

N° d'ordre : 106



**Université d'Abomey-Calavi**

\*\*\*\*\*

**École Doctorale Sciences de l'Ingénieur « ED-SDI »**

\*\*\*\*\*

**Master de Recherche en Radiobiologie–Radioprotection**

**Rapport de Stage**

Thème :

**Evaluation des doses efficaces aux organes et  
risque de cancers radio-induits en Scanographies  
Pédiatriques au CHU-YO au Burkina-Faso.**

Présenté par :

**Adama TONDE**

Sous la direction de:

**Dr. Julien DOSSOU**

Maitre de conférences des Universités du CAMES

**Laboratoire de Recherche en Biologie Appliquée (LARBA)**

## Listes des enseignants de la formation de Master de Recherche

Années Universitaires : 2017-2019

Prénoms	Noms	Matières enseignées
Pr. Léonard	FOURN	Epidémiologie des cancers
Pr. Léonard	FOURN	Biostatistiques
Pr. Isidore	SOSSA ZOHOUN	Hématologie et Oncologie
Pr. Guy	MENSAH	Méthodologie de Recherche
Apollinaire	DOSSOU	Radiotoxicologie
Pr. Julien	AHISSOU	Chimie sous Rayonnements ionisants
Pr Hyacinthe	MASSOLOKONON	Histologie des tissus irradiés
Dr. Vincent	KOUDANDE	Animaux de Laboratoire
Dr. Delphin O.	OLLORY	Anglais scientifique
M. Bienvenu	DOSSOU	Radioprotection
Pr. Julien	DOSSOU	Propriétés physiques des
Pr. Julien		rayonnements ionisants
	AMAKPE	Biologie Moléculaire et Séquençage
Dr. Félicien		
	GAUTHIER	Organisation et Fonctionnement de
Ir. Philippe		Laboratoire de Recherche
	MONOTE	Informatique Générale
M. Edmond		

## DEDICACE

**Je dédie ce travail à :**

**Mon Père Ablassé TONDE**, toi qui restes mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir. Sans toi, jamais je n'aurais pas pu avoir la chance d'entamer ce cursus. Je te le dédie à titre posthume. Que Dieu le Tout Puissant Miséricordieux t'accepte et te garde dans son immense paradis à toi mon père !

**Ma Mère Lamoussa Asseita TAPSOBA**, tu t'es toujours souciée de mon avenir, de me voir réussir. Plus qu'une mère, tu es pour moi une conseillère. Chère Maman, le fruit de ce travail est le résultat de ta combativité. Merci Mère.

**Mon épouse bien aimée Honorine et mes enfants**, merci pour ton affection tout au long de ce cursus.

## REMERCIEMENTS

Je souhaite exprimer mes plus chaleureux remerciements :

**Au Docteur Julien DOSSOU**, Coordonnateur du programme de Master de Recherche en Radiobiologie-Radioprotection. Un grand merci de m'avoir permis de réaliser mon rêve.

**Au Professeur Titulaire Antoine VIANOU**, Directeur de l'École Doctorale Sciences de l'Ingénieur, nous vous remercions pour cette occasion de nous avoir ce prestigieux cursus académique.

**Au Professeur Titulaire Guy Apollinaire MENSAH, Directeur de Recherches au CAMES** je vous remercie pour l'intérêt que vous avez porté à mon projet. Que ce travail soit pour moi l'occasion de vous exprimer mon respect et ma gratitude.

**Au Docteur Macaire AGBOMAHENA**, merci pour vos précieux conseils tout au long de cette formation. Veuillez trouver dans ce travail, le témoignage de ma reconnaissance.

**À Madame Nathalie AHOMADIKPOHOU**, secrétaire à l'École Doctorale. L'aboutissement de ce travail est le résultat de votre franche collaboration. Merci pour votre disponibilité.

**A tous les enseignants de la formation**, je vous remercie pour votre gentillesse, vos conseils, votre rigueur et votre sens élevé du travail bien fait.

**À ma famille**, merci du soutien de chaque instant durant ces années d'études.

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 1</b> : Description d'un appareil de scanographie.....	11
<b>Figure 2</b> : Illustration du faisceau d'irradiation en mode d'acquisition hélicoïdal .....	12
<b>Figure 3</b> : Les trois méthodes de détermination des doses efficaces.....	24
<b>Figure 4</b> : Equation de la radiolyse de l'eau .....	29
<b>Figure 5</b> : Schéma de la radiolyse de l'eau.....	30
<b>Figure 6</b> : ADN : Cible critique des rayonnements ionisants.....	31
<b>Figure 7</b> : Les lésions de l'ADN.....	32
<b>Figure 8</b> : Effets déterministes précoces.....	33
<b>Figure 9</b> : Chronologie des évènements suivant une irradiation .....	33
<b>Figure 10</b> : Comportement de la cellule lorsque le RI cause des dommages à l'ADN.....	34
<b>Figure 11</b> : linéaire sans seuil, modèle de relation linéaire à seuil et modèle d'hormèse .....	40
<b>Figure 12</b> : Répartition selon le sexe des enquêtés en scanographie pédiatriques .....	54
<b>Figure 13</b> : Répartition des examens scanographiques en fonction des régions anatomiques ...	55
<b>Figure 14</b> : Répartition des patients selon le nombre de scanners réalisés en 2019 au CHU-YO .....	56

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> : Valeurs de pondération radiologique WR .....	7
<b>Tableau 2</b> : Valeurs de pondération tissulaires WT (CIPR 103). .....	8
<b>Tableau 3</b> : Résumé des termes- définition-unité.....	10
<b>Tableau 4</b> : Caractéristiques de la séquence pour un patient type .....	14
<b>Tableau 5</b> : Facteurs de conversion en fonction de l'âge et de la région anatomique .....	21
<b>Tableau 6</b> : Caractéristiques des études sélectionnées pour la détermination des doses efficaces (E réf) de référence .....	23
<b>Tableau 7</b> : Les NRD par acquisition scanographique complète en vigueur. ....	25
<b>Tableau 8</b> : Dose efficaces comparées au risque radiologique .....	28

<b>Tableau 9</b> : Caractéristiques des études sélectionnées pour la détermination des produits- dose- longueur (PDL) de référence à partir des doses efficaces de référence .....	38
<b>Tableau 10</b> : Classement des 82 actes scanographiques et leurs indications cliniques.....	44
<b>Tableau 11</b> : Doses efficaces cumulées des 13 enfants en scanographie .....	53
<b>Tableau 12</b> : Répartition selon l'âge des patients en scanographies pédiatriques	56

## **RESUME**

La scanographie constitue la technique d'exploration médicale la plus irradiante. Une évaluation dosimétrique de 82 examens scanographiques est réalisée à partir des protocoles radiologiques utilisés en pédiatrie dans le service d'imagerie du Centre Hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO (CHU-YO). Les résultats montrent une nette prédominance des scanners cranio-encéphaliques (56,09%) suivis des examens de l'abdomen (26,82%). Au cours de la même période, 15,83% ont subi des scanners de contrôle. Ces résultats sont comparés aux NRD établis par l'IRSN. Une étude bibliographique principalement européenne a été menée de 2010 à 2012. Cette revue a fourni une base de données dosimétriques en fonction de la région anatomique et de l'âge du patient. L'évaluation du risque de cancer potentiellement induit par des actes de scanographies pédiatriques est faite sur la base d'estimation de risques obtenus pour d'autres contextes d'exposition aux rayonnements ionisants. Des études épidémiologiques suggèrent une augmentation du risque (entre 0,01‰ et 5‰) de cancer associé à l'exposition à la scanographie durant l'enfance.

**Mots clés : Dose efficace, cancer, Cassure double brin- Réparation des lésions de l'ADN- Radioprotection.**

## **ABSTRACT**

Scanning is the medical exploration technique most irradiating hold. A dosimetric evaluation of 82 scans examinations is carried out using radiological protocols used in paediatrics in the medical imaging department of Yalgado OUEDRAOGO University Hospital Center. The results show a clear predominance of brain scans (56, 09%) followed by abdominal scans (26, 82%). During the same period, 15, 83% of patients underwent control scanner. These results are compared to the NRD established by the IRSN. A mainly European bibliography was conducted from 2008 to 2014. This review provided a dosimetric database based on age and anatomical region. The assessment of the risk of cancer potentially induced by acts of pediatric scans is based on risk estimates obtained for other contexts of exposure to ionizing radiation. Epidemiological studies suggest increased risk (between 0,01‰ and 5‰) associated with exposure to scanning in childhood.

**Key words: Effective dose cancer double strand-break-DNA double strand-break repair-Radiation protection.**

## LISTES DES SIGLES, ABREVIATIONS ET ACRONYMES

- ✓ **AAPM** : Association Américaine des Physiciens Médicaux
- ✓ **ADN** : Acide Désoxyribonucléique
- ✓ **ALADA** : As Low As Diagnostically Achievable
- ✓ **ARN** : Acide Ribonucléique
- ✓ **Bq** : Becquerel
- ✓ **CCAM** : Classification Commune des Actes Médicaux
- ✓ **CCSN** : Commission canadienne de sureté nucléaire
- ✓ **CDB** : Cassure Double Brin
- ✓ **CHU-YO** : Centre Hospitalier Universitaire Yalgado Ouédraogo
- ✓ **CIPR** : Comité International de Protection Radiologique
- ✓ **CIPR 103** : rapport n°103 de la Commission International de Protection Radiologique
- ✓ **CIPR 60** : rapport n°60 de la Commission Internationale de Protection Radiologique
- ✓ **CR** : Compte Rendu
- ✓ **CSB** : Cassure Simple Brin
- ✓ **Dt,r** : Dose absorbée par l'organe
- ✓ **E** : Dose efficace
- ✓ **EBR** : Efficacité Biologique Relative
- ✓ **EpdI** : Facteur de Conversion permettant le calcul des doses efficaces à partir du Produit - Dose - Longueur
- ✓ **EQRS** : Évaluation Quantitative du Risque Sanitaire
- ✓ **ERA** : Excès de Risque Additif
- ✓ **Eref** : Dose efficace de référence
- ✓ **ERR** : Excès de Risque Relatif
- ✓ **Gy** : Gray
- ✓ **IDS** : Index de Dose Scanographique

- ✓ **INSD** : Institut National de la Statistique et de la Démographie
- ✓ **IRM** : Imagerie par Résonance Magnétique
- ✓ **IRSN** : Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire
- ✓ **KV** : Kilovolt (unité de mesure d'une tension électrique)
- ✓ **LSS** : Life Span Study. Cohorte des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki. Japon
- ✓ **mAS** : milliampères seconde
- ✓ **MC** : Monte Carlo
- ✓ **NHEJ** : Système de Réligation Non Homogène
- ✓ **NRD** : Niveaux de Référence Diagnostic
- ✓ **OTIMROEPQ** : Ordre des technologues en imagerie médicale, en radio-oncologie et électrophysiologie médicale
- ✓ **PDC** : Produit de Contraste
- ✓ **PDL** : Produit-Dose-Longueur
- ✓ **PDLref** : PDL de référence
- ✓ **RI** : Rayonnement Ionisant
- ✓ **SFIPP** : Société Francophone d'Imagerie Pédiatrique et Périnatale
- ✓ **SNC** : Système Nerveux Central
- ✓ **Sv** : Sievert
- ✓ **TAP** : Thoraco-abdomino-Pelvien
- ✓ **TDM** : Tomodensitométrie
- ✓ **UNSCEAR** : Comité Scientifique des Nations Unies pour l'Étude des radiations atomiques
- ✓ **Wr** : Facteur de pondération du rayonnement
- ✓ **Wt** : Facteur de pondération tissulaire

## SOMMAIRE

Listes des enseignants de la formation de Master de Recherche .....	II
DEDICACE.....	III
REMERCIEMENTS .....	IV
LISTE DES FIGURES.....	V
LISTE DES TABLEAUX.....	V
RESUME.....	VII
ABSTRACT .....	VII
LISTES DES SIGLES, ABREVIATIONS ET ACRONYMES .....	VIII
SOMMAIRE .....	X
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : GENERALITES SU LES RAYONNEMENTS IONISANTS.....	3
CHAPITRE 2 : PROBLEMATIQUE, CONTEXTE, JUSTIFICATION, HYPOTHESE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	15
CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES .....	42
CHAPITRE 4 : RESULTATS.....	51
CHAPITRE 5 : DISCUSSION.....	58
5-1-Difficultés pratiques liées à l'étude .....	59
CONCLUSION .....	64
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES : .....	65
Annexes .....	69
TABLES DES MATIÈRES .....	78

## INTRODUCTION

Depuis son invention dans les années 1970, la scanographie est devenue l'une des techniques d'imagerie médicale performante offrant des bénéfices considérables pour le diagnostic et le suivi médical des patients. Néanmoins, la question des effets adverses potentiels induits par l'exposition aux rayons-X se pose tant au niveau individuel qu'en terme de santé publique du fait de la fréquence du recours de cette procédure (Brenner *et al.* 2007). Des premières études épidémiologiques suggèrent une augmentation du risque de cancer associée à l'exposition à la scanographie durant l'enfance ou l'adolescence (IARC,2000). L'interprétation de ces résultats reste controversée et les connaissances du risque de cancer radio-induit à ce niveau d'exposition pendant l'enfance demeurent limitées (Tubiana *et al.* 2005 ; Mothersill and Saymour, 2013 ; Brenner, 2014).

Au Burkina Faso, cette technique occupe aujourd'hui une place importante au sein des modalités d'imagerie de par sa capacité à donner des informations diagnostiques très précises telles que la détection d'adénomes poly-phasiques ou le dépistage d'anomalies cardiaques, cérébrales ou vasculaires. Les pratiques de radioprotection d'une manière générale sont très peu documentées en raison de l'absence ou de la mise en œuvre approximative des lois et règlements en la matière. L'absence de Niveaux de Référence Diagnostiques réglementaires en scanographies pédiatriques est non seulement regrettable, mais constitue un facteur limitant, car seules les procédures associées à un NRD font l'objet d'un relevé annuel obligatoire. Les données publiées dans ce domaine sont très limitées et ne semblent déjà plus en adéquation avec les scanners actuels.

Les problèmes spécifiques à la pédiatrie sont une radiosensibilité accrue de certains tissus par rapport à celles des adultes, une espérance de vie longue susceptible de laisser se développer le risque de cancer (UNSCEAR, 2013) et un manque d'ajustement des conditions techniques de réalisation de l'examen. Une évaluation dosimétrique cohorte « enfants scanner » a été mise en place par l'IRSN

pour étudier l'incidence du cancer dans une population de 108.137 enfants ayant reçu des examens scanographies avant l'âge de 10 ans dans 23 services de radiologie pédiatrique français participant a montré une variabilité des pratiques au cours de la période. Ensuite une étude évaluative du risque de cancer potentiellement induit par des actes de scanographies pédiatriques a été réalisée sur la base de l'estimation du risque obtenu pour d'autres contextes d'exposition aux rayonnements ionisants. Les résultats ont montré que près de 3% des enfants présentent un facteur de prédisposition aux cancers étudiés (Bernier MO 2016). Ce risque de cancer serait 7 fois supérieur pour les patients âgés de 1 an par rapport à des enfants de 10 ans (Matthews *et al.* 2013). Les incertitudes attachées à ces prédilections du risque ont été quantifiées par simulation (Walsh *et al.* 2014). Le croisement de la cohorte avec le registre national des cancers pédiatriques a identifié 106 cas incidents de cancers dont 22 tumeurs cérébrales et 27 leucémies. L'étude évaluative de la radioprotection et des effets des faibles doses aux rayonnements ionisants (Dossou *et al.*, 2014) montre clairement l'ampleur du danger lié aux rayonnements ionisants. De tout ce qui précède, il est incontestable que les examens scanographiques réalisés chez les enfants au cours de notre étude peuvent occasionner des risques de santé à long terme surtout chez qui les examens ont été répétés. Notre rapport dont le thème est : « Evaluation des doses aux organes et risque de cancers radio-induits en scanographies pédiatriques au Centre Hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO au Burkina Faso » cherche à corréler l'exposition aux rayonnements ionisants lors d'examens de scanographies et la survenue de pathologies tumorales au sein des 82 enfants que nous avons étudié afin d'estimer la cancérogenèse associée à la Tomodensitométrie chez les enfants de moins de 15 ans au Burkina Faso. Nous pourrions donc proposer aux utilisateurs un outil d'optimisation des doses conforme aux NRD car nous estimons que les doses en pratiques scanographiques surtout pédiatriques sont largement au-dessus de celles recommandées au plan international.

## **CHAPITRE 1 : GENERALITES SU LES RAYONNEMENTS IONISANTS**

Nous plaçons ce travail sous l'angle de la **radiobiologie fondamentale**. Autrement dit, l'étude des effets des rayonnements ionisants sur la matière et les moyens de s'en protéger. Ce premier chapitre traite des définitions des concepts, des rappels sur les rayonnements ionisants et l'état des connaissances sur l'exposition des enfants au scanner.

## **1 -1 Généralités sur les rayonnements ionisants**

### **1-1-1 Définitions des termes et grandeurs physiques**

Dans ce sous-chapitre, nous définirons les termes physiques, les grandeurs dosimétriques nécessaires et les unités. Ils sont importants à la compréhension des effets des rayonnements ionisants sur la matière vivante.

- **Un rayonnement** est une propagation d'énergie dans l'espace sous forme de photon, de particule chargée ou d'onde électromagnétique depuis son origine, sa source.

- Il devient ionisant, lorsque l'énergie transportée est suffisamment grande, en tout cas supérieure à l'énergie de liaison, pour déloger un électron de la couche de l'atome (Dossou et al, 2014).

