *Environnement, Risques & Santé*, 11(2):149–159.

[Waldhäusl *et al.*, 2005] Waldhäusl, C., Wambersie, A., Pötter, R. et Georg, D. (2005). In-vivo dosimetry for gynaecological brachytherapy : physical and clinical considerations. *Radiotherapy and oncology*, 77(3):310–317.

[WikiStat, 2000] WikiStat (2000). Anova. https://www.math.univ-toulouse.fr/~besse/Wikistat/pdf/st-m-modmixt3-anova.pdf, consulté, le 7/03/2024.

[Xraystore, 2023] Xraystore (2023). Description du cache thyroïde plombé. https://www.socimed.com/protege-cou.html, consulté le 24/09/2023.

ANNEXES

A.1 Mesures des doses absorbées par les personnels des services d'imagerie médicale

Lecture des dosimètres portés par le personnel du Service d'imagerie médicale de la Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura durant la période du 1 Octobre au 31 Décembre 2023

Les personnels des services d'imagerie médical de huit hôpitaux impliqués dans notre étude ont porté les dosimètres qui nous ont permis de mesurer la dose qu'ils ont absorbé pendant une période de trois mois. D_{ind} est la dose mesurée par le dosimètre individuel, D_{dT} est la dose mesurée par le dosimètre témoin et D est la dose qui provient directement des appareils à Rx. Les résultats de la lecture effectuée au laboratoire de l'INSP sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau A.1.1 – Dose totale absorbée par le personnel d'IM de la Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(10)≡Corps entier	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(3)≡Yeux ; Cristallin	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(0.07)≡Peau	Nature du rayonnement
Personnel 1	GA00019667T	0,458	0,453	0,453	PH
Personnel 2	GA000194247	0,436	0,431	0,431	PH
Personnel 3	GA00019557W	0,454	0,450	0,450	PH
Personnel 4	GA00017413C	0,452	0,450	0,450	PH
Dosimètre témoin	GA00052539T	0,432	0,428	0,428	PH

Dose reçue par les personnels de la Polyclinique Maison Médicale provenant des appareils :

$$D = D_{ind} - D_{dT}$$

Tableau A.1.2 – Dose absorbée par le personnel (IM) de la Polyclinique Maison Médicale provenant des appareils d'imagerie Médicale

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(10)	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(3)	Dose (mSv) émise par les appareils Hp(0.07)	Nature du rayonnement
Personnel 1	GA00019667T	0.026	0.025	0.025	PH
Personnel 2	GA000194247	0.004	0.003	0.003	PH
Personnel 3	GA00019557W	0.022	0.021	0.022	PH
Personnel 4	GA00017413C	0.020	0.021	0.022	PH

La limite de détection des dosimètres Inlight de laboratoire de l'INSP est 0.1 mSv. Toute dose inférieure à 0.1 mSv est considérée comme nulle.

Lecture des dosimètres portés par le personnel du Service d'imagerie médicale de l'hôpital Militaire de Kamenge durant la période du 1 Octobre au 31 Décembre 2023

Tableau A.2.1 – Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de l'hôpital Militaire de Kamenge

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(10)≡Corps entier	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(3)≡Yeux ; Cristallin	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(0.07)≡Peau	Nature du ray
Personnel 1	GA000196805	0,397	0,397	0,397	P

Personnel 2	GA00019678Q	0,364	0,364	0,364	P
Personnel 3	GA00018990Z	0,391	0,391	0,391	P
Personnel 4	GA00019379U	0,431	0,426	0,426	PH
Personnel 5	GA00019620B	0,435	0,432	0,432	PH
Personnel 6	GA00018979J	0,506	0,502	0,502	PH
Personnel 7	GA000189024	0,410	0,404	0,404	PH
Personnel 8	GA00019215A	0,507	0,503	0,503	PH
Personnel 9	GA000193273	0,350	0,326	0,326	PM
Dosimètre témoin	GA000182870	0,412	0,412	0,412	P

