

République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed El Bachir Elibrahimi – Bordj Bou Arreridj  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département Sciences de la Matière

جامعة محمد البشير الإبراهيمي « برج بوعرييرج »  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم علوم المادة



# Mémoire de fin d'études

PRESENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION  
DU DIPLOME DE: Master

**Domaine: Sciences de la Matière**  
**Filière: physique**  
**Spécialité: Physique des matériaux**

**Thème**

## Effets sur l'organisme des rayonnements ionisants (Effet Déterministe- Effet Stochastique)

Présentée par: Seghiri Sarra

Soutenu le: 01/07/2018

Devant le jury :

**Président: P<sup>f</sup> KAHOUL ABDELHALIM**

Professeur (Univ. Bordj Bou Arreridj)

**Rapporteur: D<sup>f</sup> KEBIR HADDA**

MAA (Univ. Bordj Bou Arreridj)

**Examineur: D<sup>f</sup> KHALFALLAH FARID**

MCA (Univ. Bordj Bou Arreridj)

Année universitaire : 2017/2018



# *Remerciement*

*Avant tout propos, je remercie Allah le tout-puissant de m'avoir donné le courage et la volonté pour pouvoir élaborer ce travail et le présenter.*

*En effet, le présent mémoire de Master n'aurait pu avoir le jour sans la contribution de nombreuses personnes, dont je me fais aujourd'hui un plaisir et un devoir de les remercier.*

*Je suis reconnaissante à mon encadreur M<sup>me</sup> KEBIR Hadda Qui m'a aidé à progresser dans ma recherche grâce à ses conseils, sa Directifs, son esprit critique et son soutien tout long de la réflexion de Cette recherche et qui a bien voulu assurer le suivi de mon étude à Travers son encouragement et ses précieux conseils qui m'ont été très Utiles dans l'élaboration de cette recherche.*

*Je tiens à remercier vivement tous mes enseignants qui m'ont aidé à l'accumulation des connaissances nécessaires durant le cursus universitaire.*

*Et Je voudrais remercier Dr.korichi-Z spécialiste des maladies cancéreuses service d'oncologie à l'hôpital de Lakhdar Bouzidi  
BBA*

*Finalement, je remercie vivement les membres de jury qui ont accepté de juger ce travail.*

**MERCI**

# Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à :*

*À l'esprit de mon cher père, l'homme qui a fait beaucoup pour moi*

*A ma mère, qui a toujours été une source de tendance et d'encouragement*

*A mon cher mari Gasmi Mourad*

*A ma belle sœur Bouchra*

*A mes frères, Ali, Bilal, Abd'Eldjalil et Smail*

*Aux familles : Seghiri et Bouachrine*

*Ainsi qu'à tous mes amis (Aicha, Oumelkhier, Amal, Nawel, Chahrzzad, Salma,  
Hafida et Sabrina)*

*Et à toute la promotion de la physique des matériaux*

*2018,*

*A tous les enseignants qui m'ont enseigné durant toute ma formation*

*SEGHIRI SARRA*

# *Sommaire*

<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Abréviation .....	i
Liste des tableaux.....	ii
Liste des figures .....	iii
Introduction générale.....	01
<b>Chapitre I: Radioactivité</b>	
I. 1. La radioactivité .....	02
I. 1. 1. Historique.....	02
I. 1. 2. Définition .....	02
I. 1. 3. Les unités de mesures de la radioactivité .....	02
I. 1. 4. Les Sources de la radioactivité.....	03
I. 1. 4. 1. Sources naturelles .....	03
a. Rayonnement cosmique .....	04
b. Rayonnement tellurique .....	04
c. Le radon.....	05
d. Les eaux minérales et les aliments .....	05
I. 1. 4. 2. Sources artificielles .....	05
I. 2. Types de rayonnement .....	07
I. 2. 1. Le rayonnement alpha ( $\alpha$ ) .....	07
I. 2. 2. Le rayonnement bêta ( $\beta$ ) .....	08
a. Rayonnement $\beta^-$ .....	08
b. Rayonnement $\beta^+$ .....	09
I. 2. 3. Les photons gamma ( $\gamma$ ) .....	10
I. 3. Rappel sur les rayonnements ionisants .....	10
I. 3. 1. Définition .....	10
a. Rayonnement ionisant .....	11
b. Rayonnement non-ionisant .....	11
I. 3. 2. Types de rayonnements ionisants .....	12
<b>Chapitre II : La limite d'exposition naturelle et artificielle du public selon les Recommandations Internationale de Protection Radiologique CIRP</b>	
II. 1. Normes de radioprotection .....	13
II. 2. Historique de la commission .....	13

## *Sommaire*

---

II. 3. Les recommandations de la CIRP .....	14
II.3.1. La commission internationale de protection radiologique CIRP .....	14
II. 3. 2. Les publications de la CIRP .....	14
II. 4. Objectif des recommandations .....	15
II. 5. Le système de protection radiologique.....	15
II. 5. 1. Les trois principes des recommandations.....	15
a. La Justification des pratiques .....	15
b. L'optimisation de la protection .....	16
c. La limitation de l'exposition .....	16
II. 5. 2. Champ des recommandations .....	16
II. 6. Les limites d'exposition.....	17

### **Chapitre III : Effets sur l'organisme des rayonnements ionisants (effet stochastique et effet déterministe)**

III. 1. Introduction.....	20
III. 2. Les Grandeurs utilisées en radioprotection.....	20
III. 2. 1. Dose absorbée (D) .....	21
III. 2. 2. Dose équivalente (H) .....	21
III. 2. 3. Dose efficace (E).....	22
III.3. L'exposition naturelle et artificielle aux rayonnements ionisants .....	23
III. 4. Différents types d'exposition.....	25
a. L'exposition externe.....	25
b. L'exposition interne.....	25
III. 4. 1. Contamination.....	25
III. 4. 1. 1. Définition .....	25
III. 4. 1. 2. Types de la contamination .....	26
a. Contamination externe .....	26
b. Contamination interne .....	26
III. 4. 2. Irradiation .....	26
III. 4. 2. 1. Définition.....	26
III. 4. 2. 2. Types de l'irradiation .....	27
a. Irradiation externe .....	27
b. Irradiation interne .....	27
III. 4. 3. La différence entre contamination et irradiation .....	27

## *Sommaire*

---

III. 5. Effet biologique des rayonnements ionisants .....	27
III. 5. 1. Effets des rayonnements ionisants sur l'organisme .....	29
III. 5. 1. 1. Effet stochastique .....	29
a. Définition.....	29
b. Les caractéristiques des effets stochastiques .....	30
III. 5. 1. 2. Effet déterministe.....	30
a. Définition .....	30
b. Les caractéristiques des effets déterministes.....	31
III. 5. 1. 3. Comparaison entre les effets déterministes et stochastiques.....	33
Conclusion générale .....	35
Références Bibliographiques.....	36

## *Abréviation*

---

### *Abréviation*

**GeV**: Gega électron volt

**eV**: Electron volt

**MeV** : Méga électron volt

**CIPR** : Commission Internationale de Protection Radiologique

**UNSCEAR**: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations)

**IAEA**: International Atomic Energy

**ICRU**: International Commission on Radiation Units and measurements

**IXRPC** : Comité International de Radioprotection et de Protection Contre le Radium

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**AIEA** : Agence Internationale de l'Energie Atomique

**OIT** : Organisation Internationale du Travail

**UNEP** : Programme des Nations Unies pour l'Environnement

**CE** : Communautés Européennes

**APNOCDE** : Agence Pour Nucléaire de l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques

**OIN** : Organisation Internationale de Normalisation

**ICE** : Commission Electrotechnique Internationale

**IRPA** : Association internationale de radioprotection

**KWh**: Kilo Watt heure

**ALARA**: As Low As Reasonably Achievable (aussi bas que raisonnablement réalisable)

**ADN**: Acide DésoxyriboNucléique

## *Liste des Tableaux*

<b>Tableau</b>	<b>page</b>
Tableau 1. Grandeurs dosimétriques .....	03
Tableau 2. Période des radionucléides d'origine terrestre.....	04
Tableau 3. Radionucléides produits par l'homme.....	06
Tableau 4. Limites d'exposition ( $E_{12} = 20$ mSv) dans les 12 mois en France.....	17
Tableau 5. Limites d'exposition ( $E_{12} = 1$ mSv) dans les 12 mois en France.....	18
Tableau 6. Grandeurs et unités utilisées en radioprotection.....	21
Tableau 7. Facteurs de pondération pour les rayonnements ionisants $W_R$ .....	22
Tableau 8. Facteurs de pondération pour les tissus $W_T$ .....	23
Tableau 9. Exposition humaine à la radioactivité naturelle et artificielle.....	24
Tableau 10. Effets déterministes observés selon les doses reçues.....	31
Tableau 11. Incidence et mortalité par cancer chez les survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima et Nagasaki (d'après données épidémiologiques de l'UNSCEAR 1994).....	32
Tableau 12. Comparaison des effets déterministes et stochastiques.....	33

# *Liste des Figures*

<b>Figure</b>	<b>page</b>
Figure 1. Les unités de mesure de la radioactivité .....	03
Figure 2. Schéma représente la radioactivité naturelle et artificielle .....	06
Figure 3. Rayonnement alpha, bêta, gamma.....	07
Figure 4. Le Rayonnement alpha $\alpha$ .....	08
Figure 5. Rayonnement bêta $\beta^-$ .....	09
Figure 6. Rayonnement bêta $\beta^+$ .....	09
Figure 7. Rayonnement gamma $\gamma$ .....	10
Figure 8. Rayonnements ionisants et non ionisants.....	11
Figure 9. Classification des rayonnements .....	12
Figure 10. Lien entre la dose efficace, la dose équivalente et la dose absorbée.....	20
Figure 11. Différents types d'exposition.....	25
Figure 12. Modes de pénétration de la contamination.....	25
Figure 13. Irradiation externe et irradiation interne. ....	27
Figure 14. Effet biologique des rayonnements ionisants.....	28
Figure 15. Effet stochastique en fonction de la dose.....	29
Figure 16. Effet déterministe en fonction de la dose .....	30
Figure 17. Courbe doses-effet des cancers chez les survivants d'Hiroshima et Nagasaki.....	32

# *Introduction générale*

# *Introduction générale*

---

## **Introduction générale**

Sur le début du 20ème siècle, l'application d'un rayonnement ionisant est née avec la découverte des rayons X et de la radioactivité. Les effets des rayonnements ionisants sur l'homme et les organismes vivants en général sont devenus un sujet de préoccupation de nombreuses études pendant le dernier siècle. Les propriétés des rayonnements ionisants pour détruire les cellules accordent à être considéré comme une méthode puissante pour éradiquer le cancer. On estime que près des deux tiers de tous les patients atteints de cancer reçoivent de la radiothérapie au cours de leur traitement [1].

On appelle rayonnement ou radiation le processus d'émission ou de transmission d'énergie sous la forme d'ondes électromagnétiques ou de particules.

Les rayonnements ionisants font partie naturellement de l'environnement de l'Homme, qu'ils soient d'origine cosmique ou tellurique. L'exposition aux rayonnements ionisants peut également être d'origine artificielle notamment au travers de certaines pratiques de soins actuelles (scanner, radiothérapie), d'expositions professionnelles (radiothérapeute, mineurs, travailleurs du cycle du nucléaire) ou d'expositions accidentelles (Tchernobyl, Fukushima). La quantification de leur impact sur la santé est un sujet majeur de recherche depuis de nombreuses années [2].

Dans notre mémoire nous sommes intéressés aux rayonnements ionisants et ces effets sur l'Organisme. Pour ce faire, le présent travail a été structuré selon trois chapitres;

- Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique de la radioactivité et rappel sur les rayonnements ionisants.
- Le deuxième chapitre détaillera les limites d'exposition naturelle et artificielle du public selon les Recommandations Internationale de Protection Radiologique CIRP.
- Le dernier chapitre porte sur les effets sur l'organisme des rayonnements ionisants (effets déterministes et effets stochastiques).

# *Chapitre I*

## *Radioactivité*

### I. 1. La Radioactivité

#### I. 1. 1. Historique

Ce sont Pierre et Marie Curie qui, les premiers ont imaginé de doser les éléments par les rayonnements émis par leurs radio-isotopes. Cette méthode permet non seulement de détecter un corps radioactif mais aussi de distinguer les radio-isotopes entre eux car ils diffèrent par la qualité de leur rayonnement et par la durée de leur vie.

C'est en utilisant cette nouvelle méthode d'analyse chimique que Pierre et Marie Curie découvrirent le polonium-84 et le radium-88.

La découverte de la radioactivité artificielle par Irène et Frédéric Joliot-Curie permet d'obtenir des isotopes radioactifs de tous les éléments et ainsi d'ouvrir un immense domaine à l'analyse par les isotopes [3].

#### I. 1. 2. Définition

La désintégration d'un isotope radioactif est un phénomène aléatoire dont on ne peut jamais prédire à quel moment il va arriver par contre on peut donner la probabilité de désintégration par unité de temps. Cette propriété que possèdent les noyaux radioactifs se caractérise comme étant la possibilité de modifier de manière spontanée leur structure interne pour atteindre un niveau d'énergie plus bas ou bien fondamental. Cette transformation s'accompagne par l'émission de particules et/ou de rayonnements électromagnétiques dont l'énergie est généralement supérieure à 100 keV. Le noyau résiduel peut être lui aussi radioactif et subir d'autres transformations ou bien être stable [4].