Ainsi, l'étude de leur production, de leurs propriétés physiques et de leurs interactions avec les tissus humains est donc un pré-requis indispensable à l'interprétation des images médicales qu'ils permettent d'obtenir, ainsi qu'à la compréhension de l'origine de leurs effets biologiques.

- **Substance radioactive** : toute substance contenant un ou plusieurs radionucléides dont l'activité ou la concentration ne peut être négligée pour des raisons de radioprotection ;

- **Activité** : l'activité A d'un radionucléide à un état énergétique déterminé et à un moment donné est le quotient de dN par dt où dN est le nombre probable de transitions nucléaires spontanées à partir de cet état énergétique dans l'intervalle de temps dt.

$A = dN / dt$ . L'unité d'activité est le **Becquerel (Bq)**.

**-Période radioactive (T1/2) :** C'est l'intervalle de temps au bout duquel l'activité du radioélément diminue de moitié.

- **Becquerel (Bq) :** nom de l'unité d'activité. Un becquerel équivaut à une transition ou à une (*désintégration*) par seconde.

$$1\text{Bq} = 1\text{s}^{-1}$$

### 1-1-2 Concepts radiologiques, biologiques et médicaux.

**Exposition :** C'est le fait d'être exposé aux rayonnements ionisants. On distingue :

- l'exposition externe : exposition résultant de sources situées en dehors de l'organisme ;
- l'exposition interne : exposition résultant de sources situées dans l'organisme ;
- l'exposition totale : somme de l'exposition externe et de l'exposition interne ;

**Incorporation :** activité des radionucléides pénétrant dans l'organisme à partir du milieu ambiant.

**Contamination radioactive :** contamination d'une matière, d'une surface, d'un milieu quelconque ou d'un individu par des substances radioactives. Dans le cas particulier du corps humain, cette contamination radioactive comprend à la fois la contamination externe cutanée et la contamination interne par quelle que voie que ce soit.

### 1-1-3 Les principaux indicateurs dosimétriques des RI.

L'exposition d'un individu aux rayonnements ionisants peut être caractérisée par plusieurs indicateurs dosimétriques : la **dose absorbée**, la **dose équivalente** à l'organe ou au tissu et la **dose efficace**, quelle que soit la source d'exposition et le type de rayonnement. Les effets sur l'organisme de l'exposition aux rayonnements ionisants sont caractérisés en fonction de ces indicateurs dosimétriques.

**Dose absorbée (D) :** L'importance d'une irradiation est définie par l'énergie déposée localement. La dose absorbée exprime en un point la quantité d'énergie

cédée par les rayonnements à l'unité de masse exposée. L'unité de mesure est le Gray (Gy) qui correspond à 1 joule/ kilogramme. En radioprotection, cet indicateur de dose désigne la dose moyenne absorbée par un tissu, un organe ou le corps entier. Elle est donnée par la formule :  $D = E/m$  où : E est l'énergie de l'électron et m la masse de matière en kg.

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J.Kg}^{-1}$$

**Dose équivalente ( $H_T$ )** : Afin de tenir compte de la nocivité des différents types de rayonnement (X, gamma, alpha,..), un facteur de pondération radiologique ( $W_R$ ) est appliqué à la dose absorbée. La dose équivalente ainsi calculée fournit un indicateur d'exposition comparable entre les différents types de rayonnements ionisants. Les  $W_R$  sont des valeurs opérationnelles pour la radioprotection. Ils sont définis par la Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) en fonction des effets biologiques, associés à chaque type de RI, observés lors d'expériences de radiobiologie (efficacité biologique relative). La dose équivalente s'exprime en sievert (Sv). Une dose équivalente de rayons-X de 1 Sv représente une dose absorbée de 1 Gy ( $W_R=1$ ) (ICRP 2007). Elle est donnée par la formule :

$$H_T = W_R \times D_{T,R}; \text{ où}$$

- $D_{T,R}$  est la moyenne pour l'organe ou le tissu T de la dose absorbée du rayonnement R et

- $W_R$  est le facteur de pondération radiologique.

**Tableau 1** : Valeurs de pondération radiologique  $W_R$

Type de rayonnement	Energie	$W_R$
Photons	Toutes énergies	1
Electrons, muons	Toutes énergies	1
Neutrons	$E < 10 \text{ keV}$	5
	$10 < E < 100 \text{ keV}$	10
	$100 \text{ keV} < E < 2 \text{ MeV}$	20
	$2 \text{ MeV} < E < 20 \text{ MeV}$	10
	$> 20 \text{ MeV}$	5
Protons	$E > 2 \text{ MeV}$	5
Particules alpha, fragments de fission, noyau lourds		20

**Source** : (CIPR 103)

**Dose efficace (E)** : La dose efficace correspond à la somme des doses équivalentes, délivrées par exposition interne et externe aux différents tissus et organes du corps, pondérées par un coefficient de risque, ou facteur de pondération tissulaire ( $w$ ). Ce coefficient  $W_t$  est lié au risque d'effets stochastiques pour l'organe. Les  $W_t$  sont aussi définis par la CIPR en tenant compte des données relatives au risque de cancer et d'effets héréditaires associés à l'exposition du tissu ou organe (ICRP, 2007). La dose efficace correspond donc à la dose virtuelle qui, en irradiation totale par des photons, entrainerait un risque d'effets stochastiques de même importance que celui associé à la somme des expositions reçues par l'individu à différents organes et par différents rayonnements. Elle n'est pas directement accessible à la mesure, mais doit être estimée par calcul à partir des facteurs de conversion et est définie par la formule :

$$E = \sum W_T H_T = \sum W_T \sum W_R D_{T,R}$$

- $D_{T, R}$  est la moyenne pour l'organe ou le tissu T de la dose absorbée du rayonnement R ;
- $W_R$  est le facteur de pondération radiologique, et l'unité de la dose efficace est aussi le Sv.

La dose efficace (E) permet également de comparer le risque, de développer un cancer radio-induit mortel sur la vie entière selon les examens radiologiques subis et ce, comparé au risque d'un examen radiographique des poumons (face et profil).

- $W_T$  est le facteur de pondération tissulaire valable pour le tissu ou l'organe T.

**Tableau 2** : Valeurs de pondération tissulaires  $W_T$  (CIPR 103).

Organe ou Tissu T	$W_T$
Moelle osseuse	0,12
Côlon	0,12
Poumons	0,12
Estomac	0,12
Sein	0,12
Autres *	0,12
Gonades	0,08

**Source** : (CIPR 103)

**Sievert (Sv)** : nom de l'unité de dose équivalente ou efficace. Un Sievert équivaut à un joule par Kilogramme pour les photons et les électrons de toutes énergies.

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ JKg}^{-1}$$

**Limites de doses** : Valeurs maximales fixées dans le règlement pour les doses résultant de l'exposition des personnes professionnellement exposées, des apprenti(e)s et des étudiant(e)s ainsi que les autres personnes du public aux rayonnements ionisants.

### **1-1-4 Autres sources de rayonnements ionisants**

- **Source** : substance radioactive, ou appareil ou installation pouvant émettre des rayonnements ionisants ou contenant des substances radioactives.
- **Source scellée** : source constituée par des substances radioactives solidement incorporées dans des matières solides et effectivement inactives.

#### **Les sources naturelles de rayonnements :**

- les rayonnements cosmiques variant avec l'altitude et la latitude (environ 0,4 mSv/an au niveau de la mer et augmentant de 0,5 mSv tous les 1000m en raison de la moindre filtration atmosphérique),
- les rayonnements telluriques plus ou moins importants en fonction des radioéléments naturels présents dans le milieu (uranium, thorium, potassium 40) et donc selon la nature du sol,
- le radon, gaz radioactif émanant du sol, omniprésent dans l'air, que l'on retrouve dans les habitations et les lieux de travail et qui constitue la principale source de rayonnement environnemental,
- les radioéléments naturels présents dans l'environnement (eau, végétaux, animaux).

#### **Les sources de rayonnements provenant des activités humaines :**

- les retombées des essais atmosphériques d'armes nucléaires qui se répartissent essentiellement sur l'ensemble de l'hémisphère Nord ainsi que les retombées des accidents de Tchernobyl (continent européen) et de Fukushima (continent asiatique),
- les résidus des activités anciennes qui peuvent être localisés (anciens sites industriels) ou dilués dans le milieu (déchets radioactifs immergés),
- les rejets radioactifs liquides et gazeux des installations nucléaires et industrielles en fonctionnement normal ou accidentel.

**Tableau 3:** Résumé des termes- définition-unités

Terme (Symbole)	Définition	Unité	
Activité (A)	$A = dN/dt$	Becquerel (Bq)	$= 1 \text{ S}^{-1}$
Dose absorbée (D)	$D = d\varepsilon/dt$	Gray (Gy)	$= 1\text{J.kg}^{-1}$
Dose équivalente ( $H_{T,R}$ )	$H_{T,R} = W_R D_{T,R}$	Sievert (Sv)	$= 1\text{J.kg}^{-1}$
Dose efficace (E)	$E = \sum W_T H_T$	Sievert (Sv)	$= 1\text{J.kg}^{-1}$

Source : (CIPR 103)

### 1-2 Expositions pédiatriques au scanner.

Les expositions collectives et individuelles associées à la scanographie, mettent en évidence, d'une part, l'importance de ces expositions comparativement à celles liées aux autres techniques d'imagerie médicale et, d'autre part, le manque de données concernant les pratiques spécifiques en pédiatrie. Les connaissances actuelles sur les risques de cancers possiblement associés à ce type d'exposition sont brièvement exposées au Burkina Faso, ainsi que les recommandations et les mesures de radioprotection des patients actuellement en vigueur. Il faut noter que les examens scanographiques ne représentent que 11% de l'ensemble des examens d'imageries diagnostiques réalisés au cours de la période d'étude.

Les risques potentiellement induits par des examens de scanographie sont prédits sur la base de modèles dose-réponse (spécifiques à un site de cancer) estimés à partir d'études épidémiologiques portant sur des expositions médicales à de fortes doses et/ou à partir de la Life Span Study (*LSS*). Les coefficients de risque par unité de dose issus de ces modèles sont appliqués aux données d'exposition de la population cible : des enfants recevant des scanners dans des services de radiologie au Burkina Faso.

Nous décrivons succinctement les aspects techniques et dosimétriques relatives au scanner au service d'imagerie du Centre Hospitalier Universitaire Yalgado

OUEDRAOGO afin de faciliter la compréhension de la méthodologie d'évaluation dosimétrique ainsi que l'interprétation de nos résultats.

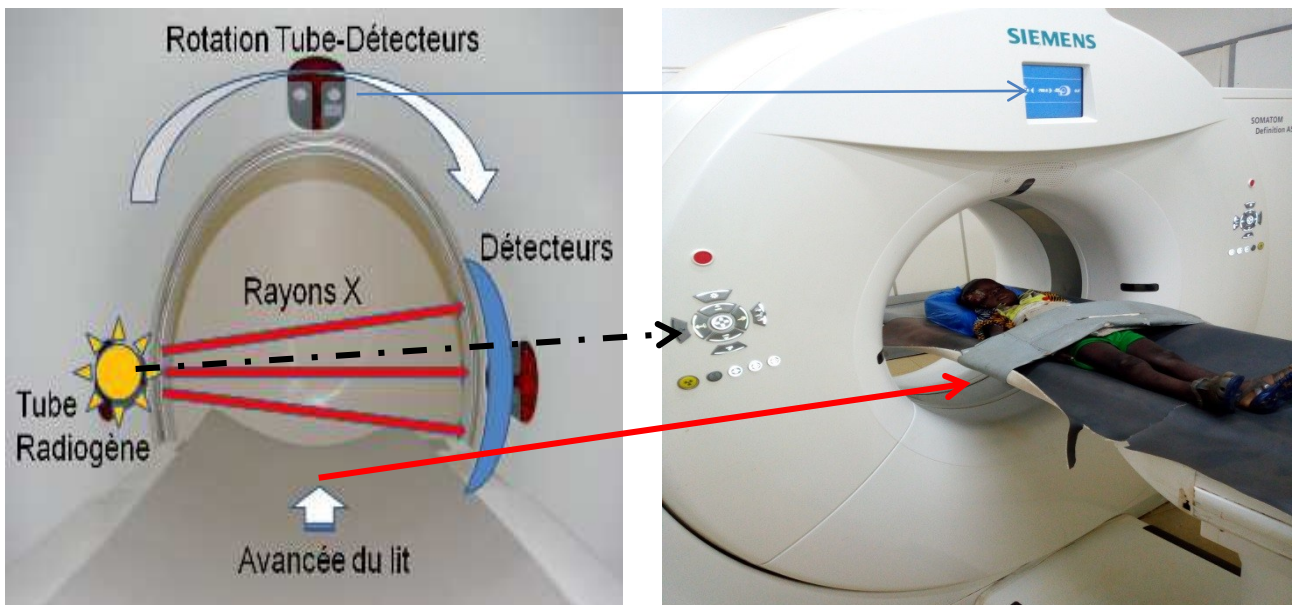
### 1-2-1 Aspects techniques de la scanographie.

Le service d'imagerie est équipé d'un scanner *Siemens AS Somatom définition* installé en 2014. C'est un scanner de dernière génération doté d'un système de modulation automatique de l'exposition et de reconstruction itérative et constitue une avancée significative en radioprotection.

Le scanner est un complexe tube à rayons –x –détecteurs disposés en couronne) qui, lors de l'acquisition de données effectue un mouvement de rotation autour du patient afin de mesurer des profils d'atténuation des rayons-x dans les tissus à différents angles. Durant un examen, le balayage du faisceau de rayons –x réalise des « coupes » axiales successives de la région explorée.

-Une coupe représentant le segment du corps exposé au cours d'une rotation du complexe tube à rayons-X –détecteurs.

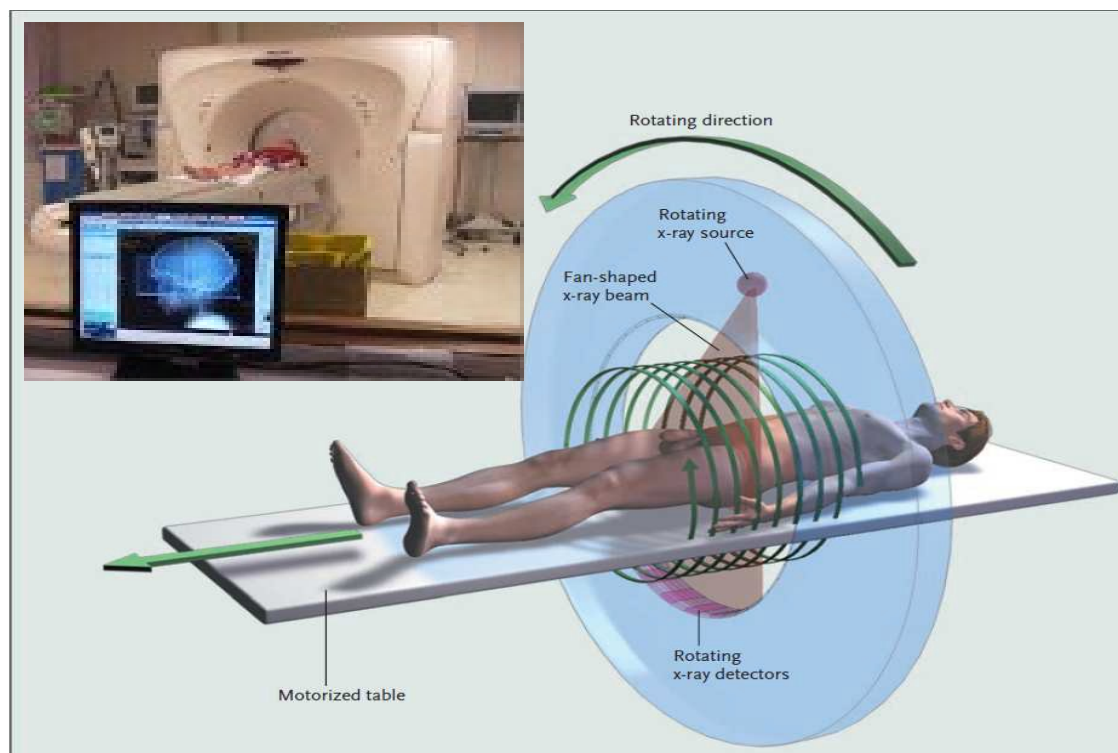
**Figure 1** : Description d'un appareil de scanographie



Les données acquises (photons X mesurés puis transformés par le détecteur en signal électrique) sont finalement retro projetées sur une matrice de reconstruction puis transformées en image analogique. Un produit de contraste (complexe de l'iode ayant la propriété de fortement absorber les rayons-X) peut être injecté pour

permettre une bonne visualisation de certains tissus, en particulier les vaisseaux sanguins.

**Figure 2** : Illustration du faisceau d'irradiation en mode d'acquisition hélicoïdal



Source : N. JOURNY et al, 2014

### 1-2-2 Protocole radiologique et paramètres d'acquisition.

Les services de radiologie ont pour obligation de définir des protocoles radiologiques pour des procédures d'imageries utilisant une source de rayonnements ionisants. Ces protocoles sont définis pour chaque type d'acte en fonction de l'installation. Ceux-ci précisent les paramètres techniques d'acquisition d'images recommandées selon l'âge du patient (ou le poids de l'enfant) et l'indication clinique de réalisation de l'acte. Les principaux paramètres adaptés pour l'opérateur :

- **Tension** (KV) et **charge** (mAs) du générateur de rayons -X ;

Ces deux paramètres indépendants sont les principaux facteurs d'optimisation en fonction de la corpulence du patient. La tension et la charge sont aussi modulées par l'opérateur en fonction du contraste naturel de la région anatomique explorée.