Dose reçue par le personnel de l'Hôpital Militaire de Kamenge provenant des appareils :

$$D = D_{ind} - D_{dT}$$

Tableau A.2.2 – Dose absorbée par le personnel(IM) de la Polyclinique Maison Médicale provenant des appareils d'imagerie Médicale

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(10)	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(3)	Dose (mSv) émise par les appareils Hp(0.07)	Nature du rayonnement
Personnel 1	GA000196805	0	0,015	0	P
Personnel 2	GA00019678Q	0	0	0	P
Personnel 3	GA00018990Z	0	0	0	P

Personnel 4	GA00019379U	0,019	0,015	0,015	PH
Personnel 5	GA00019620B	0,024	0,020	0,020	PH
Personnel 6	GA00018979J	0,095	0,090	0,090	PH
Personnel 7	GA000189024	0	0	0	PH
Personnel 8	GA00019215A	0,095	0,091	0,091	PH
Personnel 9	GA000193273	0	0	0	PM

La limite de détection des dosimètres Inlight de laboratoire de l'INSP est 0.1 mSv. Toute dose inférieure à 0.1 mSv est considérée comme nulle.

Lecture des dosimètres portés par le personnel du Service d'imagerie médicale d'hôpital C.M.C.C durant la période du 1 Octobre au 31 Décembre 2023

Les résultats de lecture sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau A.3.1 – Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de l'hôpital C.M.C.C

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(10)≡Corps entier	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(3)≡Yeux ; Cristallin	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(0.07)≡Peau	Nature du rayonnement
Personnel 1	GA00018320I	0,444	0,439	0,439	PH
Personnel 2	GA000194255	0,458	0,454	0,454	PH
Personnel 3	GA00052716X	0,500	0,493	0,493	PH
Dosimètre témoin	GA00019055A	0,446	0,440	0,440	PH

Dose reçue par le personnel de l'hôpital C.M.C.C provenant des appareils :

$$D = D_{ind} - D_{dT}$$

Tableau A.3.2 – Dose absorbée par le personnel(IM) de l'hôpital C.M.C.C provenant des appareils d'imagerie Médicale

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(10)	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(3)	Dose (mSv) émise par les appareils Hp(0.07)	Nature du ray
Personnel 1	GA0001832OI	0	0	0	PH
Personnel 2	GA000194255	0.012	0.014	0.014	PH
Personnel 3	GA00052716X	0.054	0.053	0.053	PH

La limite de détection des dosimètres Inlight de laboratoire de l'INSP est 0.1mSv. Toute dose inférieure à 0.1mSv est considérée comme nulle.

Lecture des dosimètres portés par le personnel du Service d'imagerie médicale du CHUK durant la période du 1 Octobre au 31 Décembre 2023

Les résultats de lecture sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau A.4.1 – Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'imagerie médicale du CHUK

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(10)≡Corps entier	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(3)≡Yeux ; Cristallin	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(0.07)≡Peau	Nature du rayonnement
Personnel 1	GA000524725	0,334	0,479	0,557	PB
Personnel 2	GA00020042O	0,333	0,345	0,345	PM
Personnel 3	GA000194239	0,465	0,647	0,647	PH
Personnel 4	GA000191946	0,332	0,332	0,332	P
Personnel 5	GA000173366	0,348	0,348	0,348	P
Personnel 6	GA000193067	0,344	0,344	0,344	P
Personnel 7	GA000192944	0,361	0,361	0,361	P
Dosimètre Témoin	GA00019556Y	0,353	0,353	0,353	P

La lecture a été effectuée en date 19 Janvier 2024 au labo de l'INSP

Dose reçue par le personnel du CHUK provenant des appareils

$$D = D_{ind} - D_{dT}$$

Tableau A.4.2 – Dose absorbée par le personnel (IM) du CHUK provenant des appareils d'imagerie Médicale

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(10)	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(3)	Dose (mSv) émise par les appareils Hp(0.07)	Nature du ray
Personnel 1	GA000524725	0	0,125	0,204	PB
Personnel 2	GA00020042O	0	0	0	PM
Personnel 3	GA000194239	0,112	0,293	0,293	PH
Personnel 4	GA000191946	0	0	0	P
Personnel 5	GA000173366	0	0	0	P
Personnel 6	GA000193067	0	0	0	P
Personnel 7	GA000192944	0,007	0,007	0,007	P

La limite de détection des dosimètres Inlight de laboratoire de l'INSP est 0.1 mSv. Toute dose inférieure à 0.1 mSv est considérée comme nulle.