#### I. 1. 3. Les unités de mesures de la radioactivité

Le Becquerel, le Gray, le Sievert sont les trois unités qui mesurent la radioactivité, son énergie et ses effets :

- ✓ **Le Becquerel (Bq):** Il permet de mesurer le niveau de radioactivité. Également appelé activité. Il correspond au nombre d'atomes qui se désintègrent par unité de temps (seconde).

L'ancienne unité était le Curie(Ci):  $1\text{Ci} = 3.7 \times 10^{10}$  Bq. En référence au nom des découvreurs du radium (Pierre et Marie Curie).

- ✓ **Le Gray (Gy):** Il permet de mesurer la quantité d'énergie absorbée (dose absorbée) par de la matière (Organisme ou objet) exposée des rayonnements ionisants. 1 Gray correspond à une énergie absorbée de 1 joule par Kilo de matière. L'ancienne unité était le rad: 1 Gy = 100 rad.
- ✓ **Le Sievert (Sv):** Il permet d'évaluer les effets biologiques des rayonnements d'origine naturelle ou artificielle sur l'homme, en fonction du type de rayonnement.

L'ancienne unité était le rem: 1 Sv = 100 rem [5].

Grandeur mesurée	Définition	Unités
Activité	Nombre de désintégrations par seconde	Becquerel(Bq)
Dose absorbée	Quantité d'énergie transférée à la matière	Gray(Gy)
Equivalent de dose	Effet des rayonnements sur l'organisme	Sievert(Sv)

Tableau 1. Grandeurs dosimétriques [6].

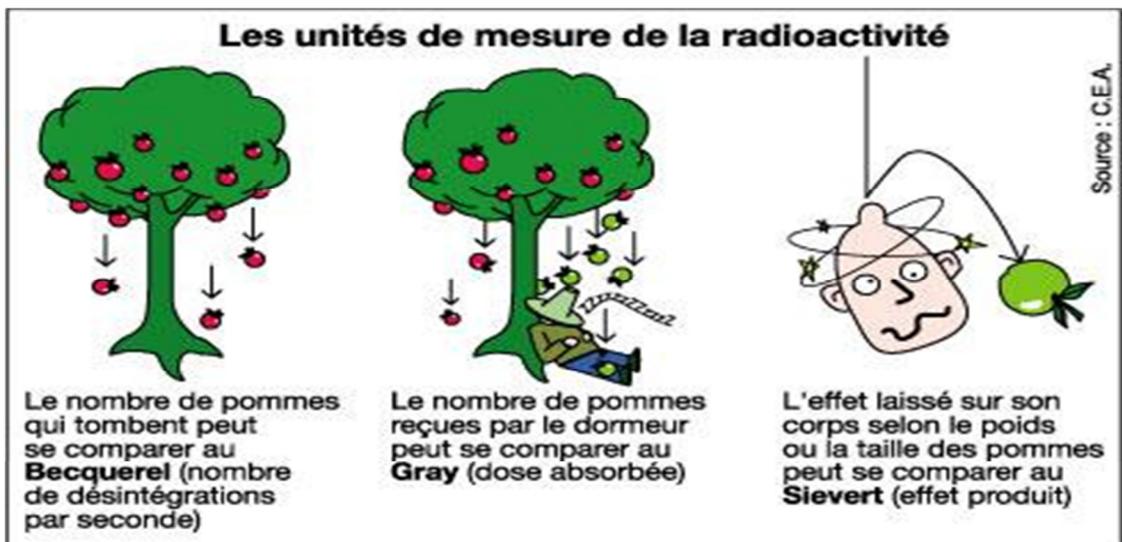


Figure 1. Les unités de mesure de la radioactivité [3].

#### I. 1. 4. Les Sources de la radioactivité

##### I. 1. 4. 1. Sources naturelles

La radioactivité fait partie de l'univers. Elle est présente de façon naturelle dans notre environnement naturelle (58 % de la dose totale reçue) et émise par diverses sources. Le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) énonce quatre sources importantes d'exposition du public au rayonnement naturel: Le rayonnement cosmique, le rayonnement terrestre, le radon et les eaux minérales et les aliments.

**a. Rayonnement cosmique**

On appelle rayons cosmiques (7 %) les flux de noyaux atomiques de très haute énergie, principalement des protons, arrivant sur la terre de l'espace cosmique : Ainsi que le rayonnement secondaire crée par ces noyaux dans l'atmosphère terrestre. Les rayons cosmiques se trouvant en dehors de l'atmosphère terrestre sont dits primaires. Ils sont constitués de noyaux atomiques de différents nombres de masse, dont les énergies par nucléon sont comprises entre 1GeV et  $10^{13}$  eV [7].

**b. Rayonnement tellurique**

Les principaux éléments participant à la radioactivité naturelle (11 %) sont le potassium-40, le thorium-232 et les trois isotopes de l'uranium 234, 235 et 238. Ces éléments radioactifs se transforment spontanément en éléments plus « légers » et moins radiotoxiques (thorium, radon, etc.... jusqu'au plomb). Ils sont principalement présents dans l'écorce terrestre et dans certains types de sols, dont la concentration varie en fonction du socle où ils se sont formés. La période d'activité de ces radionucléides diminue progressivement jusqu'à ce qu'ils deviennent stables et inoffensifs. Leur période varie entre quelques secondes et plusieurs milliards d'années [4].

Radionucléide	Demi-vie
Iode-139	2 secondes
Radon-222	3.8 jours
Césium-137	30 ans
Carbone-14	5730 ans
Uranium-234	245000 années
Uranium-235	704 millions d'années
Potassium-40	1.28 milliards d'années
Uranium-238	4047milliards d'années
Thorium-232	14.1 milliards d'années

**Tableau 2. Période des radionucléides d'origine terrestre [4].**

**c. Le radon**

Gaz naturel radioactif (34 %), est la principale source d'exposition naturelle. Il provient essentiellement de la désintégration de l'uranium présent dans la couche terrestre.

Le radon et ses descendants solides sont inhalés ; ils émettent des rayonnements à peu pénétrants, mais qui irradient les cellules les plus sensibles des bronches. Des cancers pulmonaires ont été constatés chez les travailleurs des mines d'uranium. Le radon peut s'accumuler dans les espaces clos, comme les maisons. Pour réduire sa concentration dans l'air à l'intérieur de l'habitat, il faut ventiler les pièces et les sous-sols et ou améliorer l'étanchéité des murs et des planchers. La dose efficace individuelle due au radon et à ses descendants est en moyenne d'environ 1,2 mSv par an en France [8].

### *d. Les eaux minérales et les aliments (6 %)*

Les radionucléides de la croûte terrestre (principalement potassium-40) et ceux créés par les rayonnements cosmiques (essentiellement carbone 14) sont naturellement présents dans les Plantes et les animaux (6 %), mais aussi dans l'eau. Nos aliments et nos boissons sont par conséquent légèrement radioactifs. Les radionucléides ingérés se fixent dans les tissus de l'organisme et entraînent une exposition interne d'origine naturelle [9].

### *I. 1. 4. 2. Sources artificielles*

La population est exposée directement et indirectement à des sources de radioactivité artificielles (42 % de la dose totale reçue), il suffit de penser aux retombées des explosions nucléaires en atmosphère. Mais il y en a quelques autres. Parmi les sources directes il y a les instruments médicaux de diagnostic et de radiothérapie. Les sources indirectes de radioactivité sont toutes celles résultant de la libération de radionucléides des suites du fonctionnement normal ou des accidents qui surviennent dans les installations nucléaires civiles et militaires. Un large spectre de produits de fusion et de fission fut libéré durant ces essais mais les dépôts actuels sont essentiellement limités à des radionucléides à longue vie tels que le césium-137 et le strontium-90 dont la période est voisine de 30 ans. Si on exclut les accidents survenus dans les centrales nucléaires, la seconde source de radioactivité artificielle comprend la production d'énergie destinée à des fins civiles et militaires (y compris tout le cycle de l'uranium depuis son extraction dans les mines, son enrichissement, son utilisation dans les retraitements, etc.), la fabrication des armes nucléaires, la production des radio-isotopes, la réentrée atmosphérique

des satellites munis de pile à combustible, les sources industrielles de rayonnements (radiographie industrielle y compris nucléaire), etc

L'accident de Tchernobyl survenu en 1986 fut évidemment une dramatique exception à cette dose d'exposition artificielle aux rayonnements ionisants. Pour un dépôt de césium-137. La dose reçue par la population a largement varié en fonction de nombreux facteurs: Le lieu, les populations (le temps passe a l'extérieur, le type de bâtiment, Les habitudes alimentaires,... etc.), l'âge des habitants, les caractéristiques des surfaces et en particulier les terres et la végétation sur lesquelles les poussières se sont déposées, Le climat,... etc [5].

Nucléide	Symbole	Demi-vie ( $T_{1/2}$ )
Tritium-3	$^3\text{H}$	12.3 ans
Iode -131	$^{131}\text{I}$	8.04 jours
Iode -129	$^{129}\text{I}$	$1.57 \cdot 10^7$ ans
Césium -137	$^{137}\text{Cs}$	30.17 ans
Strontium -90	$^{90}\text{Sr}$	28.78 ans
Technétium -99	$^{99}\text{Tc}$	$2.11 \cdot 10^5$ ans
Plutonium- 239	$^{239}\text{Pu}$	$2.41 \cdot 10^4$ ans

Tableau 3. Radionucléides produits par l'homme [10].

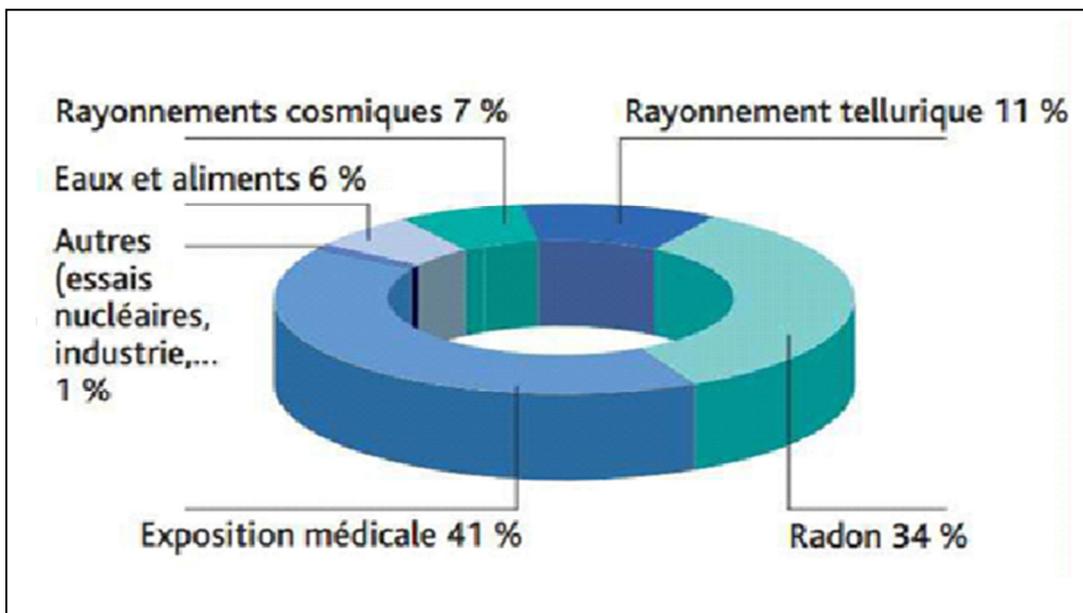


Figure 2. Schéma représente la radioactivité naturelle et artificielle.

## I. 2. Types de rayonnement

Il existe trois types de rayonnements ionisants de nature et d'intensité différente ; alpha, bêta et gamma (voir figure 3).

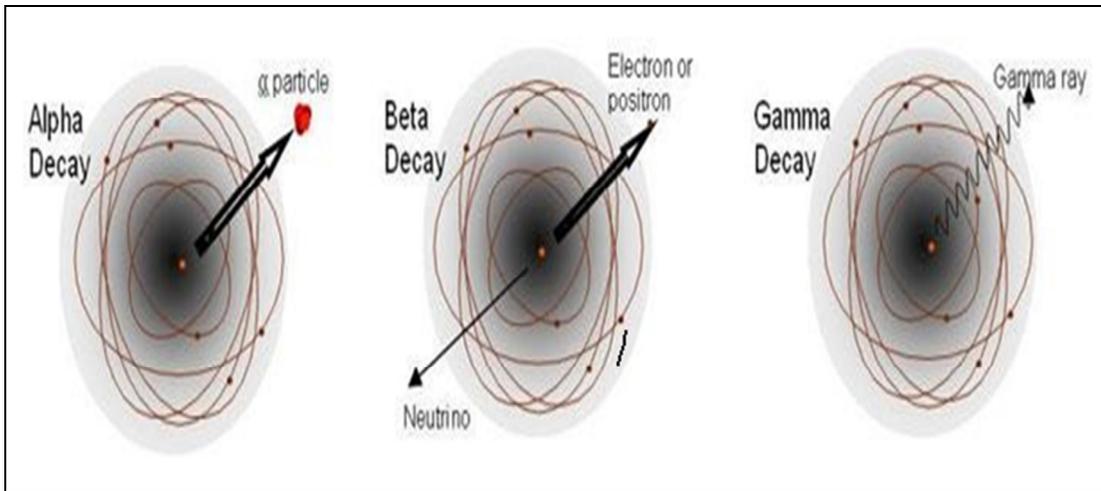


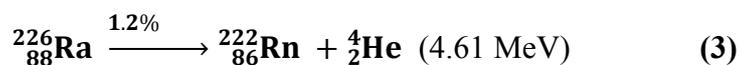
Figure 3. Rayonnement alpha, bêta, gamma.