Il permet une réduction de l'exposition lors d'explorations de la région thoraco-abdominale, en particulier pour des patients de faible corpulence dont les enfants.

- **Pitch** ou pas de l'hélice : en mode hélicoïdal, il définit le rapport entre la distance parcourue par la table du patient au cours d'une rotation de 360 degrés du tube à rayons –X.
- **L'indice de dose en scanographie (IDS)**, exprimé en mGy, ou *Computed Tomography dose index (CTDI)*, est la mesure de dose utilisée spécifiquement pour la scanographie. Cette grandeur est définie comme l'intégrale du profil de dose de la coupe, divisée par l'épaisseur de la coupe (mm). En pratique, l'IDS est mesuré avec une chambre d'ionisation (en forme de cylindre) placée dans l'air sur l'axe de rotation du tube, pour caractériser l'installation dans des conditions de référence, ou bien dans un fantôme en plexiglas, pour simuler les conditions d'acquisition pour un patient. Pour rendre compte de la variation de dose dans la coupe (d'un facteur de 1 à 2 selon la position de la mesure), la mesure s'effectue au centre (IDSc) et en périphérie (IDSp) du cylindre de la chambre d'ionisation.

L'**IDS pondéré (IDSP)** (en mGy) est alors une moyenne des IDS mesurés au centre et en périphérie telle que :  $IDSP = 1/3 IDSc + 2/3 IDSp$ . La mesure d'IDSP suppose alors que les coupes sont jointives. L'**IDSP dans le volume (IDSV)** rend compte du fait que celles-ci peuvent se superposer ou, au contraire, être espacées. En mode séquentiel, l'IDSV tient compte de l'espacement des coupes par :  $IDSV = IDSP * \text{largeur de coupe} / \text{espacement des coupes}$ .

En mode hélicoïdal, cette grandeur prend en compte le pitch, tel que :

$$IDSV = IDSP * 1 / \text{Pitch}$$

### 1.2.3 Grandeurs dosimétriques caractérisant un examen

Pour quantifier l'irradiation délivrée au patient au cours d'un examen de scanner, on considérera comme grandeurs dosimétriques pour chaque acquisition :

- L'indice de dose de scanographie volume (IDSV) en mGy
- Le produit (dose x longueur) : PDL en mGy.Cm.

Et pour chaque examen la somme des PDL (en Gy.cm) de chacune des acquisitions.

La gamme des valeurs de l'IDSV et du PDL sont données pour les appareils présents sur le marché depuis 2006.

**Tableau 4** : Caractéristiques de la séquence pour un patient type

Acquisition	Haute tension (KV)	Pitch	Longueur exploré (Cm)	IDSV (mGy)	PDL (mGy.cm)
1	80 à 90	1 à 2	40	1,1 à 5	42 à 200

**Source** : OTIMROEPQ, 2015

Remarque :

- A 100 kv, multiplier l'IDSV et le PDL par 1,9. Recommandations actuelles de la SFIP : CTDI<sub>vol</sub> (fantome 32cm) : 5mGy.

## **CHAPITRE 2 : PROBLEMATIQUE, CONTEXTE, JUSTIFICATION, HYPOTHESE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE**

## **2.1 Problématique, contexte, justification, et objectifs de l'étude au Burkina Faso**

La pratique scanographique a pris de l'ampleur ces dernières années dans les établissements sanitaires au Burkina Faso. Cette technique occupe aujourd'hui une place importante au sein des modalités d'imagerie de par sa capacité à donner des informations diagnostiques très précises telles que la détection d'adénomes polyphasiques ou le dépistage d'anomalies cardiaques cérébrales ou vasculaires....

La scanographie n'est pourtant pas sans danger et son recours accru a occasionné une exposition de plus en plus forte du patient. Cette exposition est beaucoup plus remarquable chez les enfants du fait de leur radiosensibilité plus élevée et leur espérance de vie importante. Ils sont donc plus susceptibles de développer des cancers dans le futur. Les pratiques de radioprotection des enfants sont malheureusement très peu documentées au Burkina Faso en raison de l'absence ou de la mise en œuvre approximative des lois et règlements en la matière.

### **2-1-1 Problématique de l'étude au Burkina Faso**

L'amélioration du niveau d'accès des soins au Burkina de ces dix dernières années fait recourir de plus en plus à la scanographie comme l'un des moyens fiables d'imagerie diagnostique et du suivi médical des patients. Le taux d'examens scanographiques a augmenté de 6%.

Parallèlement aux gains cliniques considérables apportés par cette technologie, des interrogations émergent sur les risques pour la santé des expositions aux rayons-X occasionnées par ces examens radiologiques, et s'accroissent à mesure de la multiplication des actes (Brenner and, Hall 2007).

Cette question se pose tant au niveau individuel qu'en termes de santé publique du fait de l'importance de l'exposition collective dans la population. Les rayons-x sont en effet connus pour augmenter, en particulier, le risque de cancer (IARC, 2000).

Les problèmes spécifiques à la pédiatrie dans les explorations scanographiques, sont une radiosensibilité de certains tissus accrue par rapport à celle des adultes, une espérance de vie longue, susceptible de laisser se développer le risque de cancer

et un manque d'ajustement des conditions techniques de réalisation de l'examen. La caractérisation des risques en pédiatrie constitue donc une question importante de santé publique à laquelle nous nous penchons. De nombreuses études épidémiologiques ont été ou sont actuellement menées pour mettre en évidence un risque de cancer en cas d'exposition médicale diagnostique à faibles doses. Une revue de ces études montre des résultats concordants avec les résultats du suivi de la cohorte des survivants de Hiroshima et de Nagasaki en 1945, avec la mise en évidence d'un excès de risque de cancer à un jeune âge persistant durant toute la vie. Plusieurs études longitudinales, concernant des personnes soumises au cours de l'enfance à de nombreux examens radiologiques dans le cadre d'un suivi de tuberculose ou de scoliose, ont également mentionné un risque de cancer du sein augmenté alors que les études cas-témoins retrouvaient des résultats divergents. Des biais méthodologiques notamment ceux liés au recueil rétrospectif des informations sur l'exposition, rendent difficile l'interprétation de ces résultats.

Le concept des NRD est reconnu au niveau international comme un moyen important d'optimiser la dose reçue par le patient lors d'applications de rayonnements dans le diagnostic médical. Dans le cas des examens courants, les NRD nationaux sont définis de façon empirique et se fondent sur la distribution de grandeurs dosimétriques faciles à mesurer (CTDI et PDL) et ayant un rapport direct avec la dose à laquelle est soumise le patient. Si le NRD est régulièrement dépassé, cette dose élevée doit être justifiée ou réduite par le biais de mesures d'optimisation appropriées.

Le choix de ce Centre Hospitalier se justifie donc par la fréquence des actes d'imageries pédiatriques qui assurent plus des 2/3 des activités d'imagerie de la ville de Ouagadougou peuplée d'environ 3 millions d'habitants (INSD, 2018). La fréquence accrue des examens pédiatriques au scanner dans ce centre s'explique également par la gratuité des soins chez les enfants de moins de 5 ans dans les structures sanitaires publiques mise en place depuis le 1<sup>er</sup> Juin 2016.

Nous avons réalisé une première revue systématique de la littérature sur le niveau de connaissance des principes fondamentaux et des objectifs de la radioprotection en milieu hospitalier au Burkina Faso (Nikièma et *al.* 2015) paru dans *J AfrImag Med* 2017, mais aussi sur les doses moyennes d'irradiation de la population française par scanner.

En ce qui concerne l'évaluation de la connaissance des praticiens sur la radioprotection des patients au Burkina-Faso, une étude descriptive transversale multisites a été réalisée du 1er mars au 31 mai 2015 (Nikièma et *al.* 2015). Cette étude a été menée dans trois structures sanitaires auprès des prescripteurs chez qui un questionnaire comportant plusieurs items en rapport avec les connaissances sur la radioprotection a été administré.

Les résultats montrent que sur 164 soumis à l'enquête, 123 (75%) ont accepté le remplir ; 82,9% prenaient en compte le rapport bénéfice-risque ; 60% informaient le patient sur les risques des rayonnements ionisants ; 26,9% avaient une bonne connaissance sur les objectifs de la radioprotection et 17,9% sur les principes de la radioprotection ; 83,7% étaient informés de l'existence du risque de cancer radio-induit ; 80% reconnaissaient l'exposition médicale comme source d'irradiation et 36,6% considéraient l'IRM comme une technique irradiante.

Cette étude a donc montré une faible connaissance des principes et les objectifs de la radioprotection par les praticiens bien que l'existence du risque de cancer radio-induit lors de la réalisation de certains examens radiologiques n'était pas ignorée. Les praticiens ignoraient les objectifs et les principes de la radioprotection dans respectivement 51,2% et 69,9% des cas. La connaissance de l'existence du risque de cancer radio-induit a été rapportée par la majorité des enquêtés (83,7%). La radiographie conventionnelle était rapportée comme étant la technique d'imagerie la plus irradiante dans 86,9% des cas, suivie de la tomodensitométrie dans 73,2%. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) était considérée comme une technique irradiante dans 36,6% des cas (n=45).

Ce faible niveau de connaissance sur les objectifs et les principes fondamentaux de la protection contre les rayonnements ionisants lors des explorations radiologiques témoignent de l'absence des valeurs dosimétriques de références en matière de radioprotection en Afrique Noire Francophone (Nikiema Z et al., 2017). Cette méconnaissance est d'autant plus remarquable en Tomodensitométrie qui reste jusque-là la technique d'exploration la plus irradiante.

L'évaluation des risques de survenue de cancers et de leucémies corrélée aux doses efficaces se justifie entièrement au vu du manque d'ajustement des conditions techniques de réalisation des examens que nous avons pu faire le constat au cours de notre étude.

### **2-1-2 Les objectifs de l'étude**

L'objectif général de notre étude est d'évaluer les risques de survenue de cancers radio-induits chez les enfants de 0 à 15 ans lors des examens scanographiques de routine réalisés au service d'imagerie du Centre Hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO sur la base des doses efficaces.

Dans ce contexte, trois (03) objectifs spécifiques ont été élaborés pour mieux répondre à l'objectif général de ce rapport à savoir :

**1-Décrire** les doses reçues par des enfants au cours d'examens scanographiques réalisés au Centre Hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO.

**2-Evaluer** la dose efficace aux organes pour chaque examen scanographique

**3-Analyser** la relation entre l'exposition aux rayonnements ionisants des actes scanographiques et la survenue de pathologies tumorales des 82 enfants de 0 à 15 ans. Nous avons complété notre étude d'une synthèse bibliographique principalement européenne.

### **2-1-3- Hypothèse de l'étude**

Responsables de lésions biologiques néfastes, les RI sont utilisés dans plusieurs domaines d'activités (médical, technologique, industriel et militaire). L'exposition à des fins médicales est la principale source artificielle de rayonnements ionisants

(RI) à laquelle la population burkinabè est exposée. En France, elle représente plus de 40% des expositions annuelles.

La prescription médicale en médecine générale et en pédiatrie s'est aujourd'hui banalisée. Son apport diagnostique, sa disponibilité, sa rapidité de réalisation en font un acte indispensable dans la pratique courante.

**Mais quelles sont les doses d'irradiation délivrées par cet examen et leurs conséquences sur les enfants de 0 à 15 ans au Burkina Faso ?**

Cette catégorie de patients faut-il le rappeler ont une radiosensibilité plus forte et une espérance de vie longue.

## **2-2-Revue bibliographique de la littérature**

### **2-2-1- Les valeurs dosimétriques de référence (PDL ref, Epdlref)**

Notre revue systématique de la littérature a été principalement européenne. L'objectif étant de rechercher les facteurs de conversion(Epdl), les PDL, et les doses efficaces les plus représentatifs de l'irradiation de la population en général et les enfants en particulier par le scanner. Les facteurs de conversion sont exprimés en fonction de l'âge et la région anatomique irradiée afin de calculer la dose efficace la plus juste possible.

La recherche d'article a été effectuée sur la base des données par une recherche sur les sites :

- Institut de radioprotection et de sureté nucléaire ([www.irsn.fr](http://www.irsn.fr));
- Société Francophone d'imagerie Pédiatrique et Périnatale ([www.sfip.radiopédiatris.org](http://www.sfip.radiopédiatris.org)) ;
- Société Française de Physique médicale ([www.sfpm.asso.fr](http://www.sfpm.asso.fr));
- Commission Internationale de Protection Radiologique ([www.cipr.org](http://www.cipr.org)).

Nous avons complété les données notamment par quatre articles portant sur les facteurs de conversion pour l'enfant. Nous n'avons retrouvé aucune référence estimant les facteurs de conversion pour les membres.

**Tableau 5** : Facteurs de conversion en fonction de l'âge et de la région anatomique

$E_{PDL\ 16}(mSv \cdot Gy^{-1} \cdot cm^{-1})$					
	crane	Thorax	Abdomen	Pelvis	TAP
<b>1 an</b>	0,0056	0,0172	0,0214	0,0297	0,0175
<b>5 ans</b>	0,0034	0,0135	0,0177	0,0187	0,0132
<b>10 ans</b>	0,0027	0,0088	0,0111	0,0139	0,0099
<b>15 ans</b>	0,0020	0,0059	0,0074	0,0088	0,0066

Source : Lee C et col. Med Phys 2007

### 2-2-2- Détermination des doses efficaces selon l'accessibilité des Produits-Dose-Longueur(PDL)

#### - Estimation à partir des facteurs de conversion (EpdL).

Dans ce cas, les utilisateurs ont à leur disposition le PDL de l'examen inscrit sur la console.

Le logiciel Epi Data 3.1 a été utilisé pour calculer la dose efficace correspondante grâce aux facteurs de conversion (EpdL) permettant de passer du PDL exprimé en mGy.cm à la dose efficace (E) exprimée en mSv selon la formule suivante :

$$E = E_{pdl} \times PDL$$

**EpdL** est exprimé en  $mSv \cdot mGy^{-1} \cdot cm^{-1}$ .

Ces facteurs de conversion tiennent compte de l'âge du patient et de la région irradiée. Cette méthode a été utilisée dans l'estimation des doses efficaces des 82 actes scanographiques étudiés.

#### - Estimation à partir des PDL de référence (DPLref)

La revue systématique de la littérature nous a permis de sélectionner 2 études permettant la détermination des PDL, de référence (PDLref) pour chaque type d'acte scanographique. Ces études étaient multicentriques issues des pays européens. Les données de ces enquêtes dosimétriques étaient issues de calculs réalisés sur fantômes anthropomorphes adaptés à l'âge du patient. La méthode de

Monte Carlo, permettant une estimation des doses d'irradiation, a été majoritairement utilisée. Les études postérieures à 2007 utilisaient les facteurs de pondération tissulaire définis par le rapport 103 de la CIPR. Les études intéressant l'enfant utilisaient tous les protocoles scanographiques adaptés à son âge. Comme décrit dans la partie « Matériel et Méthodes », nous avons reparti les études en fonction de leur mode de pondération et de la classe d'âge étudiée. Pour chaque classe d'âge la moyenne pondérée des résultats de chaque étude a permis d'obtenir un PDL de référence par acte scanographique. Un PDL de référence a été retenu pour les actes les plus fréquents (Les scanners cranio-encéphaliques dans notre étude).

Nous avons également évalué les doses efficaces à l'aide d'une revue bibliographique européenne en sélectionnant 2 études qui nous ont permis de faire une estimation des doses efficaces pour les actes scanographiques dont aucun PDL et Epdl de référence n'avaient été retrouvés.

Deux études (française et canadienne) ont été utilisées.

Ces enquêtes dosimétriques ont toutes été réalisées sur scanner multi coupe avec des protocoles scanographiques spécifiques en fonction de la classe d'âge de l'enfant. Les calculs dosimétriques ont été réalisés sur fantômes anthropomorphes selon l'âge du patient en utilisant la méthode Monte Carlo.

**Tableau 6** : Caractéristiques des études sélectionnées pour la détermination des doses efficaces (E réf) de référence

Année de publication	Auteurs/ Sociétés savantes	Type d'étude	Provenance des données	Méthodes d'estimation dosimétrique
2008	Thomas KE Wang B	Étude canadienne rétrospective monocentrique	143 actes inclus sur 12 semaines/ 5 classes d'âge /5 régions anatomiques/ 10 protocoles/ 1 modèle de scanner multi coupe GE	Calcul ratios dose efficace enfant/adulte/ 5 fantômes anthropomorphes enfants de 16 et 32 cm de diamètres/ Méthode MC/Wt CIPR 103 utilisés
2010	Etard C/ sinno-Tellier/ IRSN/ INVS	Revue de la littérature internationale	Principale source : guide des procédures/ études multicentriques française, européennes	Détermination des doses efficaces moyennes/calcul sur adulte standard (70 Kg) sur acte complet/Wt CIPR 103 utilisés

Source : M. Delchambre, 2012

Dans ce cas, le praticien n'a pas accès au PDL de l'examen lors de la consultation.

Il s'agit :

- des examens réalisés au cours d'hospitalisation pour lesquels le compte-rendu radiologique n'est pas disponible.
- des examens intéressant les membres supérieurs ou inférieurs pour lesquels le PDL n'est généralement pas inscrit sur le compte-rendu en raison de la radiosensibilité moindre de ces régions.