Lecture des dosimètres portés par le personnel du Service d'imagerie médicale d'HPNB durant la période du 1 Octobre au 31 Décembre 2023

Les résultats de lecture sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau A.5.1 – Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de l'HPNB

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(10)≡Corps entier	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(3)≡Yeux ; Cristallin	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(0.07)≡Peau	Nature du rayonnement
Personnel 1	GA00006481C	0,404	0,404	0,404	P
Personnel 2	GA00018099Z	0,413	0,406	0,406	PH
Personnel 3	GA00019518Y	0,418	0,414	0,414	PH
Dosimètre témoin	GA00018944W	0,404	0,396	0,396	PH

Dose reçue par le personnel de l'HPNB provenant des appareils

$$D = D_{ind} - D_{dT}$$

Tableau A.5.2 – Dose absorbée par le personnel de l'HPNB provenant des appareils d'imagerie Médicale

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(10)	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(3)	Dose (mSv) émise par les appareils Hp(0.07)	Nature du ray
Personnel 1	GA00006481C	0	0.007	0.007	P
Personnel 2	GA00018099Z	0.009	0.010	0.010	PH
Personnel 3	GA00019518Y	0.014	0.017	0,017	PH

La limite de détection des dosimètres Inlight de laboratoire de l'INSP est 0.1 mSv. Toute dose inférieure à 0.1 mSv est considérée comme nulle.

Lecture des dosimètres portés par le personnel du Service d'imagerie médicale de l'INSP durant la période du 1 Octobre au 31 Décembre 2023

Les résultats de lecture sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau A.6.1 – Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de l'INSP

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(10)≡Corps entier	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(3)≡Yeux ; Cristallin	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(0.07)≡Peau	Nature du rayonnement
Personnel 1	GA00019253A	0,456	0,452	0,452	PH
Personnel 2	GA000193843	0,497	0,491	0,491	PH
Personnel 3	GA000066909	0,524	0,545	0,545	PH
Personnel 4	GA000193356	0,515	0,510	0,510	PH
Dosimètre témoin	GA00019744Z	0,466	0,462	0,462	PH

Dose reçue par le personnel de l'INSP provenant des appareils

$$D = D_{ind} - D_{dT}$$

Tableau A.6.2 – Dose absorbée par le personnel d'IM de l'INSP provenant des appareils d'imagerie Médicale

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(10)	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(3)	Dose (mSv) émise par les appareils Hp(0.07)	Nature du ray
Personnel 1	GA00019253A	0	0	0	PH
Personnel 2	GA000193843	0.031	0.030	0.030	PH
Personnel 3	GA000066909	0.057	0.084	0.084	PH
Personnel 4	GA000193356	0.050	0.048	0.048	PH

La limite de détection des dosimètres Inlight de laboratoire de l'INSP est 0.1 mSv. Toute dose inférieure à 0.1 mSv est considérée comme nulle.

Lecture des dosimètres portés par le personnel du Service d'imagerie médicale de KIRA Hospital durant la période du 1 Octobre au 31 Décembre 2023

Les résultats de lecture sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau A.7.1 – Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de KIRA Hospital

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(10)≡Corps entier	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(3)≡Yeux ; Cristallin	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(0.07)≡Peau	Nature du rayonnement
Personnel 1	GA000190972	0,443	0,436	0,436	PH
Personnel 2	GA00019546Z	0,457	0,447	0,447	PH
Personnel 3	GA000195526	0,440	0,435	0,435	PH
Personnel 4	GA00019250G	0,450	0,447	0,447	PH
Personnel 5	GA000182755	0,390	0,383	0,383	PH
Personnel 6	GA000192928	0,411	0,407	0,407	PH
Personnel 7	GA00018898L	0,425	0,414	0,414	PH
Personnel 8	GA00019368X	0,395	0,385	0,385	PH
Dosimètre témoin	GA00019271C	0,424	0,416	0,416	PH