### I. 2. 1. Le rayonnement alpha ( $\alpha$ )

Les rayons  $\alpha$  sont constitués de noyaux d'hélium de charge  $+2e^-$ , ou  $e^-$  est la charge électronique. La particule  $\alpha$  est mono énergétique : Son énergie en général de quelques MeV. La désintégration  $\alpha$  concerne principalement les éléments lourds du tableau des radionucléides et elle s'écrit en notation symbolique de la manière suivante :



Dans ce qui précède, nous avons noté pour un élément X quelconque, Z le nombre atomique, A le nombre de masse ; le symbole \* signifie que le noyau est instable. Comme exemple de désintégration  $\alpha$ , nous pouvons citer le radium qui décroît selon deux modes différents qui sont:



Cette transition est suivie par une émission  $\gamma$ , dont nous parlerons par la suite [11].

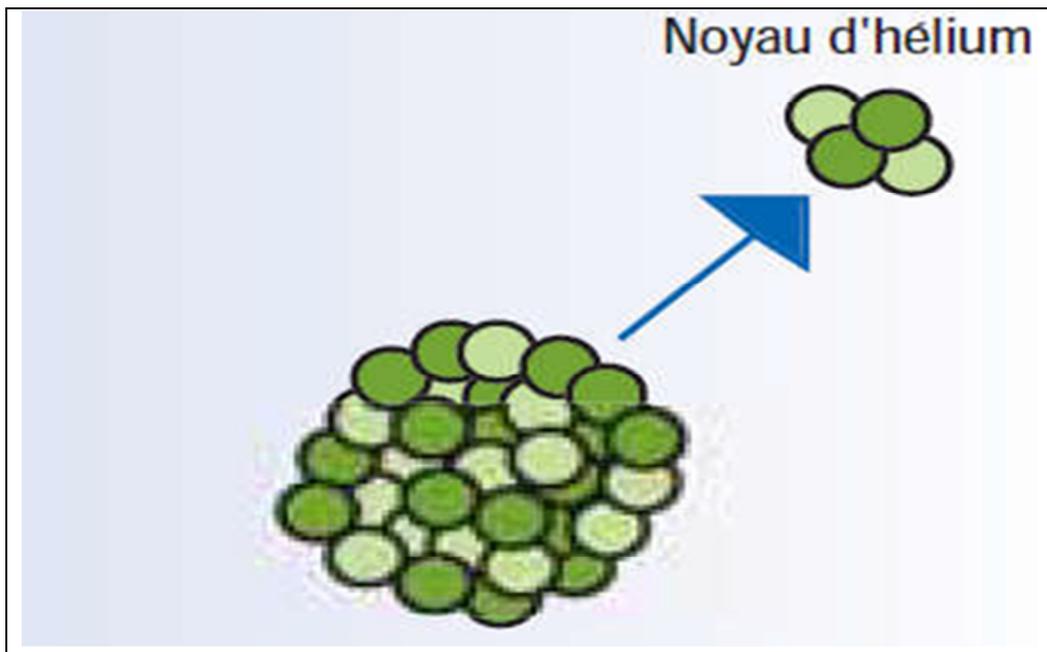


Figure 4. Le Rayonnement alpha  $\alpha$ .

### I. 2. 2. Le rayonnement bêta ( $\beta$ )

La radioactivité bêta correspond à la transformation, dans le noyau soit d'un neutron en proton; radioactivité  $\beta^-$ , caractérisée par l'émission d'un électron  $e^-$ , soit d'un proton en neutron; radioactivité  $\beta^+$ , caractérisée par l'émission d'un antiélectron ou positron  $e^+$ . Elle ne se manifeste que dans des noyaux radioactifs produits artificiellement par des réactions nucléaires.

#### a. Rayonnement $\beta^-$

Lors de radioactivité  $\beta^-$ , le nombre de masse  $A$  ne change pas: La transition est isobarique un électron et un antineutrino sont émis dans la voie finale. La réaction s'écrit:



La réaction, un neutron est transformé en proton. Le neutron libre est radioactif, avec une période d'un peu moins 15 minutes alors que le neutron lié ne l'est pas.

Il se décompose selon la réaction:



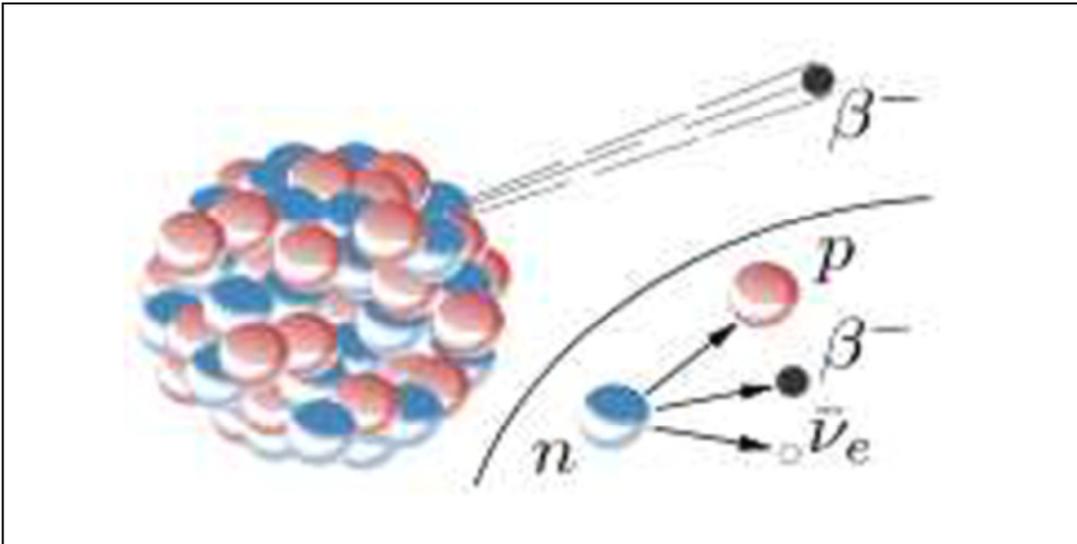


Figure 5. Rayonnement  $\beta^-$ .

**b. Rayonnement  $\beta^+$**

La radioactivité  $\beta^+$  est aussi gouvernée par l'interaction faible. Elle concerne les noyaux riches en proton, donc situés à droite de la vallée de stabilité. Son équation de désintégration s'écrit :



Ce processus correspond à la transformation d'un proton en neutron avec émission d'un positron, est l'antiparticule de l'électron, et d'un neutrino [12].

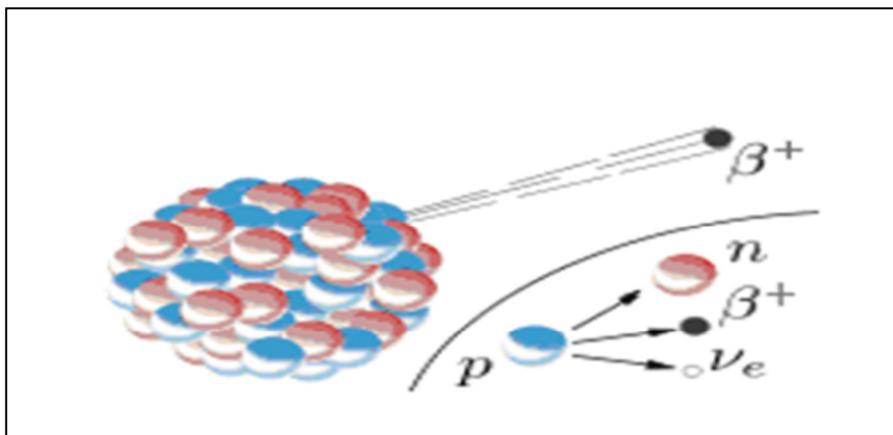


Figure 6. Rayonnement  $\beta^+$ .

### I. 2. 3. Les photons gamma ( $\gamma$ )

Le rayonnement gamma est une onde électromagnétique, comme la lumière visible ou les rayons X, mais plus énergétique. Ce rayonnement succède souvent à une désintégration de type alpha ou bêta. Après émission de particule alpha ou bêta, le noyau est encore excité car ses protons et ses neutrons n'ont pas trouvé leur équilibre. Il se libère alors rapidement d'un trop-plein d'énergie par émission d'un rayonnement gamma. C'est la radioactivité gamma [13].

La notation symbolique d'une telle désexcitation est la suivante:

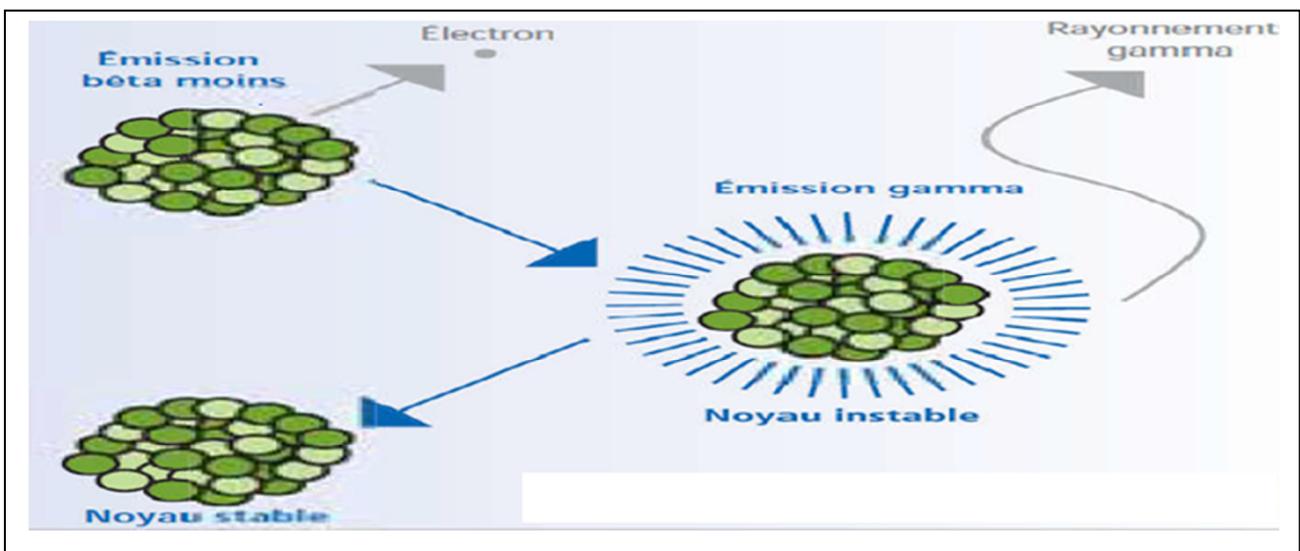


Figure 7. Rayonnement gamma  $\gamma$ .

## I. 3. Rappel sur les rayonnements ionisants

### I. 3. 1. Définition

Un rayonnement ionisant est un rayonnement électromagnétique ou corpusculaire capable de produire directement ou indirectement des ions (une ionisation, consiste à créer des atomes ou des molécules de charge électronique positive ou négative) lors de son passage à travers la matière. Ces rayonnements ionisants peuvent être produits par la radioactivité d'atomes tels que l'uranium ou le plutonium. Ils ont des applications dans les domaines de la défense, la santé, de la production d'électricité, etc. Pour les organismes vivants, les rayonnements ionisants sont nocifs, et même mortels en cas de dose élevée. Les rayons ionisants sont de natures et de sources variées, leurs propriétés dépendent de la nature des particules constitutives du rayonnement et de leur énergie.

L'activité qui mesure la quantité de radionucléide présente est exprimée dans une unité appelée le becquerel (Bq): Un becquerel correspond à une désintégration par seconde. La demi-vie est le temps nécessaire pour que l'activité d'un radionucléide diminue de moitié par rapport à sa valeur initiale. C'est aussi le temps requis pour que la moitié des atomes qu'il contient se désintègre. La demi-vie peut varier d'une simple fraction de seconde à des millions d'années (l'iode-131 par exemple a une demi-vie de 8 jours, tandis que le carbone-14 a une demi-vie de 5730 ans) [14].

**a. Rayonnement ionisant:** Les rayonnements ionisants sont relatifs à la pollution, ces radiations ont une énergie suffisante pour troubler l'édifice de l'atome et de la molécule. Ils se composent en: Particules et des ondes électromagnétique qui peuvent être produites a partir d'atomes instables et par des dispositifs à haute tension, les particules sont des électrons, protons, neutrons et les particules alpha, selon le type de structure de l'atome. Les rayonnements électromagnétiques de ce type ont assez d'énergie pour rompre les liaisons chimique. Les formes les plus courantes de rayonnement ionisant sont des particules alpha, particule bêta et gamma.