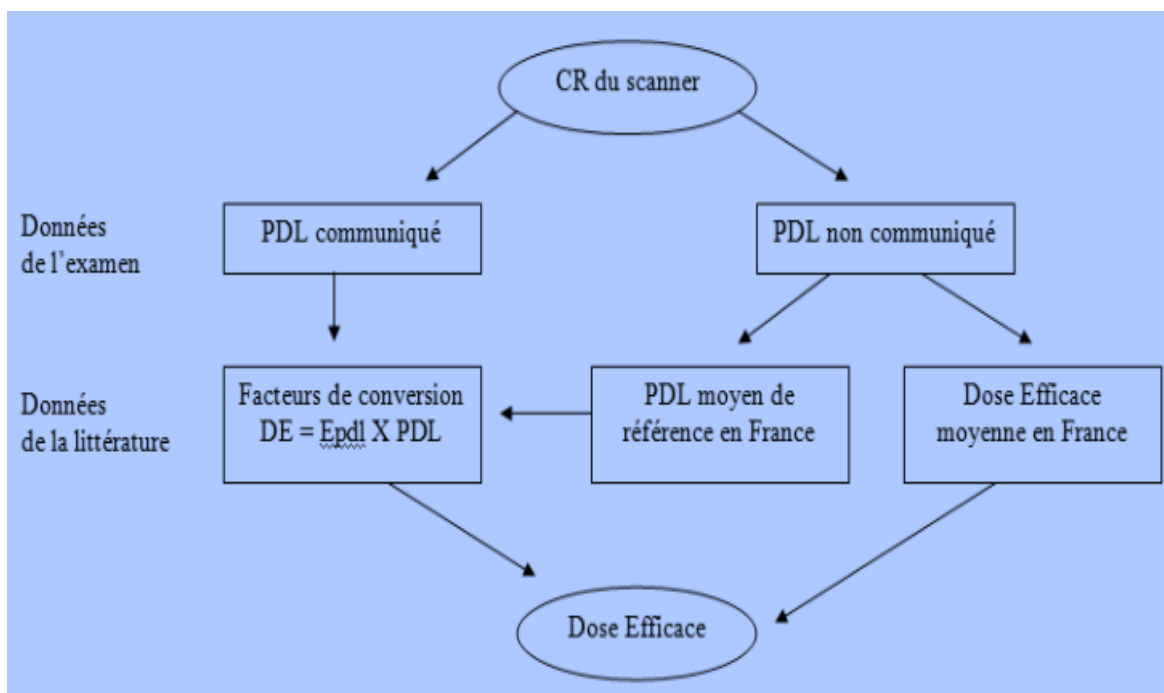
On estimera alors la dose efficace à partir d'un PDL de référence (PDLref) moyen correspondant à chaque type d'acte. Nous utiliserons la formule de calcul suivante :

$$E = \text{PDLref} \times E_{\text{pdl}}$$

Cette estimation est beaucoup moins précise que le calcul de la dose efficace directement à partir du PDL de l'examen. En effet, de nombreux paramètres scanographiques caractéristiques à l'acte peuvent influencer le PDL : nombre de

passages, tension, charge, épaisseur de coupe, longueur irradiée, type de scanner utilisé. Ces paramètres sont opérateur et matériel dépendants. Les PDL de référence que nous proposerons seront basés sur des protocoles scanographiques prédéfinis pour l'enfant retrouvés dans la littérature. Il s'agit ici de **l'estimation la moins précise**. Le schéma ci-dessous (figure 3) illustre les trois niveaux de précision retrouvé dans la littérature afin d'obtenir la dose efficace correspondante à chaque examen scanographique.

**Figure 3** : Les trois méthodes de détermination des doses efficaces



Source : M. Delchambre ,2012

### - Les Niveaux de Référence Diagnostique (NRD)

Le concept de niveau de référence diagnostique (NRD) introduit dans la CIPR 73 (Commission internationale de protection radiologique) est spécifique aux expositions médicales. Dans ce domaine, l'un des trois principes de la radioprotection, la limitation réglementaire des doses, ne peut s'appliquer comme pour « les limites de dose » ni des « doses optimales », ce sont des outils pour

l'optimisation. Les NRD sont des indicateurs dosimétriques de la qualité des pratiques destinées à identifier des situations nécessitant une action corrective.

**Tableau 7** : Les NRD par acquisition scanographique complète en vigueur.

<b>Acte scanographique</b>	<b>NRD de référence</b>	<b>Nb moyen d'acquisition/acte</b>
<b>Cérébral sans PDC</b>	1050	1,03
<b>Cérébral avec PDC</b>	1050	1,5
<b>Thoracique sans PDC</b>	475	1,03
<b>Thoracique avec PDC</b>	475	1,06
<b>Abdomen et Pelvis sans PDC</b>	800	1,14
<b>Abdomen et Pelvis avec PDC</b>	800	1,8
<b>Segment de la CV sans PDC</b>	700	1
<b>Thoraco-abdomino- Pelvien avec PDC</b>	1000	1,3

Source : M. Delchambre, 2012

### **2-2-3-Prédiction des cancers : Résultats épidémiologiques récents**

#### **La démarche méthodologique**

La démarche d'Evaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) permet ici de réaliser une synthèse quantitative de l'état des connaissances actuelles sur les risques potentiels de cancer induits par une exposition aux rayons-X lors d'examens de scanographie pendant l'enfance. L'objectif principal est de prédire des risques individuels cumulés vie entière en fonction du type d'examen réalisé, à partir des données d'exposition de la cohorte « Enfant Scanner » (Journy *et al.* 2014).

En imagerie médicale, l'exposition localisée à certaines régions anatomiques nécessite de considérer les différentes doses aux organes reçues par les patients et donc de s'intéresser au risque de cancers spécifiques. Des prédictions de risque tous cancers, à partir de doses efficaces (équivalant à une irradiation totale,

n'apparaissent pas appropriées à la spécificité de l'exposition radiologique. Les sites tumoraux d'intérêt ici sont ceux pour lesquels des études épidémiologiques ont clairement mis en évidence un risque radio-induit, correspondant à des organes fréquemment exposés en radiologie pédiatrique et représentant des taux d'incidence importants au sein de la population. Les analyses portent donc sur les risques de tumeur du SNC (y compris tumeurs bénignes ou in situ), de cancer de la thyroïde, du sein (chez la femme exclusivement) et de leucémies. Les risques potentiellement induits par des examens de scanographie sont prédits sur la base de modèles dose-réponse (spécifiques à un site de cancer) estimés à partir d'études épidémiologiques portant sur des expositions médicales à de fortes doses et/ou à partir de la "Life Span Study" (LSS). Les coefficients de risque par unité de dose issus de ces modèles sont appliqués aux données d'exposition de la population cible des enfants recevant des scanners dans des services de radiologie en France.

Les expositions sont caractérisées à partir d'un échantillon de données issu de la cohorte « Enfant Scanner », portant sur des examens réalisés avant 10 ans entre 2004 et 2009 dans 15 CHU. Des risques « spontanés » sont calculés à partir des taux de mortalité et d'incidence de la population générale française pour la période 2000–2005 (Belot *et al.* 2008). Enfin, les incertitudes autour des prédictions de risque réalisées sont quantifiées, par une méthode de propagation des incertitudes, afin de rendre compte à la fois de la variabilité des pratiques dans les services de radiologie et des hypothèses sous-jacentes à l'extrapolation de risque.

La première étude, publiée en 2012 par une équipe britannique (Pearce *et al.* 2012b), était réalisée à partir d'une cohorte de près de 180 000 individus ayant reçu au moins un examen par scanographie avant l'âge de 22 ans entre 1985 et 2002, suivis pendant 7 à 10 ans en moyenne. Cette étude analysait la relation dose-réponse entre le risque de tumeurs cérébrales ou de leucémie et la dose cumulée reçue à l'organe lors des examens. Elle montrait un risque de tumeur cérébrale multiplié par 3 pour une dose moyenne au cerveau de 60 mGy équivalant à 2 ou 3

examens de la tête avant 15 ans par rapport à des individus recevant moins de 5 mGy.

De même, le risque de leucémie était multiplié par 3 pour une dose moyenne à la moelle osseuse de 50 mGy – équivalant à 5 à 10 examens de la tête avant 15 ans – comparativement à des patients exposés ayant reçu moins de 5 mGy à la moelle osseuse. Les résultats suggéraient une relation dose-réponse linéaire pour les deux sites de cancer.

La deuxième étude, publiée en 2013 par une équipe australienne (Matthews et *al.* 2013), comparait l'incidence de cancer parmi 680 000 individus – assurés du régime Medicare – recevant au moins un acte de scanographie avant l'âge de 20 ans entre 1985 et 2005, à celle observée parmi 11 million d'assurés n'ayant reçu aucun acte de scanographie. Le suivi des individus exposés était de 9,5 ans en moyenne. L'étude concluait à une augmentation de 24% de l'incidence de tous cancers parmi les individus ayant reçu au moins un acte de scanographie par rapport aux individus n'ayant reçu aucun examen au cours de la période d'étude. Des excès de risque étaient observés pour de nombreux sites tumoraux (cerveau, système digestif, mélanome, tissus mous, organes génitaux féminins, voies urinaires, thyroïde, leucémies, myélodysplasies, lymphomes). Une relation dose-réponse (tous cancers) était observée en fonction du nombre d'examens reçus.

La troisième étude, réalisée à Taiwan et publiée en 2014 (Huang et *al.* 2014), comparait le risque de cancer parmi plus de 24 000 individus ayant reçu, avant l'âge de 18 ans, des actes de scanographies pour une exploration de la tête, entre 1996 et 2006, à celui de près de 98 000 individus affiliés au même régime d'assurance maladie n'ayant pas reçu ce type d'examen pendant la période d'étude. Les individus qui présentaient un diagnostic de (certains) syndromes de prédisposition au cancer étaient exclus de l'étude. Le suivi maximal était de 8 ans. L'incidence tous cancers, de tumeurs malignes du SNC et de leucémies ne différait pas entre les deux populations mais les auteurs concluaient à un risque de tumeurs cérébrales bénignes près de 3 fois supérieur parmi les individus ayant reçu un examen de la

tête par rapport aux individus non exposés. L'ensemble de ces résultats suggère donc des risques relatifs de cancer radio-induits, en particulier de tumeurs cérébrales et de leucémies, relativement importants, bien que le risque absolu demeure faible parmi des individus jeunes. Un cas de leucémie et un cas de tumeur cérébrale pour 10 000 enfants ayant reçu un examen de la tête avant l'âge de 10 ans surviendraient dans les 10 ans après le premier examen par scanographie (Pearce *et al.* 2012b). Ces estimations sont limitées par des durées de suivi d'environ 10 ans alors les risques radio-induits, notamment de tumeurs solides, s'expriment sur plusieurs décennies après l'exposition. Dans ces trois études, la caractérisation des expositions était limitée par l'absence de données dosimétriques ou la prise en compte de valeurs de dose « typiques » estimées à partir d'enquêtes antérieures sur les pratiques radiologiques. Ces études ne considéraient donc pas la variabilité des doses individuelles délivrées en scanographie ; celles-ci peuvent néanmoins être importantes entre les services de radiologie et selon l'indication de l'examen (Bernier *et al.* 2012b).

**Tableau 8** : Dose efficaces comparées au risque radiologique

Examen	DAP (mGy)	Dose efficace E (mSv)	Risque
Poumon (2 inc)	0,4	0,05	
Abdomen (3 inc)	10,0	0,70	14 ↑
Transit digestif supérieur	16,0	1,70	34 ↑
Lavement baryté DC	78,0	10,7	214 ↑
Mammographie (DGM)	8,0	0,96	19,2 ↑
TDM Cérébral	1115,0	2,45	49 ↑
TDM Thorax	615,0	10,5	210 ↑
TDM Abdomen-pelvis	830	14,1	282 ↑
TDM Coloscopie virtuelle	610	10,4	208 ↑
<b>POUMONS → DOSE EFFICACE (E) = WT X (DTR XWR= 0,12 X 0,4=0,05 mSv</b>			

Source : OTIMROEPQ, 2015

## 2-2-4-Etat des connaissances des effets biologiques des rayonnements ionisants

### ➤ Lésions moléculaires

Deux étapes caractérisent les lésions par les RI :

#### 1) Etape physique

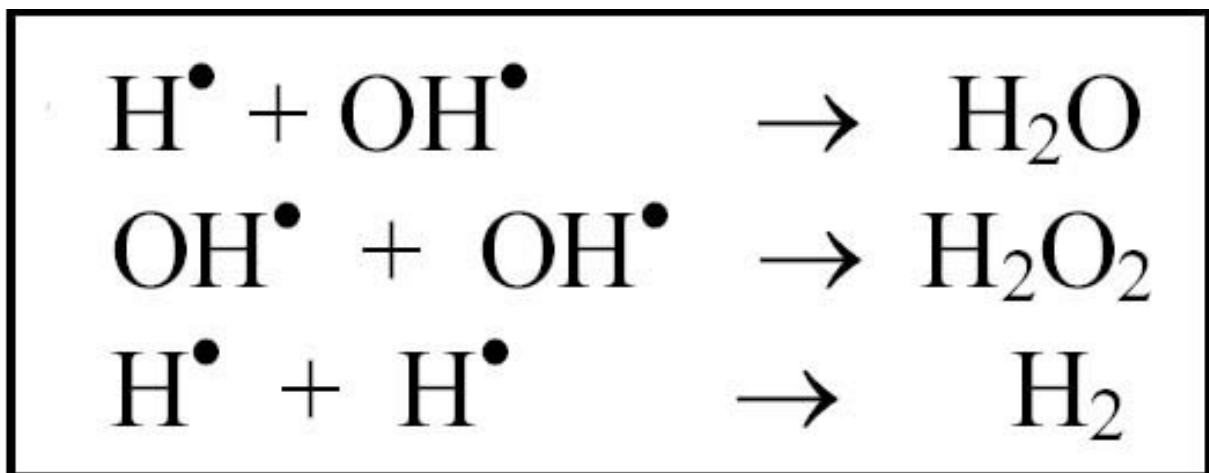
- **Excitation**: transfert d'énergie à un atome provoquant le passage d'un électron d'un orbite donné à un orbite plus externe d'énergie supérieure (électron moins lié)
- **Ionisation**: transfert d'énergie provoquant l'expulsion d'un électron, avec la création d'un vide dans le cortège électronique de l'atome.

#### 2) Etape chimique :

- **Action directe** : transfert d'énergie directement sur les macromolécules (15-20%). Ce transfert est localisé sur les régions très sensibles de la molécule entraînant une rupture des liaisons covalentes.

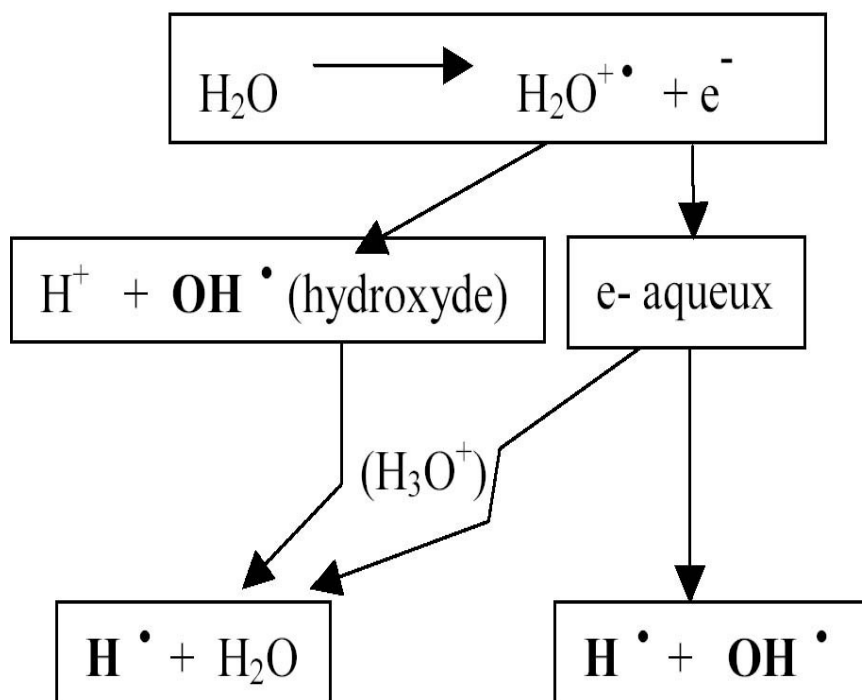
- **Action indirecte** : formation de radicaux libres par radiolyse des molécules d'eau (mécanisme prépondérant). Il en résulte la création d'Espèces Réactives de l'Oxygène (ERO) telles que  $\text{OH}\bullet$  qui sont à l'origine du stress oxydant susceptibles de créer des lésions moléculaires.

**Figure 4** : Equation de la radiolyse de l'eau



Source : [www.elsevier-masson.fr](http://www.elsevier-masson.fr)

**Figure 5** : Schéma de la radiolyse de l'eau



Source : : [www.elsevier-masson.fr](http://www.elsevier-masson.fr)

### ➤ Lésions cellulaires

Trois types de lésions peuvent avoir lieu au niveau cellulaire :

#### -Lésions cytoplasmiques

Lésions des protéines, destabilisation de l'architecture cellulaire et lésions des mitochondries.