Dose reçue par le personnel de l'hôpital KIRA Hospital provenant des appareils

$$D = D_{ind} - D_{dT}$$

Tableau A.7.2 – Dose absorbée par le personnel (IM) de KIRA Hospital provenant des appareils d'imagerie Médicale

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(10)	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(3)	Dose (mSv) émise par les appareils Hp(0.07)	Nature du ray
Personnel 1	GA000190972	0,019	0,020	0,020	PH
Personnel 2	GA00019546Z	0,033	0,030	0,030	PH
Personnel 3	GA000195526	0,016	0,019	0,019	PH
Personnel 4	GA00019250G	0,026	0,031	0,031	PH
Personnel 5	GA000182755	0	0	0	PH
Personnel 6	GA000192928	0	0	0	PH
Personnel 7	GA00018898L	0,001	0	0	PH
Personnel 8	GA00019368X	0	0	0	PH

La limite de détection des dosimètres Inlight de laboratoire de l'INSP est 0.1 mSv. Toute dose inférieure à 0.1 mSv est considérée comme nulle.

Lecture des dosimètres portés par le personnel du Service d'imagerie médicale d'HPRC durant la période du 1 Octobre au 31 Décembre 2023

Les résultats de lecture sont résumés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau A.8.1 – Mesures de dose totale absorbée par le personnel d'IM de l'HPRC

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(10)≡Corps entier	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(3)≡Yeux ; Cristallin	Dose (mSv) des dosimètres portés Hp(0.07)≡Peau	Nature du rayonnement
Personnel 1	GA00019569R	0,473	0,465	0,465	PH
Personnel 2	GA000197142	0,467	0,462	0,462	PH
Personnel 3	GA00019322D	0,293	0,275	0,275	PM
Personnel 4	GA000191467	0,430	0,422	0,422	PH
Personnel 5	GA00019010O	0,446	0,436	0,436	PH
Personnel 6	GA00017512C	0,422	0,411	0,411	PH
Dosimètre témoin	GA000189032	0,387	0,387	0,387	P

Dose reçue par le personnel de l'HPRC provenant des appareils

$$D = D_{ind} - D_{dT}$$

Tableau A.8.2 – Dose absorbée par le personnel(IM) de l'HPRC provenant des appareils d'imagerie Médicale

Numéro de processus	Numéro de série	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(10)	Dose (mSv) émise par des appareils Hp(3)	Dose (mSv) émise par les appareils Hp(0.07)	Nature du ray
Personnel 1	GA00019569R	0,086	0,078	0,078	PH
Personnel 2	GA000197142	0,081	0,075	0,075	PH
Personnel 3	GA00019322D	0	0	0	PM
Personnel 4	GA000191467	0,043	0,036	0,036	PH
Personnel 5	GA00019010O	0,060	0,050	0,050	PH
Personnel 6	GA00017512C	0,035	0,025	0,025	PH

La limite de détection des dosimètres Inlight de laboratoire de l'INSP est 0.1 mSv. Toute dose inférieure à 0.1 mSv est considérée comme nulle.

A.2 Détails sur les types d'appareils

Types et âges des appareils des services d'imagerie médicale pour les huit hôpitaux

L'équipement principal en radiologie, qu'il soit analogique ou numérique se compose toujours d'une source à rayons X, d'un détecteur (ou récepteur) et d'un système de traitement de l'image. Même si la numérisation présente plusieurs avantages (Voir Chapitre 4) par rapport à l'imagerie analogique, la source de Rayons X représentée par le tube et le générateur reste la même, quel que soit le système [AYADI, 2021].