**b. Rayonnement non-ionisant:** Le rayonnement non ionisant se réfère à tout type de rayonnement électromagnétique qui ne porte pas suffisamment d'énergie pour ioniser la matière, c-à-d: Enlever d'un atome ou d'une molécule. La composition de ce type de rayonnement dépend de ce que c'est la lumière visible, le proche ultraviolet, infrarouge et les ondes radio qui sont tout exemple de rayonnement non ionisant [15].

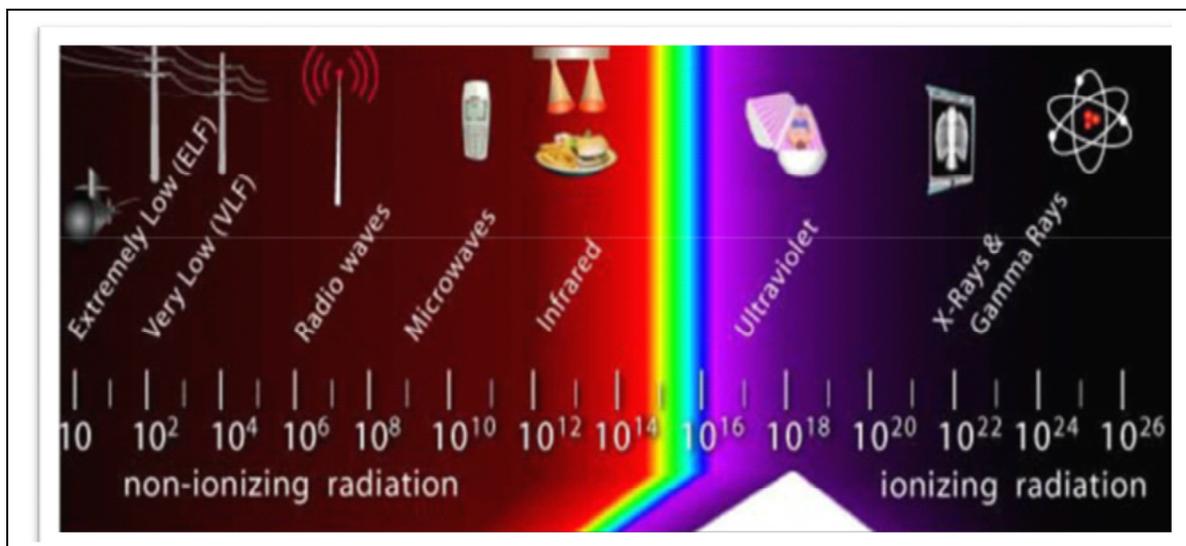


Figure 8. Rayonnements ionisants et non ionisants.

### I. 3. 2. Types de rayonnements ionisants

Dans la pratique on distingue les rayonnements directement et indirectement ionisants.

➤ **Les rayonnements directement ionisants:** Sont formés des particules chargées. Ce sont les rayonnements:

- Alpha ( $\alpha$ ) formé de noyaux d'hélium  ${}^4_2\text{H}$
- Bêta ( $\beta$ ) formé d'électrons  $\beta^-$  ou de positons  $\beta^+$
- Protonique (p) formé de proton

Une particule chargée est entourée d'un champ électrique qui, en interagissant avec les électrons des atomes constituant le milieu traversé, la freine. L'énergie alors communiquée à un électron peut être suffisante pour l'éjecter de sa position. L'atome ayant perdu un électron devient un ion (noyau chargé). Cet ion et l'électron libre constituent une paire d'ions.

➤ **Les rayonnements indirectement ionisants:** Sont formé de particules non chargées et de rayonnements électromagnétiques. Ce sont les rayonnements:

- Neutronique (n) formé de neutron
- Gamma ( $\gamma$ ) ou X constitués de photons

Les particules d'un rayonnement sont ou à absorbées dans le milieu matériel qu'elles traversent. La longueur moyenne de ce parcours dépend :

1. De la nature de la particule ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , p, n)
2. De son énergie (de quelques eV à plusieurs MeV)
3. De la nature du milieu traversé (nombre de masse A, nombre atomique Z, densité) [16].

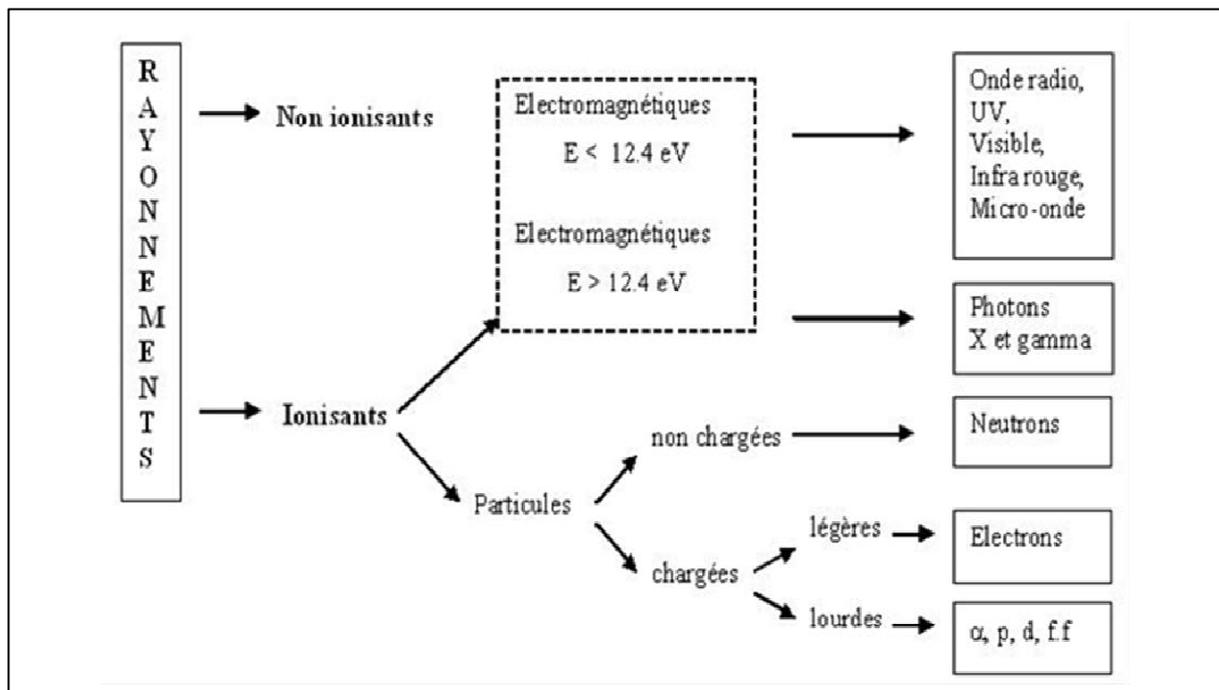


Figure 9. Classification des rayonnements [17].

## *Chapitre II*

*La limite d'exposition naturelle  
et artificielle du public selon les  
Recommandations  
Internationale de Protection  
Radiologique CIRP*

## **II. 1. Normes de radioprotection**

Créée en 1928, la commission internationale de protection radiologique(CIPR), organisation non gouvernementale, a pour but d'étudier les risques des rayonnements et de proposer des recommandations permettant de s'en protéger au mieux.

D'autres organismes étudient les effets des rayonnements et publient des études et recommandations. Il s'agit de: NSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiations), IAEA (International Atomic Energy), ICRU (International Commission on Radiation Units and measurements) [16].

## **II. 2. Historique de la commission**

La commission internationale de protection radiologique, ci-après nommée « la commission » a été créée en 1928 par le congrès international de radiologie, sous le nom de comité international de protection contre les rayons x et le radium (IXRPC), à la suite d'une décision du deuxième congrès internationale radiologie. En 1950, elle a été restructurée et rebaptisée de son nom actuel.

La commission est une association caritative indépendante, c'est-à-dire une organisation à but non lucratif. La commission travaille en étroite collaboration avec son organisation sœur, la commission internationale des unités de rayonnements et des mesures (ICRU), et a des relations officielles avec le comité scientifique des nations unies pour l'étude des effets rayonnements ionisants(UNSCEAR), l'organisation mondiale de la santé (OMS) et l'agence internationale de l'énergie atomique (AIEA). Elle a également des relations importantes avec l'organisation internationale du travail(OIT), le programme des nations unies pour l'environnement (UNEP) et d'autres organismes des nations unies. Elle collabore également avec d'autres organismes tels que la commission des communautés européennes (CE), l'agence pour nucléaire de l'organisation de coopération et de développement économiques (APNOCDE), l'organisation internationale de normalisation (OIN) et la commission électrotechnique internationale(ICE). La commission maintient également un contact avec la communauté radiologique professionnelle par ses rapports étroits avec l'Association internationale de radioprotection(IRPA). La commission prend également en compte les avancées par les organisations nationales [18].

## **II. 3. Les recommandations de la CIRP**

### ***II. 3. 1. La commission internationale de protection radiologique CIRP***

La CIRP est une organisation composée d'experts en radioprotection, et elle étend son domaine de compétence à toutes les utilisations de la radioactivité et des rayonnements ionisants. Au fil des années, elle a synthétisé des dizaines de publications sur des thématiques spécifiques ; elle met à jour des recommandations pratiques de radioprotection qui résultent de la réévaluation des risques associés à l'exposition aux rayonnements ionisants, et de la recherche de l'acceptabilité de ces risques. Elle s'appuie sur différents travaux scientifiques réalisés par grandes organisations internationales comme l'agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), l'organisation mondiale de la santé (OMS), ou le comité scientifique des nations unies sur les effets des radiations atomiques (UNSCEAR), afin d'établir des recommandations sur la radioprotection [19].

### ***II. 3. 2. Les publications de la CIRP***

Il existe plusieurs publications de la CIRP (publication 59, publication 60, publication 103). Dans mon travail on a choisi à expliquer la 60<sup>ème</sup> publication de la CIRP.

- ***La 60<sup>ème</sup> publication de la CIRP***

Les recommandations de 1991 formulées dans la 60<sup>ème</sup> publication de la CIRP sont la base de la réglementation française actuelle : «L'objectif premier de la protection radiologique est d'assurer un niveau de protection adéquat à l'homme, sans pénaliser indûment des pratiques bénéfiques qui entraînent une exposition aux rayonnements » pour la CIRP, la radioprotection doit agir à deux niveaux, d'une part exclure les effets déterministes et d'autre part limiter le risque de survenue d'effets stochastiques que l'on discutera dans le 3<sup>ème</sup> chapitre. Pour décrire les effets stochastiques qui apparaissent à faibles doses, la CIRP a fait le choix d'une relation linéaire sans seuil ce qui comme conséquence: Toute dose est dangereuse et le risque est proportionnel à la dose [20].

## **II. 4. Objectif des recommandations**

L'exposition aux rayonnements fait partie des risques de la vie humaine, mais il faut réduire ce risque à un niveau tolérable. Comme il n'y a pas un critère absolu d'acceptabilité, on a estimé que les activités liées à l'utilisation des rayonnements ionisants ne devaient pas présenter un niveau de risque supérieur à celui accepté dans d'autres activités humaines. Pour les travailleurs, la comparaison est effectuée avec les industries les plus sûres (chaussure, vêtement) où le taux de décès de 1 pour 10000 correspond à une exposition annuelle de 50 mSv. Pour la population, on prend comme référence, un niveau de risque couramment accepté dans la vie quotidienne [21].

## **II. 5. Le système de protection radiologique**

### *II. 5. 1. Les trois principes des recommandations*

Les trois principes sont à la base des recommandations de la CIPR:

- La Justification des pratiques
- L'optimisation de la protection
- La limitation de l'exposition

*a. La Justification des pratiques:* Le risque encouru doit être justifié par le but visé (guérison en radiothérapie, production de combustible dans les mines d'uranium...) et donc ne pas apparaître comme inutile (jouet contenant des substances radioactives, paratonnerres utilisant de l'américium).

Par exemple la construction de centrales nucléaires est justifiée par plusieurs raisons:

- Production de grandes quantités d'énergie électrique dont le monde moderne est gros consommateur.
- Indépendance énergétique (le combustible, s'il n'est pas produit dans le pays, a un faible poids dans le coût du kWh).
- Limitation des rejets de gaz à effets de serre...

La dernière raison justifie à elle seule l'intensification de la production d'électricité d'origine nucléaire [16].

**b. L'optimisation de la protection:** L'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant d'une activité nucléaire ou d'une intervention doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des techniques, des facteurs économiques et sociaux et le cas échéant, de l'objectif médical recherché.

ce principe, connu sous le nom de principe ALARA, conduit par exemple à dans les autorisations de rejets, les quantités de radionucléides présents dans les effluents radioactifs issus des installations nucléaires, à imposer une surveillance des expositions au niveau des postes de travail dans le but de les réduire au strict nécessaire, ou encore à veiller à ce que les expositions médicale résultant d'actes diagnostique restent proches de niveaux de référence préalablement établis[22].

**c. La limitation de l'exposition:** Ce principe permet une protection de l'individu. En effet, un individu peut être soumis à plusieurs types d'expositions et il convient de s'assurer que son exposition totale reste à un seuil « acceptable ». Les niveaux de doses ont été définis de telles sortes que les effets déterministes soient évités et que le risque d'effets stochastiques soit limité à un niveau acceptable. On vise une probabilité de dommage inférieure à 1 mort sur 10000 par an. La CIRP recommande que la limite de dose pour les professionnels soit établie telle que la dose totale reçue pour toute la durée de sa vie ne dépasse pas 1 Sv. Elle recommande aux travailleurs une limite de 20mSv par an, moyennée dans souci de flexibilité sur 5 années consécutives (100mSv en 5 ans). Pour le public, la dose recommande est de 1mSv pat an. D'autres limites concernent des organes particuliers [23].