#### -Lésions membranaires

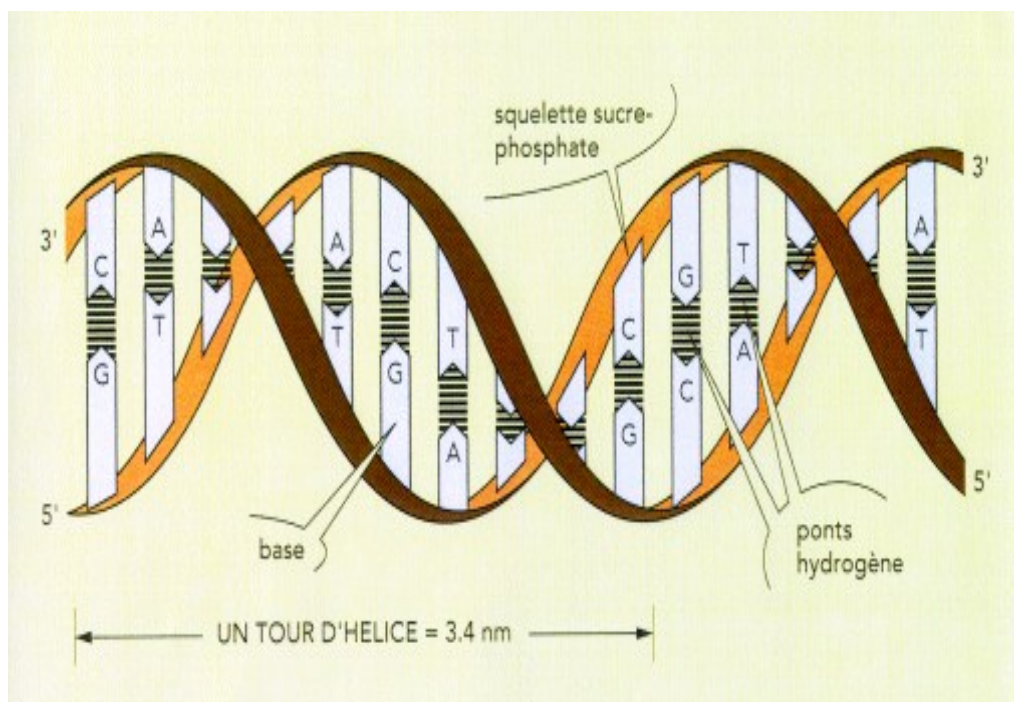
A doses élevées, les rayonnements ionisants provoquent une altération des structures membranaires et pontages lipides-protéines;

Conséquences liées à la dégradation des récepteurs de membrane et les canaux ioniques régulant les flux ioniques transmembranaires.

#### - Lésions nucléaires ( à l' ADN)

- Cible volumineuse et fragile
- Par rapport aux membranes, il suffit d'une dose 1000 fois inférieure pour provoquer la mort cellulaire

**Figure 6** : ADN : Cible critique des rayonnements ionisants



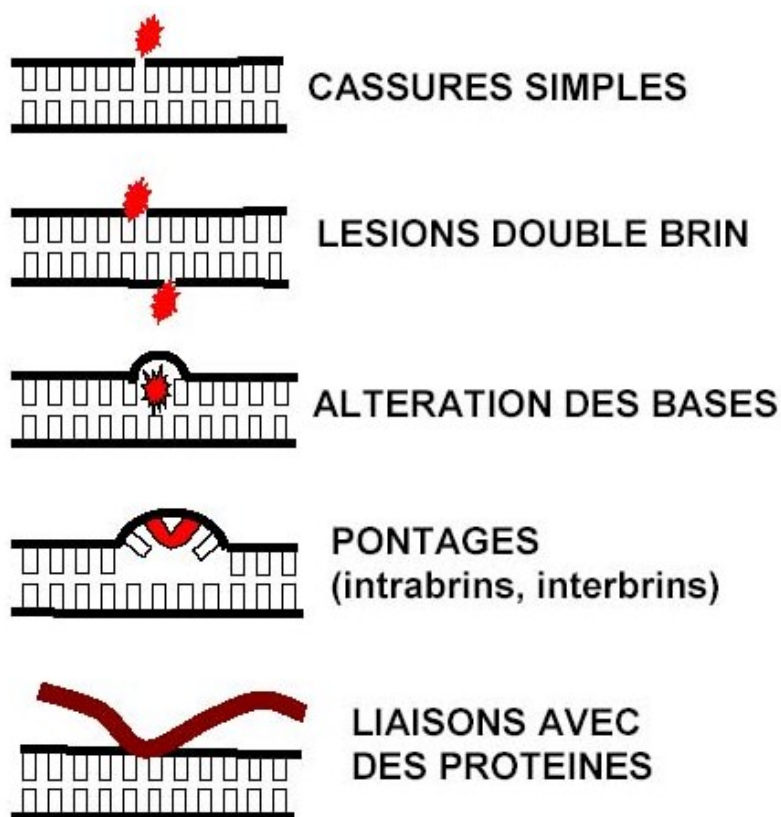
**Source** : N.Gillard, 2005. Effet des rayonnements ionisant sur l'homme.

**Les lésions de l'ADN :**

- Cassures simple-brin : fréquentes, réparation facile;
- Cassures double-brin\_ : plus rares, de réparation difficile
- Altération des bases (bases pyrimidiques ++);
- Pontages intra-ADN (ex: dimères de thymidine);
- Liaison avec des protéines.

Ces lésions ne sont pas spécifiques aux rayonnements ionisants

**Figure 7** : Les lésions de l'ADN



Source : [www.bing.com/search](http://www.bing.com/search)

➤ **Effets sur les tissus humains**

- *Les effets déterministes*

Ce sont les effets les mieux connus. Ils apparaissent comme nous l'avons vu au-delà d'une dose seuil, relativement élevée, et leur gravité est fonction de la dose et du débit de dose. La réglementation fixe en fait des limites d'exposition très inférieures à leur dose-seuil d'apparition.

**Figure 8** : Effets déterministes précoces.

Exemple d'effet déterministe

Patient de 40 ans ayant subi en 1990 plusieurs procédures de coronographie et d'angioplastie

Dose à la peau : probablement plus de 20 Gy (E ~ 1000 mSv)

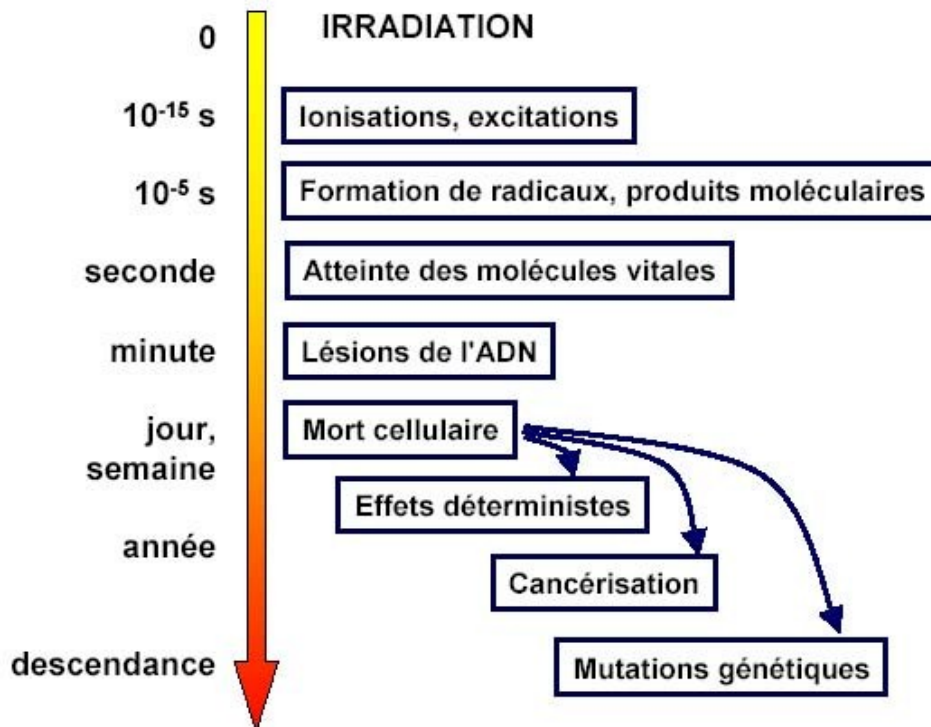


Source : OTIMROEPQ,2015

- *Les effets aléatoires*

Risques supposés plus importants liés à la radiosensibilité accrue des enfants et la longue espérance de vie (Pearce 2012, Matthews 2013)

**Figure 9** : Chronologie des événements suivant une irradiation



Source : GAULT Nathalie, 2010

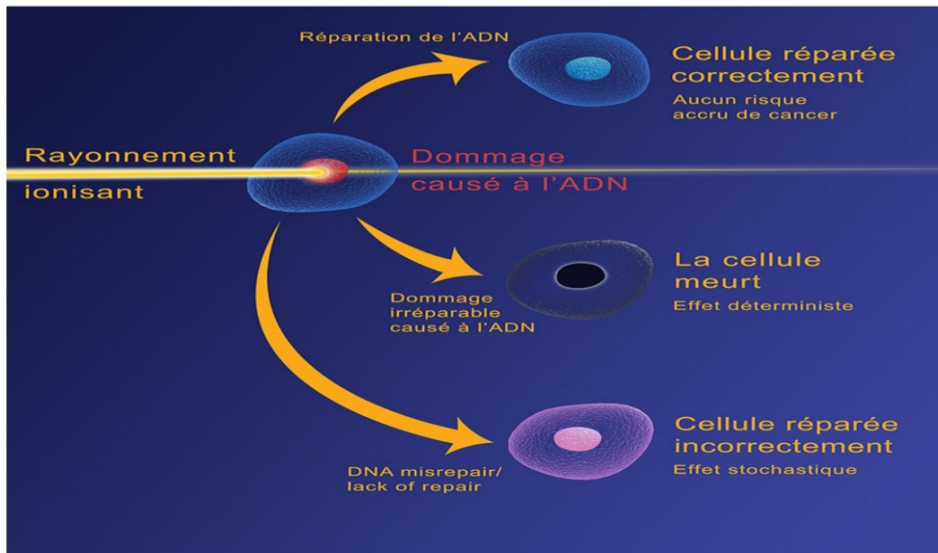
### 2-2-5- Mécanismes de réparation des lésions de l'ADN

La réparation des CDB est essentielle pour le maintien de l'intégrité génomique. Si cette réparation n'est pas efficace ou mal régulée, elle peut donc conduire à la mort cellulaire ou à des remaniements génétiques profonds favorisant le développement de cancers. Certains cancers ou maladies prédisposant aux cancers présentent soit une dérégulation soit un défaut des mécanismes de réparation des cassures double brin.

Après une irradiation ionisante, les lésions sont plus souvent complexes.

La signalisation et la détection des divers types de lésions causés par les rayonnements ionisants mettent en route des systèmes de réparations mono enzymatiques (comme la réversion directe du dommage) ou multienzymatiques (comme la réparation des mésappariements de bases, l'excision de bases et de nucléotides, la recombinaison homologe et non homologue).

**Figure 10** : Comportement de la cellule lorsque le RI cause des dommages à l'ADN



Source : [www.nuclearsafety.gc.ca](http://www.nuclearsafety.gc.ca)

Par ailleurs, une densité locale élevée des lésions radio-induites peut empêcher une action coordonnée des différents systèmes. Ainsi, à la forte dose, l'efficacité de la réparation est réduite ce qui peut donner lieu à des réarrangements fautifs ou létaux. L'excision de bases (BER) est un système fidèle important pour

la réparation des dommages de bases et des CSB causés par le stress oxydatif provenant du métabolisme interne ou d'agents externes tels que les rayonnements ionisants. Chez l'homme, une dizaine de glycosylases sont impliquées dans la reconnaissance des bases endommagées. Probablement à cause de la formation d'un certain nombre de CSB et de modifications de bases pendant la vie normale de la cellule, le système BR, déjà en activité, est capable, après irradiation, de réparer en quelques minutes la plupart de ces lésions dans l'ADN nucléaire et mitochondrial. La réparation des CSB implique souvent la poly (ADP) ribosyl polymérase (PARP) qui effectue l'ADPribosylation et ouvre la chromatine en utilisant les réserves énergétiques de la cellule. La PARP régule l'activité de plusieurs enzymes impliquées dans la réponse aux radiations et contrôle une voie vers l'apoptose ou la nécrose.

L'efficacité biologique du rayonnement du (BER) varie selon le type de cellules. La réparation des lésions oxydatives dans les mitochondries diminue avec l'âge, vraisemblablement à cause d'une importation plus limitée de certaines protéines.

L'excision de nucléotides (NER) concerne toutes les lésions provoquant une distorsion de l'ADN, tels les adduits et les pontages. Il en existe deux formes. Celle dite globale concerne toute le génome (y compris les régions inactives et les brins d'ADN non transcrits des gènes actifs). L'autre forme de NER est couplée à la transcription et répare prioritairement les lésions de l'ADN qui, dans les régions activement transcrites du génome, bloquent la synthèse de l'ARN par l'ARN polymérase. L'élimination par NER des lésions radio-induites peut nécessiter plusieurs heures, bien que l'incision des lésions s'effectue en 2 minutes. Ce système, qui est fidèle, opère seulement sur l'ADN nucléaire. L'absence de certaines enzymes intervenant dans ce mécanisme de réparation prédispose au cancer.

Les CDB spontanées ou radio-induites sont létales si elles ne sont pas réparées. Plusieurs mécanismes de réparation peuvent intervenir. La recombinaison

homologue, qui est un mécanisme fidèle, est basée sur un échange de séquences entre l'ADN endommagé et un ADN homologue intact (autre chromatide ou un autre chromosome de la paire selon la phase du cycle). Chez la levure, elle est utilisée en préférence. Dans les cellules de mammifères, où elle a lieu dans la phase S tardive ou en phase G<sub>2</sub> du cycle cellulaire, elle est moins utilisée, probablement parce que la présence de nombreuses séquences répétitives peut favoriser des échanges de brins erronés entre séquences homologues sur des chromosomes hétérologues (recombinaison homologue ou ectopique) et produire ainsi des aberrations chromosomiques (sous forme de translocation réciproques) qui peuvent constituer une étape vers la cancérogène.

Contrairement aux levures, les cellules de mammifères utilisent principalement pour la réparation des CDB la réligation non homologue (NHEJ), notamment dans la phase G<sub>0</sub>/G<sub>1</sub> du cycle cellulaire. Ce mécanisme implique un façonnage par digestion enzymatique des terminaisons des fragments double-brin et leur réligation, ce qui explique qu'il soit peu fidèle.

Apparemment, c'est la compétition entre les protéines de reconnaissance des CDB RAD52 (appartenant au mécanisme de recombinaison homologue) et hétérodimère protéique KU70/80 (appartenant au mécanisme NHEJ) dont l'objet est la protection des extrémités des fragments double-brin, qui détermine le déclenchement de l'un ou de l'autre de ces deux mécanismes en fonction de la phase du cycle et sans doute d'autres considérations, notamment l'urgence, ou non, des réparations (NHEJ étant plus rapide que la recombinaison homologue). NHEJ est également impliqué dans le processus de recombinaison physiologique V(D)J, qui assure la diversité des immunoglobulines et participe au maintien des hypersensibilités aux radiations ionisantes.

Ainsi, les systèmes de réparation intervenant dans la réparation des lésions-induites se distinguent d'une part par leur spécificité par rapport aux différents types ou groupes de lésions, d'autre part, par leur rapidité d'intervention. Les systèmes d'excision de bases (BER) ou de nucléotides (NER) et la recombinaison

homologue reconstituent fidèlement les séquences d'ADN d'origine, par contre, le système de réligation non homologue (NHEJ) peut occasionner des erreurs de séquence.

Un défaut héréditaire ou acquis des mécanismes de réparation ou le polymorphisme de certains gènes impliqués dans la réparation des radiolésions prédispose au cancer et, éventuellement, à une accélération du vieillissement.

Certains systèmes de réparation opèrent uniquement sur les dommages de l'ADN nucléaire ou ceux de l'ADN mitochondrial, d'autres agissent sur les deux. Certains systèmes réparent en priorité les parties du génome (2 à 4 %) activement transcrites, évitent ainsi l'interruption de l'activité cellulaire dépendant de ces gènes. L'analyse des cinétiques de réparation de l'ADN fait apparaître la notion d'une hiérarchie. La durée de la réparation varie selon le degré de complexité des lésions et les systèmes de réparation mis en œuvre.

Les dommages de l'ADN sont réparés dans un ordre qui dépend des conditions d'exposition aux radiations (ou aux autres agents génotoxiques) (Friedberg *et al.* 2006). Les différents types de lésions font appel à des systèmes de réparation spécifiques, mais ceux-ci sont coordonnés en fonction de la nature des lésions de leur distribution dans le temps. Une densité locale élevée de lésions peut empêcher une activité coordonnée des différents systèmes. De plus, plusieurs protéines de systèmes de réparation sont inductibles soit par l'activation des cascades de signalisation, soit par les dommages de l'ADN.

### **2-2-6-Notion de dose collective (personne x Sv)**

Il peut être utile d'avoir une mesure de la dose totale d'irradiation pour un groupe de personne ou pour une population entière. La grandeur utilisée pour exprimer cette valeur est la **dose collective**. L'unité de dose collective est le personne X sievert (personne X Sv) ou l'homme X sievert selon la CIPR 103. La dose collective correspond à la somme des doses efficaces reçues et attribuées à chaque personne appartenant à un groupe de personnes exposées.

Par exemple dans un groupe de 100 travailleurs, 20 reçoivent chacun une dose correspondant à une dose efficace (E) de 1 mSv, 30 reçoivent une dose correspondant à une dose efficace (E) de 2 mSv et 50 reçoivent une dose correspondant à une dose efficace (E) de 3 mSv, alors la dose collective du groupe est donnée par l'équation suivante :

Dose collective =  $(20 \times 0,001 \text{ Sv}) + (30 \times 0,002 \text{ Sv}) + (50 \times 0,003 \text{ Sv}) = 0,230 \text{ personne} \cdot \text{Sv}$ . (Cours de l'ordre des Technologues en imagerie médicale, radio-oncologie et électrophysiologie médicale du Québec, 2015).