Tableau A.2 – Caractéristiques des appareils utilisés dans les services d'imagerie médicale des huit hôpitaux enquêtés

Hôpital	Nombre d'appareil	Type	Marque	Année de fabrication
1.Polyclinique Maison Médicale de Bujumbura	3	Analogique	1.G.E MEDICAL SYSTEM 2. SIEMENS 3. MEDICAL DIAGNOSTIC X-RAY MACHINE	1993 1984 2018
2. C.M.C.C Rohero	1	Analogique	VARIAN	1995
3. INSP	1	Analogique		2013
4. HMK	1	Numérique et semi-numérique	SIEMENS	2021
5.HPRC	2	Semi-numérique	1. VILLA MEDICAL 2. MULTIRAD	2016 2019
6.HPNB	1	Analogique	Allengers-525	2018
7.CHUK	1	Numérique	BMI	2021
8.KIRA HOSPITAL	5	Numérique	1.Scanner (TOSHIBA)(2) 2. Mammo(PHILIP)(2) 3. RX (FUJI)	Pas disponible

A.3 Informations sur les salles

Dimensions des salles et nombre de fenêtres pour chacune

Le tableau suivant donne les dimensions de neuf salles qui abritent les appareils qui émettent les rayons X utilisés dans les services d'imagerie médicale.

Tableau A.3 – Relevé des dimensions des salles abritant les appareils d'imagerie médicale

Hôpital	**Longueur**	**Largeur**	**Surface**	**Nombres de fenêtres**	**Distance entre le tube à Rx et le paravent**
1. Maison Médicale de Bujumbura	5 m	3 m	15 m^2	4	3 m
2. C.M.C.C Rohero	6 m	2,5 m	15 m^2	2	3 m
3. INSP	8,2 m	7 m	57,4 m^2	0	3 m
4. HMK	4,9 m	3,9 m	19,11 m^2	1	345 m
5.HPRC (Deux salles)	4,8 m 5.9 m	3,1 m 4,8 m	14,88 m^2 28,32 m^2	0 0	2,7 m 3 m
6.HPNB	9,5 m	6,5 m	61,75 m^2	0	5 m
7.CHUK	8 m	7m	56 m^2	0	3 m
8.KIRA HOSPITAL	8 m	7 m	56 m^2	0	3 m

FICHE D'ENQUÊTE

Introduction.

Les activités utilisant des rayonnements ionisants (RI) se sont diversifiées et développées au cours des années dans tous les secteurs (Nucléaire, industriel, médical, recherche, défense). En même temps, les moyens d'assurer la surveillance dosimétrique des travailleurs exposés ont bénéficié de progrès technologiques. Cependant, le NCRP (National Council on Radiation Protection and Measurements) l'Agence International de l'Énergie Atomique (AIEA) recommandent une dose limite que les travailleurs et le public ne doivent pas dépasser.

Pour cela, nous voulons dans le cadre de ce travail de mémoire, mesurer et évaluer les doses reçues par les personnels travaillant dans les services d'imagerie médicale des hôpitaux de la ville de Bujumbura afin d'évaluer le risque de surexposition aux rayonnements ionisants par les personnels. Et c'est dans cette optique que nous vous demandons de remplir ce questionnaire qui va nous permettre d'évaluer la radioprotection.

N.B : COCHER LA BONNE RÉPONSE

1. Genre

Homme □ Femme □

2. Profil

1. Médecin radiologue □ 2. Technicien en imagerie médicale □

3. Autres……

3. Disposez- vous d'un moyen de protection (Cochez la/les bonne(s) réponse(s)) :

a. Individuel :

1. gants plombés □ 2. Tablier plombé □ 3. Cache gonades plombés □

4. cache ovaires plombés □ 5. Cache thyroïdes plombés □ 6. Lunettes plombées □

b. Collectif :

1. cabinet en paravent plombé □ 2. Cabinet en mur en béton+ paravent 3. Cabinet en brique □ 4.Signalisation du public □

4. Normes de constructions de la salle abritant les appareils d'Imagerie médicale (Question réservée au chef de service).

Scanner □ radiographie conventionnelle□

A. a) Longueur…….. b) Largeur……. c) Nombres de fenêtres …….

d) distance entre le tube à RX et paravent (cabinet de commande) ……...