### **II. 5. 2. Champ des recommandations**

Le système de protection radiologique de la commission s'applique à toutes les expositions aux rayonnements en provenance d'une source, indépendamment de la taille et de l'origine de cette dernière. Le terme rayonnement est utilisé pour signifier le rayonnement ionisant. La commission utilisé l'expression exposition aux rayonnements(ou exposition) dans un sens générique pour signifier le processus consistant à être exposé aux rayonnements ou à des radionucléides, l'importance de l'exposition étant déterminée par la dose de rayonnement qui et non nécessairement une source physique de rayonnement. En général, pour l'application des recommandations, une source est une entité pour laquelle la protection radiologique peut être optimisée dans son ensemble.

La commission s'est fixé pour but de rendre ses recommandations applicables de manière la plus large et cohérente possible. En particulier, les recommandations de la commission couvrent à la fois les expositions à des sources naturelles et celles à des sources artificielles. Les recommandations ne peuvent s'appliquer dans leur totalité qu'aux situations dans lesquelles la source d'exposition ou les voies conduisant aux doses reçues par les individus peuvent être contrôlées par un moyen raisonnable. Dans ces situations, les sources sont appelées sources contrôlables [18].

## II. 6. Les limites d'exposition

D'après les recommandations de la CIPR, en limitant à 500mSv l'exposition « annuelle » d'un tissu ou organe on se prémunit contre l'apparition de tout effet déterministe exception faite de la cataracte, le cristallin étant un organe plus radiosensible. La limite de 100mSv sur 5 ans associée à la recommandation de « maintenir l'exposition au plus bas niveau raisonnablement possible » vise à réduire l'apparition des effets stochastiques à un niveau socialement acceptable. Dans le cas d'une exposition pour les travailleurs, la réglementation française a fixé pour une durée de 12 mois consécutifs les limites suivantes:

Exposition globale	Organisme entier	$E_{12} = 20\text{mSv}$
Exposition partielle	Peau	$H_{12} = 500 \text{ mSv}$
	Extrémités (mains, pieds,...)	$H_{12} = 500 \text{ mSv}$
	Cristallin	$H_{12} = 150 \text{ mSv}$

**Tableau 4.** Limites d'exposition ( $E_{12} = 20 \text{ mSv}$ ) dans les 12 mois en France [24].

Le cristallin étant plus radiosensible, il y a une limite plus faible. L'ensemble de ces limites s'applique indifféremment aux travailleurs exposés des deux sexes âgés de plus de 18 ans. En ce qui concerne les femmes enceintes, l'exposition reçue par l'abdomen entre la déclaration de grossesse et l'accouchement devra être aussi réduite que possible et dans tous les cas rester inférieure à 1mSv.

Une exposition globale est rarement homogène à l'intérieur de l'organisme. La dose absorbée par les tissus varie en fonction de la profondeur.

Afin de simplifier la surveillance dosimétrique externe on a choisi des profondeurs de référence correspondant à l'épaisseur de tissus sous laquelle la valeur prise par la dose absorbée dans le tissu ou l'organe considérées est maximale. Ces valeurs sont les suivantes :

-Profondeur : 10 mm

- Cristallin : 3 mm

-Peau : 7  $\mu$ m

Ainsi, sous réserve du bon choix et du étalonnage des dosimètre utilisés la mesure des valeurs des « indices de doses » aux profondeurs de référence indiquées ci-dessus garantissent que les expositions réellement subies par l'organisme entier « en profondeur » par le cristallin et par la peau sont inférieures ou égale à la limite égales à ces valeurs. Actuellement certains dosimètres effectuent une mesure de l'indice de dose en profondeur en prenant pour référence le cristallin.

Dans le cas d'une exposition pour le public, la réglementation française a fixé pour une durée de 12 mois consécutifs les limites suivantes:

<b>Exposition globale</b>	<b>Organisme entier</b>	<b><math>E_{12} = 1</math> mSv</b>
Exposition partielle	Peau	$H_{12} = 50$ mSv
	Extrémités (mains, pieds,..)	$H_{12} = 50$ mSv
	Cristallin	$H_{12} = 15$ mSv

**Tableau 5.** *Limites d'exposition ( $E_{12} = 1$  mSv) dans les 12 mois en France.*

En ce qui concerne l'exposition interne les calculs peuvent s'avérer complexes [24].

En conclusion ;

- Dans ses nouvelles recommandations, la CIPR a réaffirmé les principes à la base du système de radioprotection : Justification, optimisation et limitation.
- Elle a clarifié la terminologie et la définition des normes, revenant à des définitions plus naturelles comme la dose équivalente et la dose efficace.
- Elle a actualisé les facteurs de pondération des rayonnements  $W_R$  aggravant d'environ un facteur 2 la nocivité des neutrons.
- Les facteurs de pondération tissulaires  $W_T$  ont été modifiés, prenant en compte l'apparition de nouveaux cancers parmi la population des survivants des bombardements d'Hiroshima et Nagasaki, et la diminution de la probabilité

d'apparition d'effets héréditaires. Se basant notamment sur les travaux de l'UNSCEAR ou du comité américain BEIR.

- la Commission a proposé d'abaisser les limites de doses, aussi bien pour les travailleurs que pour le public.
- la Commission devient un instrument d'incitation à l'amélioration de la radioprotection dans les ateliers où l'exposition découle de l'incorporation par inhalation de radionucléides. Les doses aux populations sont calculées pour différentes tranches d'âge, du nourrisson à l'adulte.

On peut affirmer que, moderniser, le nouveau système de protection est à la fois plus rigoureux et plus souple [25].

## *Chapitre III*

*Effets sur l'organisme des  
rayonnements ionisants (effets  
stochastiques et effets  
déterministes)*

### III. 1. Introduction

Dans ce chapitre, nous décrivons les effets des rayonnements ionisants sur l'organisme. Ces effets dépendent de divers facteurs liés à la dose, aux caractéristiques du rayonnement (type, énergie) et au type cellulaire, au tissu ou système vivant (susceptibilité individuelle) qui sont irradiés. Il faut par ailleurs distinguer entre les effets déterministes (précoces et qui n'existent que pour des doses fortes) et les effets stochastiques (surtout liés au problème des faibles doses).

### III. 2. Les grandeurs utilisées en radioprotection

Pour les besoins de la radioprotection, différentes grandeurs de dose ont été définies : Dose absorbée, dose équivalente et dose efficace. La figure 10 présente un aperçu du lien entre la dose efficace, la dose équivalente et la dose absorbée, le tableau 6 présente les grandeurs et unités utilisées en radioprotection.



**Figure 10.** Lien entre la dose efficace, la dose équivalente et la dose absorbée [26].

Grandeur	Définition	Unité	Ancienne unité
Activité A	Nombre de transition par seconde	Becquerel (Bq)	Curie (Ci) : $1 \text{ Bq} = 27.10^{-12} \text{ Ci}$
Dose absorbée (D)	Energie absorbée par unité de masse de matière irradiée	Gray (Gy)	Rad : $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$
Dose équivalente ( $H_T$ )	$H_T = D \cdot W_R$ $W_R =$ facteur de pondération pour les rayonnements	Sievert (Sv)	Rem : $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$
Dose efficace (E)	$E = \sum H_T \cdot W_T$ $W_T =$ facteur de pondération tissulaire	Sievert (Sv)	Rem : $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$

**Tableau 6.** Grandeurs et unités utilisées en radioprotection.

### **III. 2. 1. Dose absorbée (D)**

C'est la quantité d'énergie communiquée par le rayonnement à la matière traversée par unité de masse. Elle se mesure en Gray (Gy) au moyen d'un dosimètre. 1 Gy correspond à la dose absorbée par une masse de 1 kg à laquelle les rayonnements communiquent une énergie de 1 J.

$$1 \text{ gray} = 1 \text{ joule par kg} \quad (1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}) \quad (9)$$

Dans les milieux biologiques, une dose égale déposée par différents types de radiations n'aura pas le même effet biologique. Un Gray déposé par des particules alpha produit plus de dégâts qu'un Gray déposé par des photons X. La différence provient notamment de la géométrie du dépôt d'énergie à l'échelle microscopique [27].

### **III. 2. 2. Dose équivalente ( $H_T$ )**

Elle permet de quantifier les différents effets biologiques en tenant compte de la nature du rayonnement. Cette dose équivalente n'est pas une quantité physique mesurable directement. On l'obtient par calcul, en multipliant la dose absorbée  $D_{T, R}$  par un coefficient, appelé facteur de pondération noté  $W_R$ . Elle est définie par la formule suivante:

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R} \quad (10)$$

Facteur de pondération noté  $W_R$  il varie de 1 à 20 selon le type de rayonnement, par exemple, il vaut 1 pour les rayonnements X,  $\gamma$  et  $\beta$  et il vaut 20 pour les rayonnements  $\alpha$  (voir tableau 7). Elle s'exprime en sievert.

Type de rayonnement	$W_R$
Rayons X et $\gamma$	1
Particules $\beta$	1
Particules $\alpha$	20
Neutrons	5 à 20 selon énergie

**Tableau 7.** Facteurs de pondération pour les rayonnements ionisants  $W_R$ .

### III. 2. 3. Dose efficace (E)

La dose efficace  $E_{eff}$ , exprimée aussi en sievert, prend en compte les effets à long terme suivant la nature des tissus et des organes. En fait, elle représente la somme des doses équivalentes déposées dans les organes et tissus irradiés pondérées par facteur de pondération tissulaire  $W_T$  qui dépend des effets stochastiques tardifs :

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T = \sum_T W_T \cdot \sum_R W_R \cdot D_{T,R} \quad (11)$$

Le tableau 8 ci-dessous donne les valeurs de  $W_T$  pour les tissus et organes :

<b>Tissu ou organe</b>	<b><math>W_T</math></b>
Gonades	0,20
Moelle osseuse	0.12
Colon	0.12
Poumons	0.12
Estomac	0.12
Vessie	0.05
Seins	0.05
Foie	0.05
Œsophage	0.05
Thyroïde	0.05
Peau	0.01
Surface des os	0.01
Autres	0.05
TOTAL	1.00

**Tableau 8.** Facteurs de pondération pour les tissus  $W_T$  [28].

### **III. 3. L'exposition naturelle et artificielle aux rayonnements ionisants**

Les rayonnements ionisants font partie naturellement de l'environnement de l'Homme (58%), qu'ils soient d'origine cosmique ou tellurique.

➤ L'exposition aux rayonnements ionisants peut également être d'origine artificielle (42%) notamment au travers de certaines pratiques de soins actuelles (scanner, radiothérapie), d'expositions professionnelles (travailleurs du cycle du nucléaire) ou d'expositions accidentelles (Tchernobyl, Fukushima).

La quantification de leur impact sur la santé est un sujet majeur de recherche depuis de nombreuses années. Le tableau suivant présente l'exposition humaine à la radioactivité naturelle et artificielle selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en mSv par personne et par an [29].

Nature de la source	Exposition humaine à la radioactivité selon l'OMS : mSv par personne et par an	Radioactivité naturelle en %	Radioactivité artificielle en %
Radon.	1,3	42%	
Irradiation d'origine médicale (Radiographies, scanners, radiothérapies...)	0,6		20%
Éléments absorbés par alimentation (essentiellement du potassium 40 contenu naturellement dans les aliments)	0,5	16%	
Rayonnement cosmique	0,4	13%	
Rayonnement interne	0,2	6%	
Autres origines artificielles, sauf énergie nucléaire civile (industries minières diverses, retombées atmosphériques des essais militaires, instruments de mesure, certains procédés industriels tels la radiographie de soudures...)	0,1		3%
Energie nucléaire civile	0,01		0,3%
<b>Total</b>	<b>3,1</b>	<b>77%</b>	<b>23%</b>

**Tableau 9. Exposition humaine à la radioactivité naturelle et artificielle [30]**

### III. 4. Différents types d'exposition

L'Homme peut être exposé de deux façons aux rayonnements ionisants.

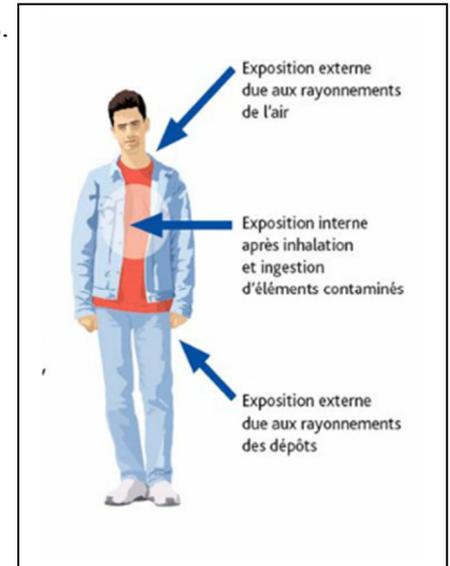
#### *a. L'exposition externe:*

La source d'émission des rayonnements est située à l'extérieure de l'organisme.