**Tableau 9** : Caractéristiques des études sélectionnées pour la détermination des produits- dose- longueur (PDL) de référence à partir des doses efficaces de référence

Année de publication	Auteurs/ sociétés savantes	Type d'étude	Provenance des données	Méthode de calcul dosimétrique
2009	Brisse HJ, Aubert B / SFIPP+ IRSN	Etude multicentrique prospective européenne pédiatrique	20 sites hospitaliers correspondants SFIPP inclus /3 classes d'âge 3 régions anatomiques / 8 protocoles pédiatriques / 4 modèles de scanners multi coupes	<b>Référence pour la détermination des NRD pédiatrique français</b> / Calcul à partir de fantômes anthropomorphes de 16 cm et 32 cm de diamètre
2012	Bernier M-O, Rehel J-L/ IRSN	Etude multicentrique française pédiatrique	Cohorte de 27362 enfants de 21 mois en moyenne /14 services de radiologie inclus dont 11 services de radio pédiatrie/ 22 scanners différents.	Calcul de dose absorbée par organe à partir de fantômes anthropomorphes standards/méthode MC/logiciel CT- Expo

Source : M. Delchambre, 2012

### 2-2-7- Incertitude et polémique sur le risque cancérigène des faibles doses

Deux positions contrastées s'affrontent :

- une première position est soutenue par la CIPR. Elle s'appuie sur les données de l'UNSCEAR (Comité Scientifique des Nations Unies pour l'étude des radiations atomiques) (UNSCEAR 2010) et de l'étude épidémiologique « life span study » (Pretson *et al.* 2007). Cette étude a recensé tous les cas de cancer sur la population des survivants d'Hiroshima et Nagasaki (effectif de 86500 personnes depuis 1950). Il a été mis en évidence une relation indiscutable entre l'exposition et la survenue de cancers avec une relation sensiblement linéaire entre la dose reçue et la probabilité d'apparition de ceux-ci, mais uniquement pour des doses élevées : il n'y a pas eu d'augmentation du taux de cancers chez des personnes ayant reçu des doses inférieures à 100 mSv. Pour avoir la certitude de ne pas sous-estimer le risque, cette relation linéaire a été extrapolée aux faibles doses.

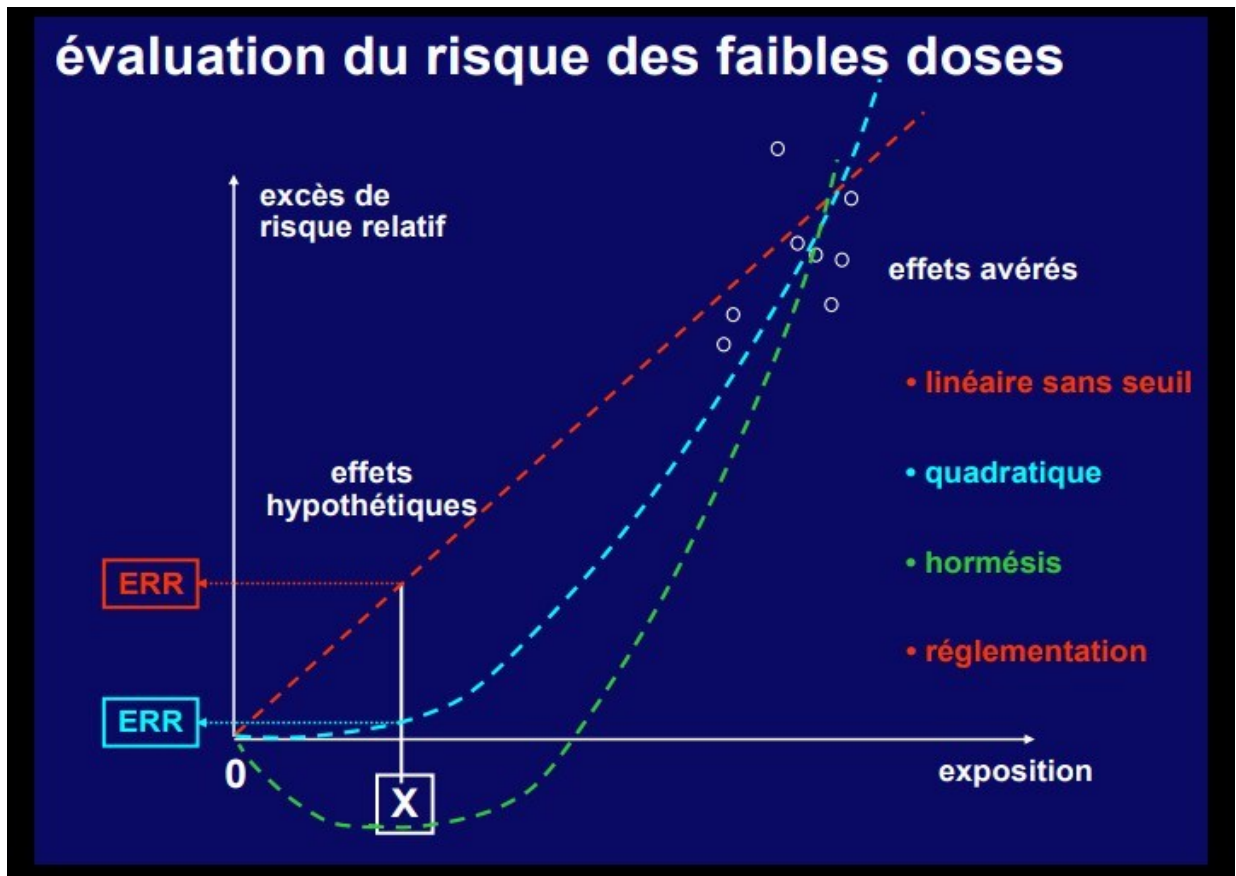
On obtient ainsi **un modèle de relation linéaire sans seuil** : **Le risque d'apparition de cancer radio-induit augmente proportionnellement à la dose reçue et ce, quel que soit le niveau de la dose reçue.**

Une deuxième position, soutenue par la plupart des experts médicaux ainsi que par l'académie française de médecine conteste ce modèle. Ils estiment qu'il ne tient pas compte de la réalité biologique **des mécanismes de défense** cellulaires, tissulaires et de l'organisme entier, lesquels sont différents contre de faibles ou de fortes doses de RI. Contre de faibles doses, le mécanisme prépondérant est l'élimination des cellules altérées (le faible nombre n'induit pas de dysfonction d'organe) et potentiellement dangereuses ce qui laisse peu de place au phénomène d'initiation de la cancérogénèse. Contre de fortes doses, la réparation des cellules altérées est impérative pour préserver les fonctions tissulaires : elle peut conduire à des erreurs de réparation de l'ADN (mutations radio-induites) et à la cancérisation. Les tenants de cette hypothèse désapprouvent donc les estimations quantitatives des risques en-dessous de quelques dizaines de milli sievert. Pour eux, ces chiffres n'ont pas de base scientifique et pourrait inquiéter inutilement les populations.

On obtient ainsi le modèle de la relation linéaire avec seuil : **Le risque d'apparition de cancer radio-induit augmente proportionnellement à la dose reçue au-dessus d'une certaine dose seuil :**

**En outre, certains chercheurs, soutiennent une troisième position** (Meyniel G *et al.* 1998). Ils supposent un effet inverse des faibles doses : elles stimuleraient ou prépareraient l'organisme aux interventions de réparation cellulaire. Les faibles doses d'irradiation auraient alors un effet biologique bénéfique, c'est **la réponse adaptative ou hormésis.**

**Figure 11:** linéaire sans seuil, modèle de relation linéaire à seuil et modèle d'hormèse



Source: P. Duport *.Int J Low Rad.* 2003

Selon l'Association Américaine des Physiciens Médicaux (AAPM 2008), l'estimation des doses efficaces n'est valable qu'à des fins de protection radiologique et ne doit pas être utilisé pour « l'estimation détaillée du risque d'une

personne en particulier ». La dose efficace est le reflet de la dose reçue par le patient de façon uniforme. Or, si l'on veut estimer précisément le risque encouru par un individu, la dose absorbée par les tissus irradiés est la grandeur la plus appropriée. Elle permet d'avoir une estimation plus précise des risques en tenant compte des doses spécifiques reçues par chaque organe.

La dose efficace permet donc de n'avoir qu'une estimation du risque assez « grossière ».

## **CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES**

### **3-1 Matériel**

#### **3-1-1- Historique, passé médical et antécédents familiaux des enfants reçus en scanographie**

##### **-Recrutement de l'échantillon d'étude.**

Notre échantillon est constitué des enfants des deux (02) sexes âgés de 0 à 15 exclus et admis au service de scanographie entre le 15 Juin et le 15 septembre 2019.

##### **Critères d'inclusion.**

Les critères d'inclusion furent les suivants :

- Le sexe féminin ou masculin
- tout patient ayant moins de quinze 15 ans à la date d'études
- Tout examen scanographique (avec ou sans injection de produit de contraste) intéressant la tête, le thorax, l'abdomen ou le pelvis.

##### **Critères d'exclusion**

Les critères d'exclusion étaient les examens portant sur les membres et les patients de quinze 15 ans et plus.

La moyenne d'âge de l'échantillon étudié était de 04,25 ans.

Les motifs de consultation, l'historique médical et les indications radio-cliniques de ces enfants sont consignés dans le tableau suivant :

**Tableau 10:** Classement des 82 actes scanographiques et leurs indications cliniques

Code patient	Age	Sexe	Régions Anatomiques Explorées (avec ou sans injection)	Indications cliniques/ passé médical
CH-01	7 J	M	Tête	Hydrocéphalie
CH-02	2 mois	M	Tête	Bilan d'une masse tumorale
CH-03	27 mois	M	Tête	Céphalées chroniques
CH-04	4 ans	F	Thoraco-abdominal	Embolie pulmonaire
CH-05	13 ans	M	Tête	Bilan d'une masse kystique
CH-06	7 mois	M	Tête	Hydrocéphalie
CH-07	5 mois	F	Tête	Bilan d'exophtalmie unilatérale
CH-08	15 mois	F	Tête	Traumatisme crânien
CH-09	13 ans	F	Abdomen	Masse abominable
CH-10	3 ans	M	Tête	Tuméfaction occipital
CH-11	1 mois	M	Tête	Malformation faciale
CH-12	3 ans	M	Tête	Bilan d'une masse kystique
CH-13	4 mois	M	Tête	Tuméfaction congénitale
CH-14	1 J	F	Tête	Aplasie progressive
CH-15	17 mois	F	Abdomen	Abdomen

CH-16	5 ans	F	Tête	Céphalées Chroniques
CH-17	4 ans	M	Tête	Traumatisme crânien
CH-18	10 ans	F	Abdomen	Occlusion intestinale
CH-19	2 ans	F	Tête	Traumatisme avec PCI
CH-20	3 ans	F	Tête	Bilan d'une malformation
CH-21	9 mois	M	Tête	Bilan d'extension tumoral
CH-22	1 mois	F	Tête	Hydrocéphalies
CH-23	2 mois	M	Tête	Tuméfaction congénital
CH-24	14 J	F	Tête	Tuméfaction congénital
CH-25	18 mois	M	Tête	Bilan d'une masse frontale
CH-26	5 ans	M	Abdomen	Occlusion intestinal
CH-27	13 ans	F	Tête	Sinusites
CH-28	6 J	F	Tête	Malformation congénitale
CH-29	1 an	F	Tête	Exophtalmie modérés
CH-30	3 ans	M	Tête	Déficit mordeur
CH-31	12 ans	M	Tête	Traumatisme crânien
CH-32	3 ans	F	Tête	Aplasie médiclaire
CH-33	4 ans	F	Tête	Bilan d'une masse modulaire
CH-34	14 ans	M	Tête	Déficit moteur
CH-35	5 ans	M	Tête	Traumatisme Traumatisme
CH-36	5 ans	M	Tête	Bilan d'extension tumorale

CH-37	5 ans	F	Abdomen	Bilan d'une masse abdominale
CH-38	2 ans	M	Abdomino-pelvien	Bilan d'une masse abdominale
CH-39	3 ans	F	Abdomen	Bilan d'une masse abdominale
CH-40	5 ans	F	Abdomen	Bilan d'une masse abdominale
CH-41	5 ans	M	Abdomen	Occlusion
CH-42	15 mois	F	Abdomino-pelvien	Bilan d'une masse kystique
CH-43	13 ans	F	Abdomino-pelvien	Occlusion intestinale
CH-44	9 ans	M	Abdomen	Bilan d'extension tumorale
CH-45	7 ans	M	Abdomen	Traumatisme
CH-46	5 ans	F	Abdomino-pelvien	Traumatisme
CH-47	1 mois	F	Abdomen	Malformation congénital
CH-48	4 ans	F	Abdomen	Masse abdominale
CH-49	2 ans	M	Abdomen	Bilan d'une occlusion
CH-50	3 ans	F	Abdomino-pelvien	Bilan d'une masse abdominale
CH-51	13 ans	M	Abdomino-pelvien	Traumatisme
CH-52	4 ans	M	Thorax	Dyspnée
CH-53	14 ans	F	Thorax	Bilan d'asthme
CH-54	11 ans	M	Thorax	Traumatisme
CH-55	1 mois	F	Thorax	Malformation hémithorax gauche
CH-56	2 mois	F	Thorax	Malformation congénitale

CH-57	3 mois	F	Thorax	Malformation congénitale
CH-58	8 ans	M	Thoraco-abdominal	Bilan d'ascite
CH-59	13 ans	M	Thoraco-abdominal	Bilan d'une masse abdominal
CH-60	5 ans	M	Thoraco-abdominal	Dyspnée
CH-61	6 mois	F	Thoraco-abdominal	Malformation uni thorax G
CH-62	13 ans	F	Thoraco-abdominal	Bilan d'une pulmoné
CH-63	5 ans	F	TAP	Recherche métastase immorale
CH-64	9 ans	F	TAP	Bilan masse abdominale
CH-65	8 ans	M	TAP	Bilan masse abdominale
CH-66	2 ans	M	TAP	Bilan masse abdominale
CH-67	2 ans	M	TAP	Bilan masse abdominale
CH-68	18 mois	F	Tête	Macrocéphalie
CH-69	1 an	M	Tête	Rhitno sinusite
CH-70	15 mois	M	Tête	Bilan d'une malformation
CH-71	8 ans	M	Tête	
CH-72	3 mois	F	Tête	Hydrocéphalie
CH-73	11 ans	M	Tête	Déficit moteur
CH-74	5 mois	M	Tête	Bilan d'une masse critique
CH-75	1 mois	M	Tête	Malformation congénitale

CH-76	10 mois	M	Tête	Bilan tumorale
CH-77	1 mois	F	Tête	Malformation congénitale
CH-78	17 mois	F	Tête	Bilan d'un rétinoblastome
CH-79	1 an	F	Tête	Masse frontale
CH-80	4 ans	M	Tête	Traumatisme crânien
CH-81	1 mois	M	Tête	Malformation congénitale
CH-82	7 mois	F	Tête	Bilan d'une masse temporale droite

### **3-1-2- Autres matériels**

Nous avons essentiellement utilisé deux grandeurs dosimétriques dans l'évaluation de la dose efficace : le **Produit-Dose-Longueur (PDL)** et les **facteurs de conversion (E<sub>pdl</sub> ref)**.

#### **-Le Produit-Dose-Longueur (PDL)**

Il mesure la quantité de radiation absorbée par la matière vivante. Il s'exprime en milligray.centimètre (mGy.cm). Il caractérise l'exposition associée à un examen scanographique complet. C'est une grandeur physique mesurable, directement corrélée aux paramètres d'exposition.

#### **-La dose efficace (E).**

La dose efficace d'un scanner représente **l'impact** de la dose d'irradiation reçue par le patient **en matière de risque pour l'organisme entier**. C'est la grandeur **recommandée au niveau international (CIPR 106)** pour estimer l'exposition de la population aux rayonnements ionisants. Elle est calculée à partir :

- de la dose absorbée par chaque organe ;
- de la radiosensibilité de chaque organe irradié.

Elle permet d'évaluer un risque et de comparer entre elles les différentes expositions aux rayonnements ionisants (exposition naturelle ou artificielle). Elle s'exprime en **milli Sievert (mSv)**.

#### **- Une Fiche individuelle de collecte des données.**

Cette fiche de recueil des données inspirée d'un modèle de l'IRSN, nous a permis d'enregistrer nos patients selon les items suivants :

- Identité du patient ; chaque enfant étant identifié par un code.
- Type d'examen scanographique ;
- Les informations cliniques pertinentes ;
- Les informations supplémentaires (allergies, implants, insuffisance rénale...)
- Les paramètres d'examens et les doses délivrées.

### **3-2 Méthodes**

Il s'est agi d'une étude monocentrique, descriptive et transversale portant sur les scanners pédiatriques (de 0 à 15 ans exclus) réalisée sur un même appareil Siemens Somatom 64 barrettes au service d'imagerie médicale du Centre Hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO mis en service en 2015. Cette étude a duré trois (03) mois (15 Juin au 15 septembre). L'analyse des données ont été par EPI Data version 3.1

L'étude a été réalisée sur cinq (05) types d'examens scanographiques avec ou sans injection fréquemment réalisés dans ce service. Le crâne, le thorax, l'abdomen et le pelvien et thoraco-abdomino-pelvien. Les doses délivrées ont été analysées pour quatre (04) tranches d'âge : nouveau-né à 1 an, 1 à 5 ans, de 5 à 10 ans et de 10 à 15 ans exclus.