B. a)Mur est-il en béton ? Oui □ Non □ je ne sais pas □

b) Fenêtres et portes sont-elles plombées ? Oui □ Non □ je ne sais pas□

c) Vitre est-elle plombée ? Oui □ Non □

d) Existence de salle d'attente ? Oui □ Non □

5. Calibrages des équipements (Mesure des valeurs de E (effective dose) pour voir si elles sont inférieures aux valeurs recommandées par le NCRP).

a) personne chargée du contrôle qualité (calibrage)

1. Physicien médical □ 2. Technicien biomédical □ 3. Pas disponible □

b) Connaissez-vous l'état de calibrage des équipements des services d'Imageries médicales.

Oui □ Non □

Si Oui, précise-le ……..

c) Effectuez-vous d'une façon régulière un test de calibrage ?

Oui □ Non □

Si Oui à quelle fréquence……..

d) Vos appareils datent de quelle année ? ……

e) Combien d'appareils sont dans votre salle d'imageries médicales ? □
Quelles sont les marques ? ……..

f) Votre appareil de radiographie est : 1. Numérique □ 2. Semi numérique □
3. Analogique □

6. Surveillance dosimétrique

a) Personnel sous rayonnement ionisant possède un dossier individuel de suivi de dose ?

Oui □ Non □

b) Bénéficiez-vous un suivi dosimétrique périodique ? Oui □ Non □

Si Oui précise le type de dosimétrie…….
Les doses sont enregistrées dans le registre individuel ? Oui □ Non □

c) Disposez-vous un médecin légal pour le suivi de votre santé ? Oui □ Non □

Si OUI à temps partiel □ ou permanent □

d) Disposez-vous d'une personne compétente en radioprotection (PCR) dans votre service ?

Oui □ Non □

e) Faites-vous des examens hématologiques notamment NFS réguliers pour évaluer les doses absorbées provenant des appareils d'imageries médicales? Oui □ Non □

Si OUI à quelle fréquence ?……...

7. Information sur les heures de travail et autres droits

a) Vous travaillez combien d'heures par semaine (inclus les gardes de nuits et weekend et jours fériés) ? ……..

b) Quelle est la fréquence des patients par jours ou par an dans votre service ? ……

c) Vous bénéficiez un congé d'irradiation (à RX) ? Oui □ Non □
Si oui combien de jours par an ? ……

d) Vous bénéficiez sur salaire une indemnité d'irradiation (à RX) ? Oui □ Non □
Si oui quel pourcentage par rapport au salaire de base ?…….

e) Vous bénéficiez un régime alimentaire ? Oui □ Non □

8. Information sur les heures de travail pour les femmes enceintes.

a) Étant enceinte, vous travaillez dans la salle à RX ? Oui □ Non □

Si Oui Vous travaillez combien d'heures par semaine (inclus les gardes de nuits et weekend et jours fériés)?……...

b) Après l'accouchement pendant la période d'allaitement, vous travaillez dans la salle à RX ?
Oui □ Non □
Si Oui, à partir de quelle période?……

c) Bénéficiez-vous un congé après combien de mois de naissance ?……..

9. Les stagiaires

a) Ont-ils des matériels de protection individuel ? Oui□ Non□

b) Les stagiaires bénéficient un suivi dosimétrique ? Oui □ Non □

c) Des stagiaires féminines : font de test de grossesse ou échographie pelvienne pour exclure une grosse avant de commencer les stages ? Oui □ Non □

d) Elles font les stages même si elles sont enceintes ou allaitantes ? Oui □ Non□

11. Informations sur les conditions de travail

a) Pendant le travail, portez-vous un tablier en plomb ? Oui □ Non □

b) Pendant le travail, positionnez-vous à quelle distance de la source de
Rayons x …….

c) Avez-vous des manuels ou fiches techniques de procédures en radioprotection dans votre service ? Oui □ Non □

d) Avez-vous déjà bénéficié une/des formation(s) en cours d'emploi en rapport avec la radioprotection ?

Oui □ Non □

Si oui, combien de fois……, La durée de la formation……., Lieu(x) de formation……..

11. Quelles sont autres informations que vous aimeriez partager ?

……

……

……Fin …….…….