#### *b. L'exposition interne:*

La source d'émission des rayonnements est située à l'intérieure de l'organisme.

L'exposition interne est synonyme de contamination car elle est due à l'incorporation dans l'organisme de radio-isotopes autres que ceux nombreux présents (potassium-40, carbone-14, rubidium-87, tritium) [29].

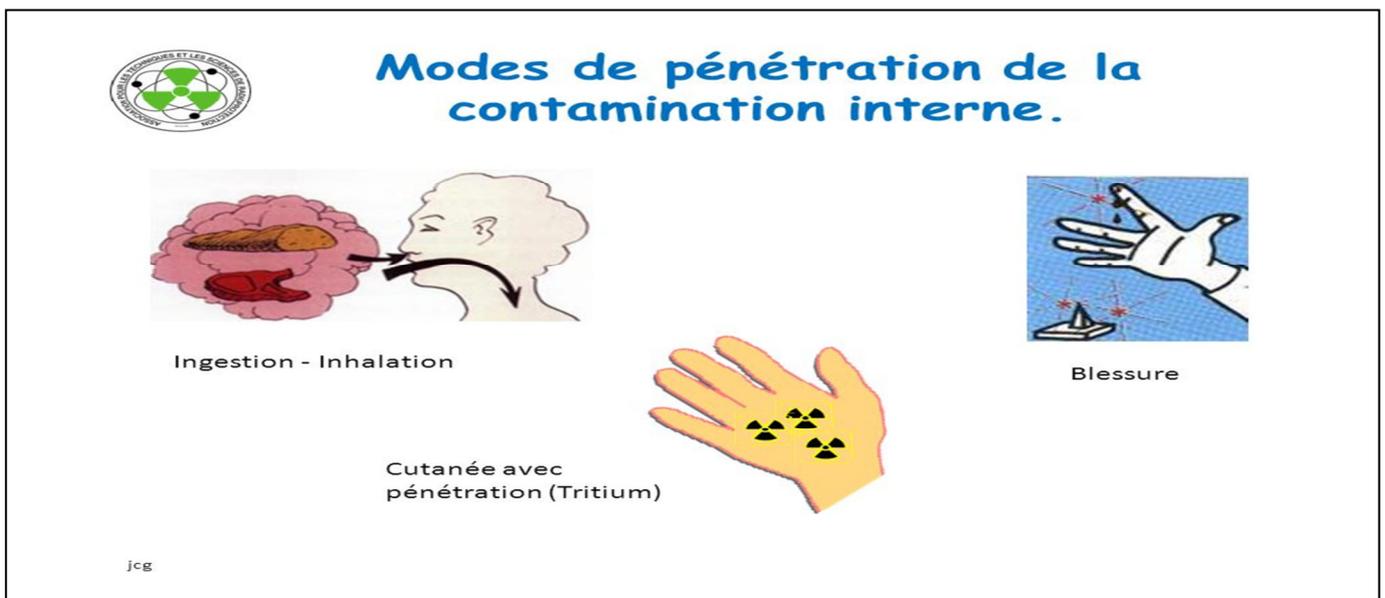


*Figure 11. Différents types d'exposition.*

### III. 4. 1. Contamination

#### III. 4. 1. 1. Définition

La contamination radioactive est le phénomène se produisant quand un produit radioactif se dépose sur un objet ou un être, ou bien est ingéré ou inhalé par un être. La contamination se distingue de l'irradiation, événement au cours duquel l'objet ou l'être est soumis à un rayonnement ionisant [31].



*Figure 12. Modes de pénétration de la contamination.*

### **III. 4. 1. 2. Types de la contamination**

**a. Contamination externe :** La substance radioactive est en contact direct avec la personne par dépôt sur la peau, sur les cheveux et sur les vêtements. Elle peut largement être éliminée grâce à une douche et un changement des vêtements.

**b. Contamination interne:** Résulte d'une incorporation des substances radioactives. Le radionucléide pénètre à l'intérieur de l'organisme le plus souvent par ingestion ou par inhalation, mais également par une blessure cutanée. Ces substances se fixent sur les tissus ou organes et continuent d'irradier ces derniers. La contamination interne décroît en fonction de la période radioactive du radionucléide incorporé et d'une élimination biologique (par exemple avec l'urine). Dans certains cas, un traitement médical peut accélérer l'élimination des substances radioactives [32].

### **III. 4. 2. Irradiation**

#### **III. 4. 2.1. Définition**

Une irradiation désigne l'exposition d'un corps, d'une substance ou d'un organisme à des rayonnements ionisants. Elle se produit lorsque les substances radioactives qui se trouvent à l'extérieur de l'organisme irradient à distance sans contact direct et physique entre le corps et la substance radioactive. Dès que la personne se déplace en dehors du champ de rayonnement, l'exposition s'arrête. Ainsi, il est donc possible de se protéger contre une source de rayonnement en limitant le temps de la durée d'exposition, en contrôlant la distance à la source et en utilisant des écrans de protection (comme par exemple les murs des habitations dans le cadre la mise à l'abri. La personne irradiée ne devient pas radioactive elle-même.

La principale source d'irradiation est naturelle (principalement en provenance du radon) et s'exprime dans des unités spécifiques (Becquerel, Sievert, Gray) [33].

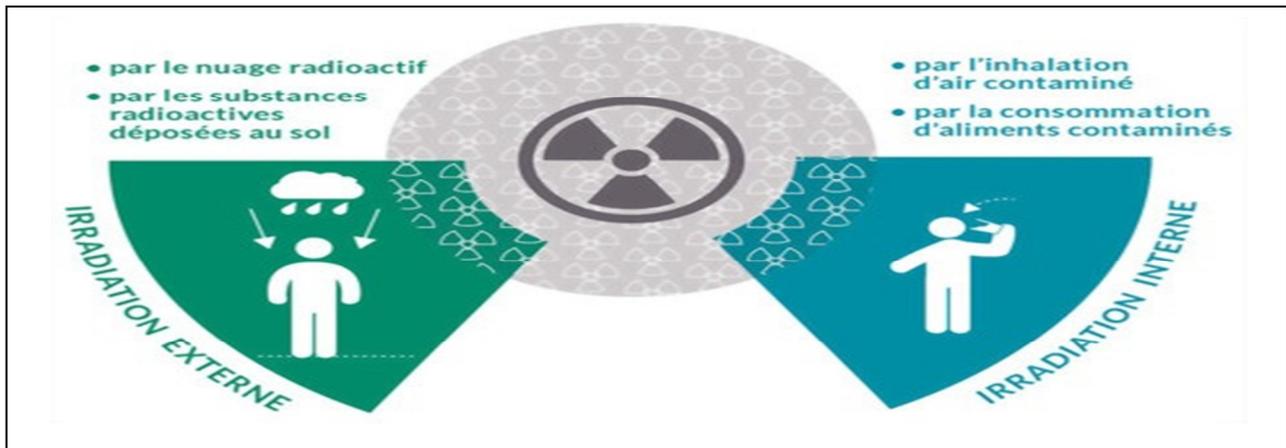


Figure 13. Irradiation externe et irradiation interne.

### III. 4. 2. 2. Types de l'irradiation

**a. Irradiation externe :** Lorsque l'irradiation de l'organisme est due à une source située à l'extérieur du corps, on parle d'irradiation externe. Ce risque existe lors de travaux avec des radiations relativement pénétrantes:  $\beta$ , X,  $\gamma$ , neutrons. L'irradiation externe peut être partielle ou totale (irradiation du corps entier). Les risques encourus sont liés à la partie du corps exposé à la radiation: Gonades-effets génétiques, moelle osseuse active-leucémie, tronc - cancer du sein et du poumon.

**b. Irradiation interne :** Les substances radioactives introduites dans l'organisme produisent une irradiation interne. L'effet de cette irradiation est lié à la répartition de la substance dans l'organisme. En cas d'irradiation interne, les radiations très peu pénétrantes, telles que la radiation  $\alpha$ , sont également dangereuses, et ceci d'autant plus que leur efficacité biologique est en général élevée [34].

### III. 4. 3. La différence entre contamination et irradiation

La contamination est provoquée par des particules radioactives déposées sur la peau ou qui sont ingérées ou inhalées. Ces particules sont comparables à de la poussière qui se dépose. La contamination peut être interne ou externe suivant qu'elle pénètre ou non dans le corps humain. L'irradiation est provoquée par un rayonnement émis par la matière radioactive. Elle peut être comparée aux rayons du soleil [35].

### III. 5. Effets biologiques des rayonnements ionisants

Les rayonnements ionisants agissent en transférant de l'énergie à la matière vivante. Leurs effets biologiques et leurs effets sur les êtres vivants sont le résultat de l'enchaînement de phénomènes élémentaires. La figure (14) résume l'ensemble des effets biologiques des rayonnements ionisants : Effets physiques, chimiques, moléculaires, cellulaires et tissulaires [36].

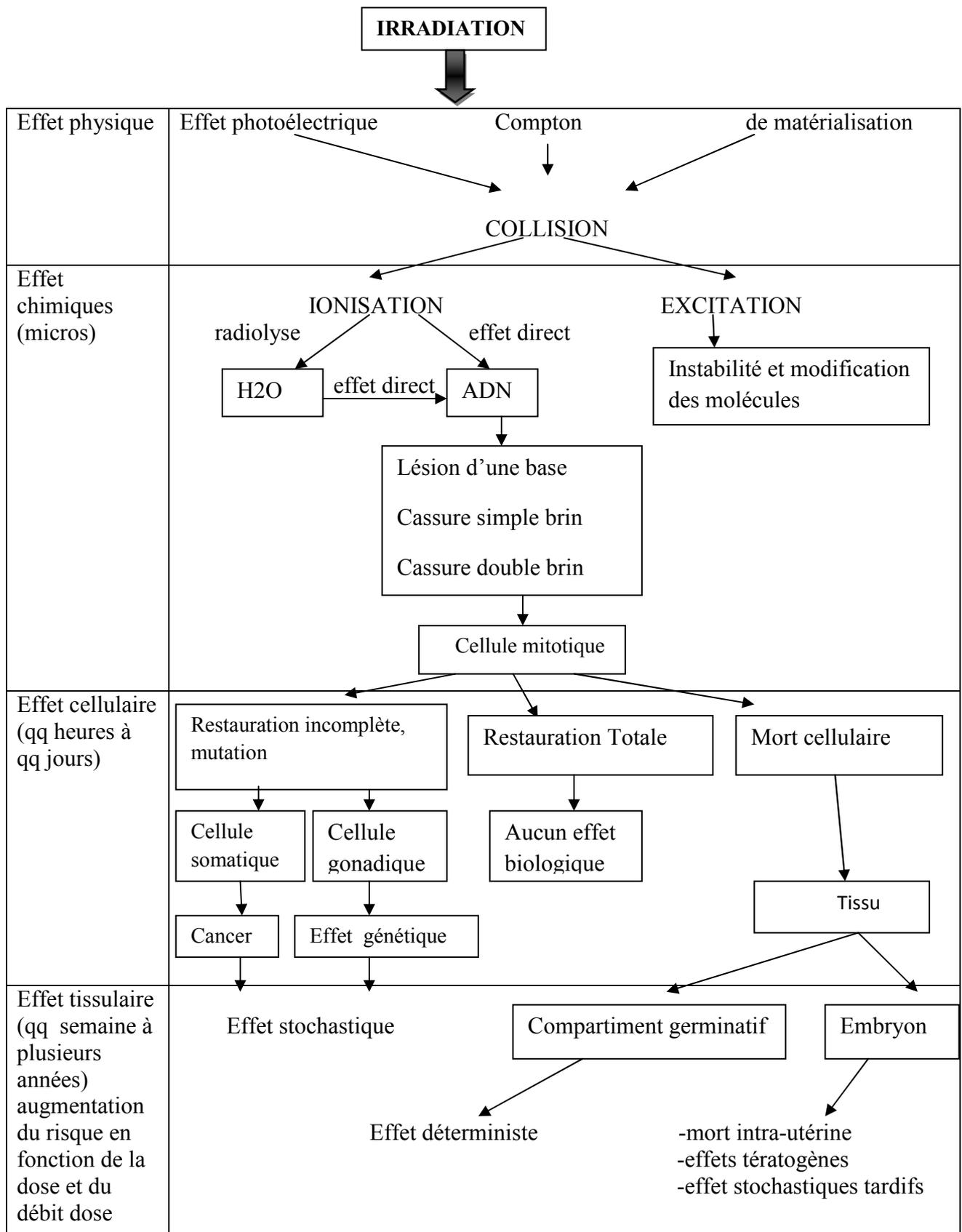


Figure 14. Effet biologique des rayonnements ionisants.