La collecte des données a consisté au relevé du Produit-Dose-Longueur s'affichant à la console pour chaque acquisition lors de la réalisation des examens scanographiques. L'affichage de l'IDSV et du PDL aide à contrôler l'optimisation des protocoles et à comparer les pratiques mais il faut admettre que ces valeurs sous-estiment la dose délivrée aux enfants malgré l'existence de protocoles pédiatriques adaptés selon les tranches d'âge ou de poids.

## **CHAPITRE 4 : RESULTATS**

#### **4-1 -Evaluation des doses efficaces cumulées des treize 13 enfants admis pour un examen scanographique de contrôle.**

Dans le tableau suivant, sont consignées les valeurs cumulées des doses efficaces des examens scanographiques des treize enfants qui ont subi une double exposition et les Niveaux de Référence Diagnostique correspondants.

**Tableau 11** : Doses efficaces cumulées des 13 enfants en scanographie

N°	Age	Sexe	Examen demandé sans et avec injection	Examen n°1		Examen n° 2		NRD En vigueur(mGy.cm)	Dose efficaces cumulées (mSv)	Observation
				PDL 1 <sup>ère</sup> Acq	PDL 2 <sup>è</sup> Acq	PDL 1 <sup>ère</sup> Acq	PDL 2 <sup>è</sup> Acq			
01	2 mois	M	C-E	749,6	702,4	697	758,4	1050	16,38	Conforme
02	15mois	F	C-E	657,1	709,7	681,9	901	1050	10,2	Conforme
03	13ans	F	Abdomen	912,9	1007,2	1017	987	800	29,03	Non Conforme
04	3 ans	M	C-E	678	710,4	657,8	781	1050	9,61	Conforme
05	1ans	M	C-E	622,8	619,7	652,2	780	1050	14,27	Conforme
06	14ans	M	C-E	1063,5	1057	1017,2	997,4	1050	8,27	Conforme
07	5ans	F	Abdomen	817,9	823,7	810,6	847	800	36,62	Non Conforme
08	13ans	M	Abdomen	910,4	934,7	1007,7	1003	800	28,53	Non Conforme
09	4ans	F	Thorax	631,7	643,8	689,1	677	475	35,66	Non Conforme
10	10 mois	F	C-E	617,2	6312	610	689	1050	46,04	Conforme
11	4ans	M	C-E	717,9	804,7	770,2	716	1050	10,23	Conforme
12	9ans	M	Abdomen	1010,6	989,1	1017,9	1013	800	13,71	Non Conforme
13	13ans	M	C-E	914,8	927,2	1010	1007	1050	7,71	Non Conforme

**Légende**

**C-E : crânio-ancéphalique**

Nous remarquons sur le tableau n° 11, que six (06) examens avaient un PDNL supérieur au Niveau de Référence Diagnostique établis par le CIPR 103 correspondant à des doses efficaces allant de **13,71** à **46,04 mSv**.

## 4-2- Analyse statistique de la population de patients.

Pour une meilleure appréhension des résultats de notre étude, nous avons procédé à une répartition des données selon quatre (04) critères que nous avons retenus à cet effet. Ces critères sont le sexe, l'âge, la région anatomique explorée et le nombre de scanners réalisés par l'enfant au cours de l'année 2019.

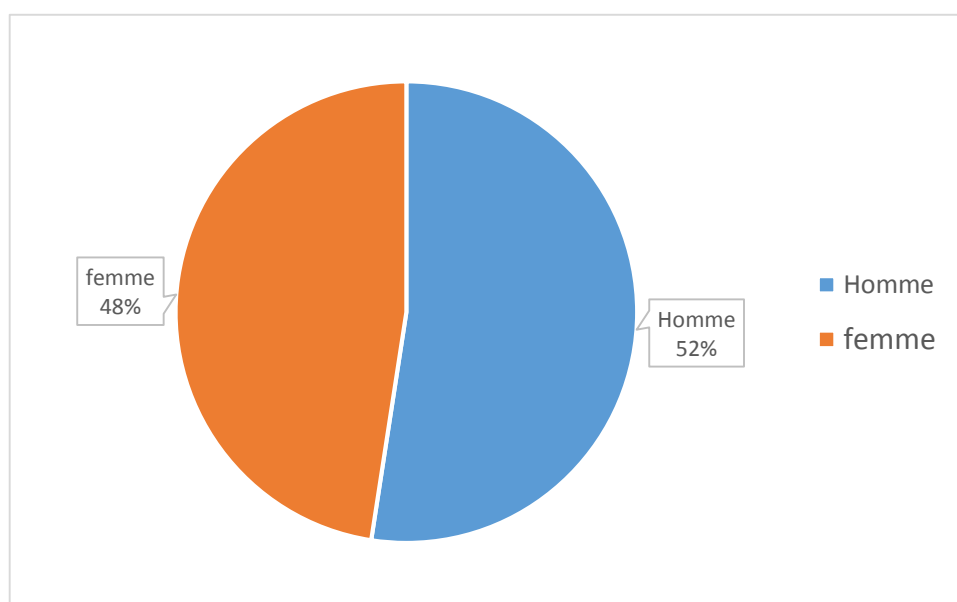
Pour les enfants qui étaient à leur premier scanner, nous leurs avons affecté le chiffre 1. Ceux qui étaient examinés au scanner deux fois au moins à la date de notre étude sont affectés par le chiffre 2. Autrement dit,  $n = 1$  signifie que l'enfant était à sa première fois de réaliser un examen scanographique et  $n = 2$  traduit que ce patient subissait une deuxième exposition au scanner.

### 4-2-1- Répartition des données selon le sexe

Les quatre-vingt-deux (82) patients de 0 à 15 exclus ans du service de scanographie de l'hôpital Yalgado sur qui nous avons étudié les doses efficaces ont été sélectionnées sans aucune préférence de sexe ou de provenance.

Ainsi, nous avons recueilli quarante-trois (43) patients de sexe masculin et trente-neuf (39) de sexe féminin. Soit un taux de 52,44% d'hommes et 47,56% de femmes.

**Figure 12** : Répartition selon le sexe des enquêtés en scanographie pédiatriques

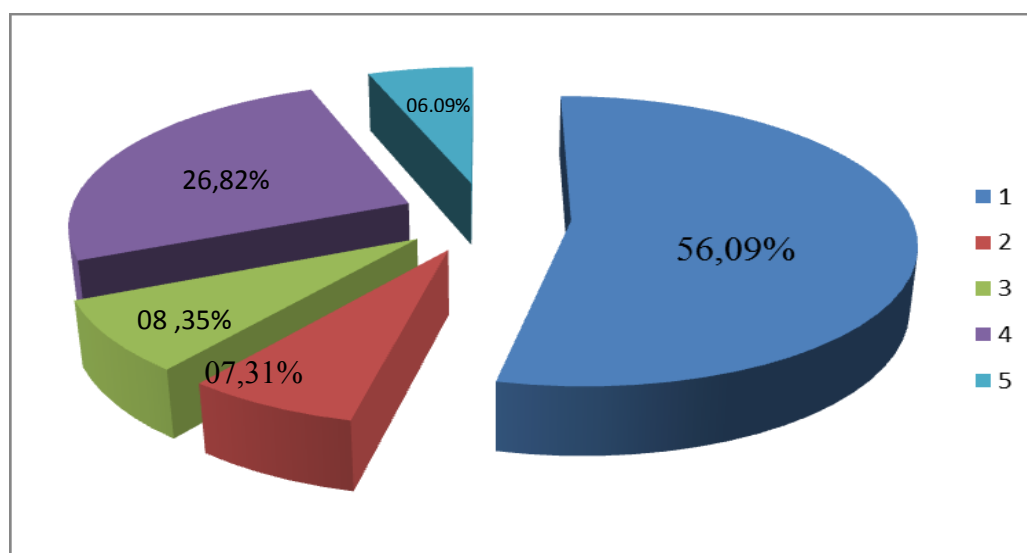


Les patients de sexe masculin sont majoritaires. **Le sex-ratio** a été de **1,10** homme pour une femme.

#### 4-2-2- Répartition des données selon les cinq (05) régions anatomiques

Nous avons choisi d'étudier les cinq (05) régions anatomiques eu égard à la radiosensibilité des tissus et organes les constituant. Ainsi donc, nous avons considéré : **tête+/- cou, thorax, abdomen +/- pelvis, thoraco-abdominal et thoraco-abdomino-pelvien**. Les membres supérieurs et inférieurs ne sont pas inclus dans notre étude.

**Figure 13** : Répartition des examens scanographiques en fonction des régions anatomiques



**Légende : 1 –Tête +/- cou ; 2-Thorax ; 3- Abdomen +/- Pelvis ; 4- Thoraco-Abdominal ; 5- Thoraco-Abdomino-pelvien**

#### 4-2-3- Répartition des données selon les quatre (04) classes d'âge

Le tableau suivant résume la répartition selon l'âge des patients soumis à notre étude. On a pu constater que les enfants dont l'âge est compris entre 1 et 5 ans étaient les plus représentés avec un taux de 35,36 % suivi des enfants de 0 à 1 an (29,26%).

**Tableau 12** : Répartition selon l'âge des patients en scanographies pédiatriques

Age;	Effectif	Pourcentage (%)
[0 ; 1[	24	29,26%
[1 ; 5[	29	35,36%
[5 ; 10[	16	19,51%
[10 ; 15[	13	15,85%
<b>Total</b>	<b>82</b>	<b>100%</b>

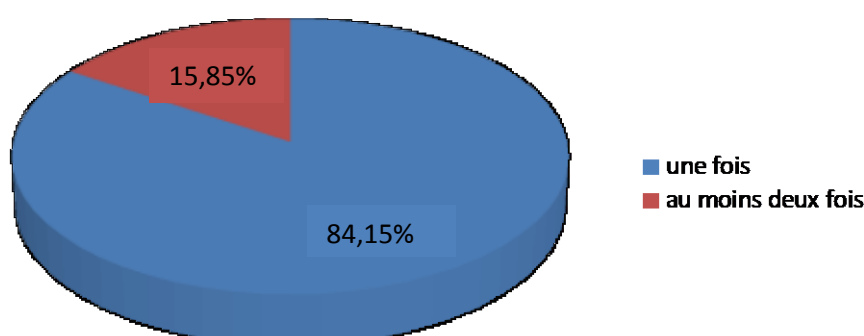
#### 4-2-4 -Répartition des données selon le nombre d'examens réalisés

A ce niveau, nous avons outre la prise de connaissance de l'indication clinique et le type de scanner à réaliser, nous avons posé la question aux accompagnants des malades pour plus de précision.

**Question : Combien de fois votre enfant a été pris au scanner au cours de cette année 2019 ?**

Nous avons obtenu les résultats suivants : 69 enfants faisaient un scanner pour la toute première fois de leur vie soit un taux de 84,15% alors que 13 enfants (15,85%) étaient revenus pour un deuxième scanner avec le plus souvent la mention « contrôle ».

**Figure 14** : Répartition des patients selon le nombre de scanners réalisés en 2019 au CHU-YO



Ce résultat montre que **15,85%** des patients à l'étude ont reçu une deuxième exposition à la date du 15 septembre 2019 date de clôture de notre étude.

Les valeurs dosimétriques calculées pour nos patients au scanner à partir des facteurs de conversion EPDL et des Produits- Dose –Longueur sont consigné dans **l'annexe 2**

## **CHAPITRE 5 : DISCUSSION**

### **5-1-Difficultés pratiques liées à l'étude**

Lors de cette étude, nous avons rencontré des difficultés liées à la collecte des données dosimétriques.

Ces difficultés sont entre autres :

- Non disponibilité d'une chambre d'ionisation pour de rendre compte de la dose à la peau du patient ;
- Des informations sur le passé médical (allergie, insuffisance rénale, implants...) manquantes sur certaines prescriptions médicales. Ces informations pourraient rendre certains examens irréalisables à la date de l'étude ;
- Non disponibilité des poids des patients sur les prescriptions médicales ;
- Données dosimétriques et niveaux de références diagnostic (NRD) manquantes pour les membres.

### **5-2- Evaluation des risques de cancer radio-induits des treize (13) enfants repris pour une deuxième exposition scanographique**

Dans le tableau ci-dessus nous constatons que six (06) examens scanographiques (46,15%) avaient des Produits -Dose –Longueur supérieurs au niveau de référence diagnostique (NRD) établis par le CIPR 103. Ces PDL correspondaient à des doses efficaces cumulées variant entre **7,71** et **46,04 mSv** (< 100 mSv). Nous pouvons donc par extrapolation aux résultats épidémiologiques récents (Huang et al. 2014) nous inquiéter d'un risque de cancer radio-induit de ses six (06) enfants (7,31% de la population étudiée).

Donc de point de vue risque, ils sont plus susceptibles de développer d'autres pathologies tumorales. Bien que ces doses sont inférieures au dose seuil d'apparition de cancer radio-induits, nous estimons qu'une irradiation de plus au cours de leur enfance entrainerait probablement l'apparition d'un cancer au cours de leur vie. Nous devons donc nous inquiéter car d'autres études ont montré un excès statistiquement significatif de risque de cancer chez l'homme à partir de

**100 mSv** d'irradiation cumulée. En –dessous de ce seuil, le calcul de risque est très controversé. Ce risque s'exprime en matière de sur-risque par rapport à l'incidence spontanée des cancers en France. Il ne s'exprime pas de manière individuelle pour un patient mais s'étudie sur la base d'une population. Il se base notamment sur l'étude des survivants d'Hiroshima et Nagasaki (effectif de 86500 depuis 1950).

Il faut garder à l'esprit que l'enfant est particulièrement exposé à ce risque par la radiosensibilité importante de ses organes. **Plus un individu est irradié tôt, plus le risque de cancer radio induit est important** : la Commission Internationale de Protection Radiologique considère que ce risque est 3 fois plus élevé chez l'enfant à naître et jusque l'âge de 10 ans, cinq à dix fois plus faible chez l'adulte de plus de 60 ans.

Dans l'état actuel des connaissances, et au vu de la polémique suscitée par le calcul de risque pour les faibles doses d'irradiation, nous n'aborderons pas dans cette étude le calcul précis du risque.

### **5-3- Radioprotection : Les trois principes.**

L'établissement de normes de Radioprotection repose sur les données scientifiques apportées par les études cliniques, épidémiologiques ou fondamentales. Ces normes réglementaires sont basées sur les rapports de la CIPR et prennent en compte les effets déterministes et les effets aléatoires des rayonnements ionisants.

#### **– Démarche ALARA.**

Ces principes débouchent sur la démarche ALARA (« As Low As Reasonably Achievable »), qui sous-entend de réduire les expositions à un niveau aussi faible que les contraintes économiques le permettent. Une limite est ainsi fixée. Au-dessus de la limite, on trouve le domaine des expositions inacceptables. En dessous, on trouve le domaine des expositions tolérables. Le risque est dit accepté pour toutes les expositions situées sous le niveau ALARA.

## **1 Justification**

Toute activité mettant en œuvre des rayonnements ionisants doit être justifiée par le bénéfice qui en est tiré.

## **2 Limitation**

Aucun individu ne doit être soumis à un risque jugé inacceptable.

## **3 Optimisation**

Selon le CIPR-103, le processus d'optimisation doit permettre de garantir que les expositions sont maintenues aussi faibles qu'il est raisonnablement possible, compte tenu des facteurs socio-économiques et de la qualité d'image requise.

L'utilisation optimale de la TDM nécessite de recourir à un compromis entre la dose transmise et la qualité d'image. En conséquence, les paramètres qui les influencent doivent être adaptés au patient et à la situation clinique.

### **Recommandations :**

Pour une meilleure optimisation des doses d'irradiation en scanographies pédiatriques, les technologues doivent :

- collaborer à l'optimisation des doses transmises aux patients ;
- prioriser l'utilisation de protocoles à faibles doses lorsque l'examen le permet ;
- utiliser des protocoles spécifiques aux enfants selon les groupes d'âges ou le poids ;
- ajuster les mAS et favoriser l'utilisation d'une tension plus faibles (ex : 80 à 100kv) selon l'âge, le poids de l'enfant et la qualité d'image recherchée, afin de réduire les doses transmises.

#### **5-4- Critique de la méthodologie de l'étude**

Cette étude monocentrique s'est basée essentiellement sur les PDL des examens scanographiques qui s'affichent à la console. Elle ne prenait pas en compte le morphotype et le volume exploré du patient qui peuvent influencer les paramètres d'acquisition. Par exemple, dans le scanner d'un thoracique s'étendant plus ou moins vers la thyroïde ou vers l'abdomen, la dose efficace augmente de 20% si le volume exploré comprend la thyroïde. Ces résultats pourraient être améliorés si nous avions utilisé les fantômes anthropomorphes de 16 et 32 cm.

#### **5-5- Limites de notre étude**

Nos travaux de rapport de stage étaient axés essentiellement sur les doses transmises en scanographie pédiatrique. Ce qui nous a permis de calculer les doses efficaces et, partant faire une estimation de l'apparition de cancers radio-induits dans cette population sur la base des résultats épidémiologiques récents. Il est à noter que ce travail comporte de biais (incertitudes) et n'a pas de portée universelle. Il pourrait être amélioré par d'autres études beaucoup plus approfondies telles que la Radiobiologie appliquée.

#### **5-6- PERSPECTIVES D'ETUDE**

Pour l'avenir, nous comptons étudier quelques approches nécessaires pour l'approfondissement de l'estimation des risques provenant des radiations à faibles doses et à faibles débits de doses en considérant :

- 1-** Les études épidémiologiques pour déterminer la dose la plus petite à laquelle un effet est encore observable.
- 2-** L'analyse de la forme de la courbe dose/réponse dans la région des faibles doses.
- 3-** L'exploration des possibilités d'extrapolation de résultats obtenus à fortes doses ou à moyen débit de dose aux faibles doses et aux faibles débits de doses en prenant en compte les mécanismes impliqués à savoir :

- a. Identification des cibles moléculaires et cellulaires pour l'initiation, la promotion et la progression des tumeurs ;
- b. Identification de la nature des dommages radio-induits et analyse des possibilités de leur réparation ;
- c. Etude des mécanismes de la réponse adaptative, étude des variations de radiosensibilité individuelle et de la surveillance immunologique.

## **CONCLUSION**

Cette étude a mis en évidence l'importance relative de l'exposition collective et individuelle des enfants aux RI associée à la scanographie par l'évaluation des doses efficaces, et présenté brièvement les connaissances scientifiques sur les risques radio-induits de cancer. Néanmoins, les données dans ces deux domaines apparaissent encore limitées. La mise à disposition de données complémentaires d'exposition et de résultats épidémiologiques pour l'estimation des effets adverses potentiels apparaît nécessaire afin de renforcer les recommandations et les mesures de protection des patients, en particulier en radiologie pédiatrique.

Ces résultats apportent des connaissances sur les niveaux d'exposition des enfants en scanographie au Burkina Faso – des données jusqu'alors très limitées. L'évaluation dosimétrique réalisée repose sur une méthodologie adaptée à la pédiatrie. Cependant, elle devrait être complétée par la prise en compte des incertitudes d'estimation, en particulier par la caractérisation de la variabilité individuelle des doses autour des protocoles. Les résultats actuels montrent néanmoins déjà l'existence d'une marge d'optimisation des protocoles utilisés dans le service de scanographie du Centre Hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO qui permettrait de limiter l'exposition des patients.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- 1 Bernier MO, Journy N, Rehel JL, Ducou Le Pointe H, Chateil JF, Caer-Lorho S, Laurier D, 2014. Cancer risk after computed tomography examinations in childhood: the cohort *Enfant Scanner* preliminary results. Conference on Radiation and Health, Las Vegas (Etats-Unis).
- 2 DOSSOU J., Guy-Mallet ABINDA S.G., Marius ADJAGBA., Lysiane B., BONI1 Y., Frédéric S., LOKO1., Christophe BADIE3., Raphael DARBOUX., Anatole LALEYE., Nicolas FORAY., 2014. Evaluation spontanée de la radioprotection et les effets des faibles doses d'exposition aux rayonnements face à la réparation cellulaire.
- 3 Preston DL, Ron E, et al, 2007. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat Res.*
- 4 Pearce M.S., Salotti J.A., Little M.P., McHugh K., Lee C., Kim K.P., Howe N.L., Ronckers C.M, 2012. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective study. *The Lancet.*
- 5 Thomas KE, Wang B, 2008. Age-specific effective doses for pediatric MSCT examinations at a large children's hospital using DLP conversion coefficients: a simple estimation method. *Pediatric Radiol.* Juin.
- 6 Rajaraman P., Craft A.W., Parker L., Berrington de González A. (2012) Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk > of leukemia and brain > tumors: a retrospective cohort study, *Lancet.*

- 7 Brenner D., Elliston C., Hall E. *et al.* (2001) Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT, *Am. J. Roentgenol.* 176, 289-296
- 8 Tubiana M. *et al.*, 1986. Radiobiologie Ed Hermann,
- 9 Shrimpton PC et Wall PF, 2000. Reference doses for pediatric computed tomography. *Radiation Protection Dosimetry.*
- 10 Deak PD, Small Y, Kalender WA, 2010. Multisection CT protocols: sex- and age-specific conversion factors used to determine effective dose from dose-length product. *Radiology.*
- 11 Shrimpton PC, Hillier MC, Lewis MA, Dunn M, 2006. National survey of doses from CT in the UK: *Br J Radiol.*
- 12 Report of American Association of Physicists in Medicine Task Group 23 of the Diagnostic Imaging Council CT Committee, 2008. The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT. American Association of Physicists in Medicine.
- 13 A Belot, M Velten, P Grosclaude, N, N Bossard, G Launoy. Estimation nationale de l'incidence de la mortalité par cancer en France entre 1980 et 2005.
- 14 ICRP Publication 103. 2007. The recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Ann. ICRP* 37(2-4).
- 15 Matthews JD, et al. 2013. Cancer risk in 680000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ* 346:f2360.

- 16 UNSCEAR. 2008. Estimates of worldwide average exposures (Vol. 1, Annex B, p. 404.
- 17 Direction de la radioprotection de l'homme, Service d'étude et d'expertise en radioprotection. Doses délivrées aux patients en scanographie et en radiologie conventionnelle. Résultats d'une enquête multicentrique en secteur public Rapport DRPH/SER n° 2010-12. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Institut national de veille sanitaire ; 2010.
- 18 Shrimpton PC, Wall BF, 2000. Reference doses for pediatric computed tomography. Radiation Protection Dosimetry.
- 19 DRPH/SER n° 2010-12. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, Institut national de veille sanitaire ;
- 20 UNSCEAR. 2012. Attributing health effects to ionizing radiation exposure and inferring risks (Annex A).
- 21 Brisse H, Sirinelli D, 2002. Beauvais-March H. Scanner, dosimétrie et optimisation chez l'enfant.
- 22 European Commission. European Guidelines on quality criteria for computed tomography. EUR 16262 EN. Office for Official Publications of the European Communities. Luxembourg; 1999; 70.
- 23 United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Rapport du comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants 2010. United Nations Publication ; 2011.

- 24 HJ Brisse, B Aubert. Niveaux d'exposition en tomодensitométrie multi coupes pédiatrique : résultats de l'enquête dosimétrique SFIPP/IRSN 2007-2008. Journal de Radiologie. Editions Française de Radiologie, Elsevier Masson SAS. Paris; 2009; 207–15.
- 25 Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al, 2012. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. Lancet.
- 26 International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60: Recommandations ICRP. Pergamon Press. Oxford ; 1993.

## Annexes

### Annexe 1

Évaluation des doses efficaces en scanographies pédiatriques au Centre Hospitalier Universitaire Yalgado OUEDRAOGO au BURKINA-FASO du 15 Juin au 15 Septembre 2019

FICHE INDIVIDUELLE DE COLLECTE DES DONNEES DOSIMETRIQUES.

#### Identification du patient

Code patient	<input type="text"/>	Date de naissance / âge	<input type="text"/>
Sexe :	M <input type="checkbox"/>	F	<input type="checkbox"/>

#### Informations cliniques pertinentes

--------------

#### Informations supplémentaires pertinentes

<input type="checkbox"/>	Allergie	<input type="checkbox"/>	Diabète	<input type="checkbox"/>	Insuffisance rénale	<input type="checkbox"/>	Grossesse	<input type="checkbox"/>	Implant
<input type="checkbox"/>	Autres								

#### Examen(s) scanographiques demandé (s)

<input type="checkbox"/>	Tête	<input type="checkbox"/>	Abdomen	<input type="checkbox"/>	Thorax	<input type="checkbox"/>	Abd- Pelvien	<input type="checkbox"/>	Thoraco - Abdominal
--------------------------	------	--------------------------	---------	--------------------------	--------	--------------------------	--------------	--------------------------	---------------------

#### Paramètres d'Acquisition

IDSV1 :	IDSV2 :
PDL1 :	PDL2 :

**Annexe 2**

<b>Code patient</b>	<b>Age</b>	<b>Sexe</b>	<b>Région anatomique explorée</b>	<b>PDL (mGy.Cm) retrouvé</b>	<b>Facteur de conversion (mSv .Gy<sup>-1</sup>.cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Dose efficace (mSv) correspondante</b>
CH-01	7 J	M	Tête	571,6	0,0056	3,20096
CH-02	2 mois	M	Tête	702,4	0,0056	3,93344
CH-03	27 mois	M	Tête	546,5	0,0034	1,8581
CH-04	4 ans	F	Thoraco-abdominal	628,9	0,0175	11,00575
CH-05	13 ans	M	Tête	940,8	0,002	1,8816
CH-06	7 mois	M	Tête	580,4	0,0056	3,25024
CH-07	5 mois	F	Tête	657,1	0,0056	3,67976

CH-08	15 mois	F	Tête	657,1	0,0034	2,23414
CH-09	13 ans	F	Abdomen	912,9	0,0074	6,75546
CH-10	3 ans	M	Tête	660,1	0,0034	2,24434
CH-11	1 mois	M	Tête	657,1	0,0056	3,67976
CH-12	3 ans	M	Tête	622,6	0,0034	2,11684
CH-13	4 mois	M	Tête	657,1	0,0056	3,67976
CH-14	1 J	F	Tête	453,8	0,0034	1,54292
CH-15	17 mois	F	Abdomen	650,7	0,0034	2,21238
CH-16	5 ans	F	Tête	1010,5	0,0034	3,4357
CH-17	4 ans	M	Tête	650,7	0,0034	2,21238
CH-18	10 ans	F	Abdomen	743,9	0,0111	8,25729
CH-19	2 ans	F	Tête	787,7	0,0034	2,67818
CH- 20	3 ans	F	Tête	678	0,0034	2,3052

CH-21	9 mois	M	Tête	622,2	0,0056	3,48432
CH-22	1 mois	F	Tête	482	0,0056	2,6992
CH-23	2 mois	M	Tête	634,5	0,0056	3,5532
CH-24	14 J	F	Tête	495,5	0,0056	2,7748
CH-25	18 mois	M	Tête	651,9	0,0034	2,21646
CH-26	5 ans	M	Abdomen	638,1	0,0088	5,61528
CH-27	13 ans	F	Tête	941,8	0,002	1,8836
CH-28	6 J	F	Tête	449,6	0,0056	2,51776
CH-29	1 an	F	Tête	622,8	0,0056	3,48768
CH-30	3 ans	M	Tête	681,4	0,0034	2,31676
CH-31	12 ans	M	Tête	942,6	0,002	1,8852
CH-32	3 ans	F	Tête	678,1	0,0034	2,30554
CH-33	4 ans	F	Tête	698,7	0,0034	2,37558
CH-34	14 ans	M	Tête	1063,5	0,002	2,127
CH-35	5 ans	M	Tête	1010,5	0,0034	3,4357

CH-36	5 ans	M	Tête	659,2	0,0034	2,24128
CH-37	5 ans	F	Abdomen	641,7	0,0177	11,35809
CH-38	2 ans	M	Abdomino- pelvien	626,8	0,0187	11,72116
CH-39	3 ans	F	Abdomen	741,6	0,0177	13,12632
CH-40	5 ans	F	Abdomen	816,7	0,0111	9,06537
CH-41	5 ans	M	Abdomen	817,9	0,0177	14,47683
CH-42	15 mois	F	Abdomino- pelvien	626,1	0,0187	11,70807
CH-43	13 ans	F	Abdomino- pelvien	910,4	0,0088	8,01152
CH-44	9 ans	M	Abdomen	1010,6	0,0074	7,47844
CH-45	7 ans	M	Abdomen	837,6	0,0111	9,29736
CH-46	5 ans	F	Abdomino- pelvien	781,5	0,0132	10,3158
CH-47	1 mois	F	Abdomen	587,4	0,0297	17,44578

CH-48	4 ans	F	Abdomen	651	0,0187	12,1737
CH-49	2 ans	M	Abdomen	631,2	0,0177	11,17224
CH-50	3 ans	F	Abdomino- pelvien	738,6	0,0177	13,07322
CH-51	13 ans	M	Abdomino- pelvien	914,6	0,0074	6,76804
CH-52	4 ans	M	Thorax	631,7	0,0135	8,52795
CH-53	14 ans	F	Thorax	1010,8	0,0059	5,96372
CH-54	11 ans	M	Thorax	714,6	0,0088	6,28848
CH-55	1 mois	F	Thorax	587,1	0,0172	10,09812
CH-56	2 mois	F	Thorax	667,7	0,0172	11,48444
CH-57	3 mois	F	Thorax	634,2	0,00172	1,090824
CH-58	8 ans	M	Thoraco- abdominal	714,8	0,0088	6,29024

CH-59	13 ans	M	Thoraco-abdominal	932,5	0,0074	6,9005
CH-60	5 ans	M	Thoraco-abdominal	633,8	0,0135	8,5563
CH-61	6 mois	F	Thoraco-abdominal	647,2	0,0214	13,85008
CH-62	13 ans	F	Thoraco-abdominal	1008,1	0,0059	5,94779
CH-63	5 ans	F	TAP	613,6	0,0132	8,09952
CH-64	9 ans	F	TAP	911,9	0,0099	9,02781
CH-65	8 ans	M	TAP	913,2	0,0099	9,04068
CH-66	2 ans	M	TAP	691	0,0132	9,1212
CH-67	2 ans	M	TAP	594,8	0,0132	7,85136
CH-68	18 mois	F	Tête	662,4	0,0034	2,25216

CH-69	1 an	M	Tête	656,4	0,0056	3,67584
CH-70	15 mois	M	Tête	691,2	0,0034	2,35008
	8 ans	M	Tête	941,8	0,0027	2,54286
CH-72	3 mois	F	Tête	659,3	0,0056	3,69208
CH-73	11 ans	M	Tête	807,1	0,002	1,6142
CH-74	5 mois	M	Tête	659,7	0,0056	3,69432
CH-75	1 mois	M	Tête	501,8	0,0056	2,81008
CH-76	10 mois	M	Tête	617,2	0,0056	3,45632
CH-77	1 mois	F	Tête	481,8	0,0056	2,69808
CH-78	17 mois	F	Tête	713,6	0,0034	2,42624
CH-79	1 an	F	Tête	637,8	0,0034	2,16852
CH-80	4 ans	M	Tête	657	0,0034	2,2338

CH-81	1 mois	M	Tête	696,1	0,0056	3,89816
CH-82	7 mois	F	Tête	591,9	0,0056	3,31464

## **TABLES DES MATIÈRES**

Listes des enseignants de la formation de Master de Recherche .....	II
DEDICACE.....	III
REMERCIEMENTS .....	IV
LISTE DES FIGURES.....	V
LISTE DES TABLEAUX.....	V
RESUME.....	VII
ABSTRACT .....	VII
LISTES DES SIGLES, ABREVIATIONS ET ACRONYMES .....	VIII
SOMMAIRE .....	X
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 : GENERALITES SU LES RAYONNEMENTS IONISANTS.....	3
1 -1 Généralités sur les rayonnements ionisants .....	4
1-1-1 Définitions des termes et grandeurs physiques .....	4
1-1-2 Concepts radiologiques, biologiques et médicaux.....	5
1-1-3 Les principaux indicateurs dosimétriques des RI.....	5
1-1-4 Autres sources de rayonnements ionisants.....	9
1-2 Expositions pédiatriques au scanner.....	10
1-2-1 Aspects techniques de la scanographie.....	11
1-2-2 Protocole radiologique et paramètres d'acquisition.....	12
1.2.3 Grandeurs dosimétriques caractérisant un examen.....	13
CHAPITRE 2 : PROBLEMATIQUE, CONTEXTE, JUSTIFICATION, HYPOTHESE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE .....	15
2.1 Problématique, contexte, justification, et objectifs de l'étude au Burkina Faso.....	16

2-1-1 Problématique de l'étude au Burkina Faso .....	16
2-1-2 Les objectifs de l'étude .....	19
2-1-3- Hypothèse de l'étude .....	19
2-2- Revue bibliographique de la littérature .....	20
2-2-1- Les valeurs dosimétriques de référence (PDL ref, Epdref) .....	20
2-2-2- Détermination des doses efficaces selon l'accessibilité des Produits-Dose-Longueur(PDL).....	21
2-2-3-Prédiction des cancers : Résultats épidémiologiques récents .....	25
2-2-4-Etat des connaissances des effets biologiques des rayonnements ionisants .....	29
2-2-5- Mécanismes de réparation des lésions de l'ADN .....	34
2-2-6-Notion de dose collective (personne x Sv) .....	37
2-2-7- Incertitude et polémique sur le risque cancérigène des faibles doses .....	39
<b>CHAPITRE 3 : MATERIEL ET METHODES .....</b>	<b>42</b>
3-1 Matériel.....	43
3-1-1- Historique, passé médical et antécédents familiaux des enfants reçus en scanographie .....	43
3-1-2- Autres matériels .....	49
3-2 Méthodes .....	50
<b>CHAPITRE 4 : RESULTATS.....</b>	<b>51</b>
4-1 -Evaluation des doses efficaces cumulées des treize 13 enfants admis pour un examen scanographique de contrôle. ....	52
4-2- Analyse statistique de la population de patients. ....	54
4-2-1- Répartition des données selon le sexe.....	54
4-2-2- Répartition des données selon les cinq (05) régions anatomiques.....	55
4-2-3- Répartition des données selon les quatre (04) classes d'âge.....	55
4-2-4 -Répartition des données selon le nombre d'examens réalisés .....	56
<b>CHAPITRE 5 : DISCUSSION.....</b>	<b>58</b>

5-1-Difficultés pratiques liées à l'étude .....	59
-Non disponibilité d'une chambre d'ionisation pour de rendre compte de la dose à la peau du patient ; .....	59
5-2- Evaluation des risques de cancer radio-induits des treize (13) enfants repris pour une deuxième exposition scanographique .....	59
5-3- Radioprotection : Les trois principes. ....	60
5-4- Critique de la méthodologie de l'étude .....	62
5-5- Limites de notre étude .....	62
5-6- PERSPECTIVES D'ETUDE .....	62
CONCLUSION .....	64
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES : .....	65
Annexes .....	69
TABLES DES MATIÈRES .....	78