### *III. 5. 1. Effets des rayonnements ionisants sur l'organisme*

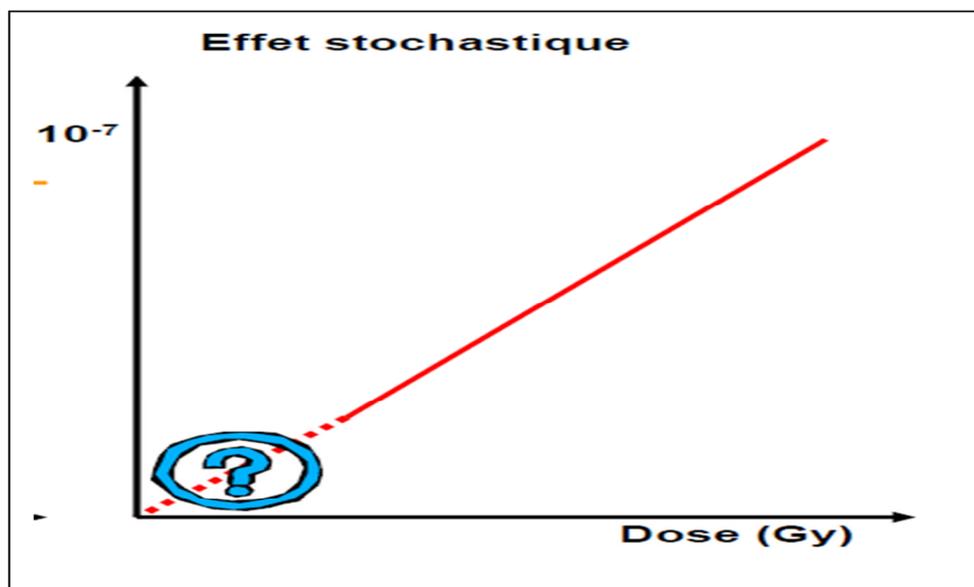
Les risques liés à l'irradiation sont de deux ordres : Un risque aléatoire ou stochastique et un risque direct ou déterministe. On considère que le risque aléatoire peut survenir après toute irradiation même s'il n'est démontré que pour les fortes doses. Une fois apparu, sa gravité est indépendante de l'irradiation initiale. La probabilité d'apparition d'effets néfastes pour l'individu ou pour sa descendance est fonction de l'intensité de l'irradiation selon une relation linéaire. Le risque direct (déterministe) est du à l'effet physique de l'irradiation. Il apparaît toujours au-delà d'une certaine dose mais sa gravité augmente avec la dose reçue [37].

#### *III. 5. 1. 1. Effet Stochastique (Aléatoire)*

##### *a. Définition*

Sont les conséquences probabilistes à long terme de la transformation d'une cellule. Ils résultent de lésions mal réparées des molécules d'ADN.

Ils n'ont pas de seuil de dose, sont aléatoire (ils n'apparaissent pas chez tous les individus) et ont une gravité apparemment indépendante de la dose reçue (voir figure 15).



*Figure 15. Effet stochastique en fonction de la dose.*

**b. Les caractéristiques des effets stochastiques**

Les caractéristiques de ces effets sont les suivants :

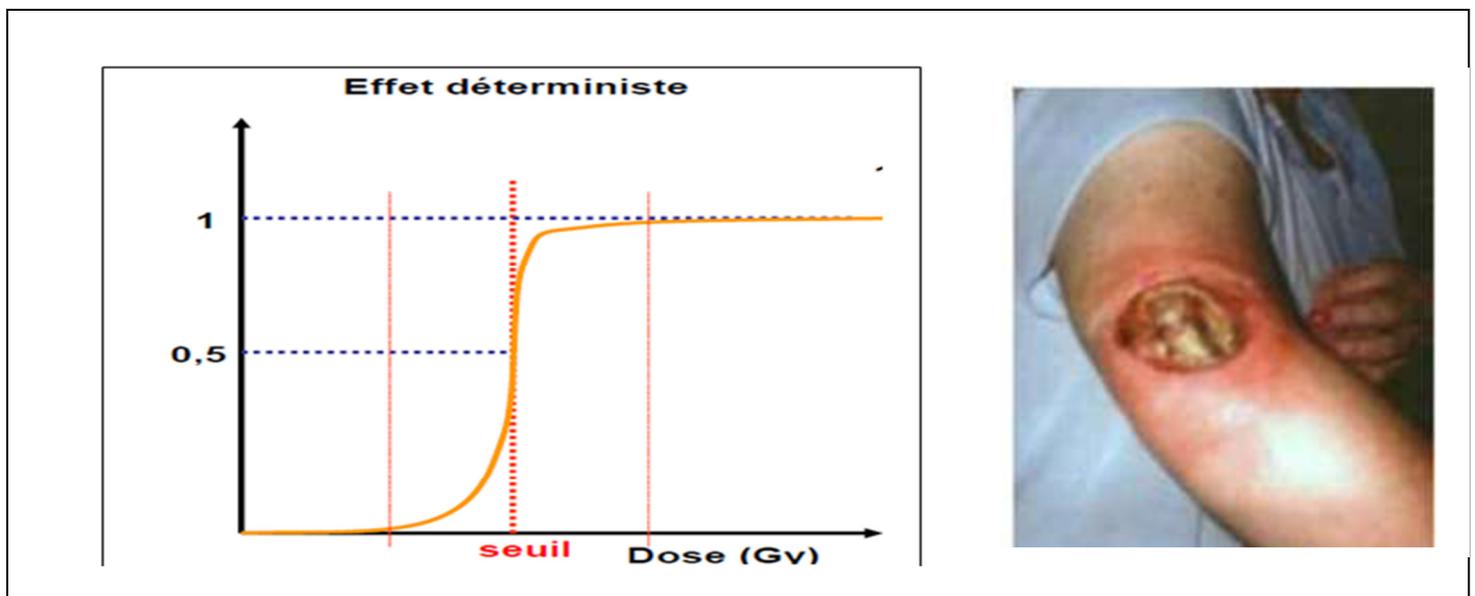
- Ils concernent les doses faibles ou moyennes reçues en plusieurs fois
- Le délai d'apparition des effets peut être très long : jusqu'à quelques dizaines d'années
- Il n'y a pas de seuil d'apparition des effets
- La relation dose-effet est mal connue : la probabilité croît avec la dose, mais non la gravité
- Dans un groupe d'individus, seuls quelques-uns sont concernés

Ces types d'effets existent dans la nature [21].

**III. 5. 1. 2. Effet Déterministe (Direct)**

**a. Définition**

Les effets déterministes sont ceux que l'on observe au-delà d'un seuil d'irradiation (voir figure 16). Ils sont appelés déterministes car ils se manifestent toujours. Ils sont précoces (ils se manifestent de quelques heures à un mois après l'exposition), d'autant plus graves que la dose est importante, clairement décrits du point de vue symptomatique.



**Figure 16.** Effet déterministe en fonction de la dose.

### **Chapitre III : Effets sur l'organisme des rayonnements ionisants (effets stochastiques et effets déterministes)**

Les effets déterministes qui sont des effets somatiques à court terme, sont la conséquence de doses élevées de rayonnement (accident ou traitement médical). Ils résultent d'une trop grande perte de cellules dans un tissu, causant sa mort. La gravité des effets déterministes augmente avec la dose, à partir d'un certain seuil. Exemples d'effets : Erythèmes, vomissements, perte des cheveux [38]. Le tableau 10 qui suit présente les effets déterministes observés dans quelques organes de l'organisme selon les doses reçues.

<b>Organe ou structure</b>	<b>Dose</b>
Chromosomes : Aberrations peuvent être l'indice d'un effet à venir	0.2 Sv
Moelle osseuse : Déplétion des cellules sanguines	1-3 Sv
Ovaires ou testicules : stérilisation	2-6 Sv
Corps entier : Dose létale (LD <sub>50/60</sub> )	3 à 5 Gy
Peau : Erythème ou dépilation	5 Sv
Peau : Desquamation	20 Sv
CNS : Troubles chez les enfants	10 Sv
Reins : Défaillance	25 Sv
Cœur : Péricardite	40 Sv
Thyroïde, hypophyse : Défaillance	45 Sv

**Tableau 10.** Effets déterministes observés selon les doses reçues.

#### ***b. Les caractéristiques des effets déterministes***

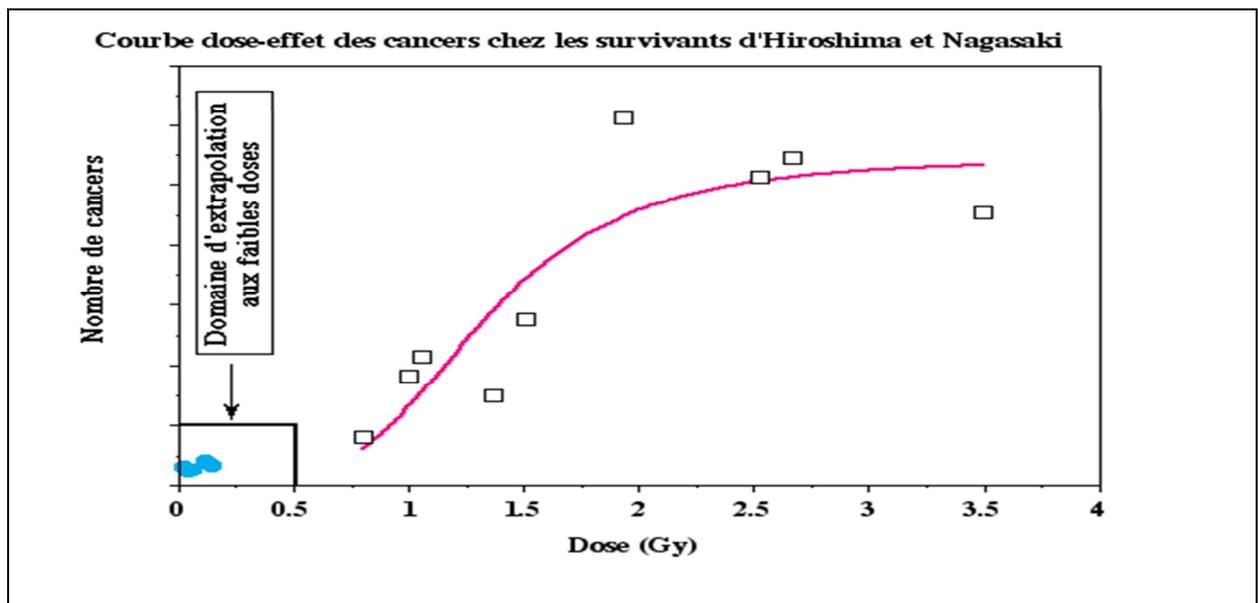
Les caractéristiques de ces effets déterministes sont les suivantes :

- Ils concernent des doses élevées reçues en une fois
- L'apparition est précoce : de quelques heures à quelques semaines
- Il y a un seuil à partir duquel ces effets apparaissent
- La gravité augmente avec la dose
- Tous les individus exposés sont atteints [21].

L'exemple le plus connu de données épidémiologiques mettant en évidence l'apparition de cancers radio-induits est celui du suivi des survivants des bombardements atomiques de Hiroshima et Nagasaki. En effet, le 6 août 1945 la première bombe atomique a explosé à 580 mètres au-dessus d'Hiroshima tuant immédiatement 45000 personnes, 15000 dans les 3 premières semaines et 60000 au cours de la première année. Lors l'explosion de Nagasaki, 31000 personnes sont décédées immédiatement, 32000 dans les 3 premières semaines et 17000 dans l'année qui suivit. Suite à ces deux événements, diverses études ont été mises en place pour évaluer l'effet des rayonnements [39].

Etude	Nombre de sujets	Nombre de cancer observé	Nombre de cancer attendu
Incidence des tumeurs solides	79972	8613	8103
Mortalité par tumeurs solides	86309	6887	6581
Incidence de la leucémie	86271	231	156

**Tableau 11.** Incidence et mortalité par cancer chez les survivants des bombardements atomiques d'Hiroshima et Nagasaki (d'après données épidémiologiques de l'UNSCEAR 1994).



**Figure 17.** Courbe doses-effet des cancers chez les survivants d'Hiroshima et Nagasaki.

*III. 5. 1. 3. Comparaison entre les effets déterministes et stochastiques*

<b>Effets déterministes</b>	<b>Effets stochastiques</b>
Cause : destruction massive des cellules	Cause: lésions non réparées de l'ADN
Obligatoire (ils apparaissent toujours)	Aléatoires
Pathologies diverses	Cancers et effets génétiques
Dose seuil d'apparition : 0.2-0.3 Gy	Pas de dose seuil d'apparition
Manifestation précoce	Manifestation tardive
Gravité dépendante de la dose	Gravité indépendante de la dose
Clairement décrits	Non spécifiques

*Tableau 12. Comparaison entre les effets déterministes et stochastiques [40].*

En Algérie le cancer est parmi les maladies les plus répandues. Notre étude a été menée de deux documents médicaux et les résultats que nous avons obtenus sur des patients de différents âges et endroits de la région de Bordj Bou Arreridj affectés par cette maladie grâce à Dr Korichi.Z spécialiste des maladies cancéreuses service oncologie à l'hôpital de Bordj Bou Arreridj traduisent une situation épidémiologique préoccupante du cancer. De ce fait la prévention précoce à travers la sensibilisation, l'éducation et le dépistage précoce demeurent les pistes à privilégier pour maîtriser ce type de maladie. Ces maladies résultent de l'interaction entre des facteurs génétiques du sujet et des agents extérieurs pouvant être classés en cancérogènes physiques comme les rayonnements ionisants voir la fiche ci-dessous.

	09/03/1976	BORDJ GHDIR	BORDJ GHDIR	SEIN
	10/04/1974	BORDJ ZEMOURA	OULED DAHMANE	SEIN
	12/07/1957	ELEUCHE	ELEUCHE	SEIN
	30/08/1951	BELAAMOUR	BELAAMOUR	SEIN
	27/08/1972	BBA	BBA	CAVUM
	05/04/1954	BBA	BBA	AMELOBLASTOME
P1962		TOUBO	TOUBO	COLON
	21/12/1950	GHAILASSA	GHAILASSA	VB
p 1952		BORDJ ZEMOURA	BBA	SEIN
P 1935		LEMHIR	LRMHIR	CHC
	15/05/1974	DJAAFRA	BBA	ESTOMAC
	01/01/1951	BBA	BBA	OVAIRE
	27/12/1942	MEDJANA	BBA	POUMON
	29/10/1961	TESSAMERT	BBA	HISTIOCYTOSE
	05/06/1952	MANSOURA	BBA	SEIN
	15/09/1956	ELACHIR	BBA	POUMON
	05/01/1947	BORDJ GHDIR	AIN TASSARA	SEIN
	23/06/1949	THNIAT ELNASR	THNIET ELNASR	SEIN
	01/04/1972	HASNAOUA	HASNAOUA	COL UTERIN
	14/05/1981	MSILA	MSILA	RECTUM
	05/05/1951		BBA	ESTOMAC
	11/03/1983	MSILA	BBA	SEIN
	03/06/1985	MEDJANA	MEDJANA	LIPOSARCOME
P 1956		BBA	BBA	GLIOBLASTOME
P1959		BORDJ GHDIR	BORDJ GHDIR	CAECUM
	05/05/1937	BORDJ GHDIR	BORDJ GHDIR	ESTOMAC
	18/07/1952	BORDJ GHDIR	BORDJ GHDIR	CAVUM
	18/01/1960	KSOUR	ELACHIR	COLON
P 1969		HASNAOUA	HASNAOUA	SEIN
	15/02/1951	THNIAT ELNASR	THNIET ELNASR	ESTOMAC
	29/10/1942	ELEUCHE	ELEUCHE	PANCREAS
	09/09/1983	BBA	BBA	LIPOSARCOME
P 1952		TESSAMERT	ZEMOURA	ENDOMETRE
	12/10/1952	MEDJANA	MEDJANA	POUMON
	07/02/1984	BBA	BBA	THYROIDE
	13/03/1953	DJAAFRA	DJAAFRA	RECTUM
P 1933		MEDJANA	MEDJANA	VB
P 1951		OULED DAHMANE	OULED DAHMANE	VB
	16/01/1950	MANSOURA	MANSOURA	VESSIE
	08/06/1970	HAMADIA	HAMADIA	CAVUM
	07/03/1956	BORDJ GHDIR	BBA	SEIN
	17/05/1949	MSILA	MSILA	VESSIE
	24/03/1974	RAS ELOUED	RAS ELOUED	GIST
	22/09/1956		BBA	MESOTHELIUM
	19/01/1983	BBA	AIN TAGHROUT	SEIN
	24/09/1950	ELEUCHE	ELEUCHE	POUMON

الدكتورة. هاريسية ز.  
Dr. Harisya - Z  
طبيبة متخصصة في علم الأورام السرطانية

# *Conclusion générale*

### Conclusion général

Suite aux accidents nucléaires de Tchernobyl (1986) ou Fukushima (2011), de grandes quantités de radioéléments ont été disséminées dans l'environnement. Parmi ces derniers, le césium-137 est le radionucléide le plus abondant, il constitue la principale source du rayonnement ionisant de l'exposition des populations avoisinantes sur le long terme, notamment par son intégration dans la chaîne alimentaire.

- La consommation des denrées alimentaires par les personnes vivant autour des sources radioactives présente un risque d'irradiation et contamination faible. Selon les recommandations de la CIPR (1991), la limite d'exposition pour les personnes du public est de 1 mSv/an (dose efficace).
- En basant sur le chiffre effrayant des maladies cancéreuses en Algérie. On s'est intéressé dans ce travail aux deux effets des rayonnements ionisants sur l'organisme à savoir ;
  - ❖ Les **effets déterministes** : sont ceux que l'on observe au-delà d'un seuil d'irradiation. Ils sont appelés déterministes car ils se manifestent toujours. Les effets déterministes sont **précoces** (ils se manifestent de quelques heures à un mois après l'exposition), **d'autant plus graves que la dose est importante, clairement décrits du point de vue symptomatique.**
  - ❖ Les **effets stochastiques (cancérigène et génétique)** : sont les conséquences probabilistes à long terme de la transformation d'une cellule. Ils résultent de lésions mal réparées des molécules d'ADN. Ils n'ont **pas de seuil de dose**, sont **aléatoire** (ils n'apparaissent pas chez tous les individus) et ont une gravité apparemment indépendante de la dose reçue.
- La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) prit en charge la mise en place de systèmes d'évaluation des risques liés à l'utilisation des rayonnements ionisants dans tous les domaines d'activités humaines y faisant appel à des recommandations pour la gestion du risque et la protection de la population et de l'environnement.
- La radioprotection vise à éviter l'apparition des effets déterministes et à réduire au maximum les effets stochastiques.
- Notre étude a été menée de deux Documents médicaux et résultats sur l'effet stochastique et déterministe grâce à Dr Kourichi.Z spécialiste des maladies cancéreuses au département d'oncologie à l'hôpital de Bordj Bou Arreridj.

### Références bibliographiques

- [1] Shall, potenev of nanopartieles to amplify radiation effects revealed in radioresistant bacteria. Thèse de doctorat de l'université de paris sud, spécialité: physico-Chimie, soutenue 04 avril 2014.
- [2] Drubay, D., Analyse de la relation dose-réponse pour les risques de mortalité par cancer et par maladie de l'appareil circulatoire chez les mineurs d'uranium, Thèse de doctorat de l'université Paris-Sud, Spécialité Santé Publique-Epidémiologie, Soutenue février 2015.
- [3] Génie des procédés, centre spin, école des mines de Saint-Étienne, méthodes spectrométriques d'analyse et de caractérisation, page 03.
- [4] Bouchama Rafik, détermination de la radioactivité gamma d'un sol contaminé par une explosion nucléaire, mémoire présente à la faculté des sciences département de physique pour l'obtention du diplôme de magister option : génie physique, université Ferhat Abbas Sétif (Algérie) soutenu le 27 octobre 2009, page 02.
- [5] Boukhenfouf Wassila, concentration de l'uranium application aux fertilisants agricoles, thèse présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat sciences en physique option: génie nucléaire, université Ferhat Abbas-Sétif, soutenue le: 05 octobre 2011 page 21,21.
- [6] IRSN 2007, Institut de Radioprotection et de sureté Nucléaire, Uranium naturel et environnement, fiche radionucléide.
- [7] Boris Yavorski & Andreï Detlaf, aide-mémoire de physique, Édition mir, Moscou, 1986.
- [8] IRSN 2004, Institue de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, roses cedex- France, page 03.
- [9] [www.cancerenvironnement.fr/portals/0/documents%20pdf/rapport/irsn/2004\\_Rayonnements](http://www.cancerenvironnement.fr/portals/0/documents%20pdf/rapport/irsn/2004_Rayonnements) 20 Avril 2018.
- [10] ACRO Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest, les rayonnements et la santé, extrait de l'achronique du nucléaire n° 27, décembre 1994.
- [11] Davide Bertolloto et Pavel Frajtag et Gaëtan Girardin école polytechnique fédérale de lausanne, flux neutronique – théorie et mesures, version3.2, septembre 2011, page 03.
- [12] Claude le Sech et Christian Ngo, physique nucléaire des quarks aux applications, Dunod, paris, 2010, page 61,63.
- [13] <https://www.assistancescolaire.com/enseignant/lycee/ressources/base-documentaire-en-physique-chimie/la-radioactivité-gamma-CEA-035> (02 mai 2018, 10.40 )
- [14] [wikipedia.org/wiki/Rayonnement ionisant](http://wikipedia.org/wiki/Rayonnement_ionisant) (30 mai 2018, 22 :48)

- [15] Behaissa Khalida, Les radiations naturelles des matériaux de construction : Ciment de beni saf, mémoire présente à la faculté des sciences département de chimie pour l'obtention du diplôme de magister option: chimie physique et analytique académique soutenu le 11 septembre 2011,
- [16] Bernard Jacques, énergie nucléaire 1 de la théorie aux applications du nucléaire, édition 2008, 32, rue brague 75740 paris cedex 15, 2008, page 186.
- [17] Jimonet, c. Metivier personne compétente en radioprotection principes de radioprotection-réglementation, CEA INSTN, sciences France, 2007.
- [18] Publication 103de la CIRP, Recommandations 2007 de la commission international de protection radiologique, édition tec& doc, page 26.
- [19] Commission International on Radiological Protection. Publication n°60, Recommendations of the ICRP, oxford: pergamon press, 1991.
- [20] Aubert b, Beauvais h, boisson p, et radioprotection, in : santé, radioactivité et rayonnements ionisants, paris : EDF, 2003, 51-66.
- [21] Clerc Hubert, effets biologiques des rayonnements ionisants et normes de radioprotection, mars 1991, page 21.
- [22] Rapport de l'ASN 20 mars 2006, réglementation de la radioprotection, page 59.
- [23] Thèse pour le doctorat vétérinaire, vétérinaire et rayonnement ionisant, année 2005, page 66.
- [24] Marc Ammerich, initiation à la radioprotection, page 21 ,22.
- [25] Henri Metivier, Principes et normes de radioprotection, 10 mai 1996
- [26] CCSN, Commission Canadienne de Sûreté Nucléaire, Introduction au rayonnement, décembre 2012.
- [27] Caroline Prouillac, thèse doctorat université Paul Sabatier de Toulouse 3, page 54, soutenue le 16 octobre 2006.
- [28] Boukabcha Maamar, étude des effets radiations sur les système vivants, mémoire présenté pour obtenir le diplôme de magister en physique, spécialité biophysique mathématique et simulation, faculté des sciences département de physique, université d'Oran, soutenu le 08 février 2010.
- [29] Clélia le Gallic, effets d'une exposition chronique au césium 137 à faibles doses sur la progression de l'athérosclérose thèse de doctorat de université Paris-sud 11, pharmacologie et toxicologie, soutenue le 21 avril 2015.

[30] D. Cressier, synthèse et évaluation de nouveaux dérivés organiques et organométalliques contre les effets des rayonnements ionisants. Thèse de doctorat de l'université de Toulouse, spécialité: Chimie, biologie, santé, soutenue octobre 2010.

[31] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Contamination\\_radioactive](https://fr.wikipedia.org/wiki/Contamination_radioactive) consulté le 20 mai 2018.

[32] Exposition et contamination radioactive, le gouvernement du grand-duché de Luxembourg consulte le 20 juin 2018.

[33] <https://www.infocrise.lu/fr/urgence-nucleaire-irradiation>, consulté le 20 juin 2018.

[34] CUSSTR, Commission Universitaire de Sécurité et Santé au Travail Romande, rayonnements ionisants, Version 1, 2005.

[35] Autorité de Sûreté Nucléaire, question et réponses, contamination et irradiation, consulté le 10 avril 2018.

[36] L'essentielsus les effets des rayonnements ionisants sur les vivantes publiée le 20 janvier 2015.

[37] Cordoliani Y.S. feuillets de radiologie, 43,80-86,2002.

[38] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet\\_déterministe](https://fr.wikipedia.org/wiki/Effet_déterministe) (02 mars 201, 18:08).

[39] Kebir Hadda, concentrations de l'uranium-238 dans les eaux thermales a l'est algérien, thèse présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat sciences en physique option : Génie nucléaire, Université Ferhat Abbas-Sétif UFAS soutenue le: 25 novembre 2017, page 29.

[40] <http://biochimej.univangers.fr/Page2/COURS/5RayonIONISANT/Cours4/1Cours4.htm>.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

في أطروحتنا هذه ، درسنا تأثير الإشعاع المؤين على الجسم. بشكل عام ، تمت دراسة الإشعاع المؤين. لقد قفنا بعض التوصيات الدولية للحماية من خطر الإشعاع وخطر التلوث. في النهاية ، حددنا تأثيرين للإشعاع المؤين على الجسم ، التأثير المحدد (أو المباشر) الذي يؤثر على المدى القصير والتأثير العشوائي (العشوائي) الذي يؤثر على المدى الطويل. الكلمات المفتاحية الأشعة المؤينة، التأثير المحدد، التأثير العشوائي، الحماية من الإشعاع.

### Résumé

Dans notre mémoire, nous avons étudié l'effet des rayonnements ionisants sur l'organisme. On a étudié en général les rayonnements ionisants. Nous avons présenté quelques recommandations internationales pour la protection contre les risques d'irradiation et les risques de contamination. A la fin nous avons identifié deux effets des rayonnements ionisants sur l'organisme, à savoir l'effet déterministe (ou direct), qui affecte à court terme et l'effet stochastique (ou aléatoire) qui affecte à long terme.

**Les mots clés :** Rayonnements ionisants, effet déterministe (ou direct), effet stochastique (ou aléatoire), radioprotection.

### Abstract

In our work, we studied the effect of ionizing radiation on the body. A general study on ionizing radiation was presented. We also presented some international recommendations for protection against the risks of irradiation and the risks of contamination. In the end we identified two effects of ionizing radiation on the body, namely the deterministic (or direct) effect, which affects the short term and the stochastic (or random) effect that affects the long term.

**Key words:** Ionizing radiation, the deterministic (or direct) effect, the stochastic (or random) effect, radiation protection.