

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de
la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID

FACULTE DE MEDECINE

Dr. B. BENZERDJEB - TLEMCEM



وزارة التعليم العالي

والبحث العلمي

جامعة أبو بكر بلقايد

كلية الطب

د. ب. بن زرجب - تلمسان

DEPARTEMENT DE PHARMACIE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR

L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTEUR EN PHARMACIE

THÈME :

Les Risques Liés à l'Exposition aux Rayonnements Ionisants
chez les personnels soignants du CHU Tlemcen (Unité de Radiothérapie du CLCC)
et la Radioprotection

PRESENTE PAR :

BENREZKALLAH Chaimaa

BENTAHAR Djihad

Soutenu le 11 Octobre 2021

Encadrante : Pr. Meziane Zakia Professeur en Médecine de Travail

Co-encadrant : Dr. Yaagoubi Chikh Médecin Spécialiste en Oncologie

Le Jury

Présidente : Dr. Abou Ridjel Nesrine

Professeur en Toxicologie

Membres : Pr. Chaabni Nafissa

Professeur en Epidémiologie

Dr. Brixi Negassa Nawel

Maitre Assistante en Biophysique

Année Scolaire 2020/2021

DEDICACE

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents *Belhadj* et *Karima* qui n'ont jamais cessé de formuler des prières à mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.

A mes chers frères : *Dr. Yacine, Médecin Spécialiste en Chirurgie Ortho-traumatologique, Mohammed, Cadre Militaire, Ismail* et *Ayoub*.

A ma fierté et sœur *Asma, Docteur en Sciences du Langage*.

Qui m'ont doté de leur amour et d'avoir été ma source de joie et d'encouragement.

Un spéciale dédicace au trésor de notre famille

Mes chers jumeaux *Nyes* et *Bachir* ;

Aux familles *BENTAHAR* et *AMMOUR* pour leurs soutiens durant cette période.

J'adresse mes chaleureux remerciements à mon amie intime et mon binôme de soutenance *Djihad* pour sa fraternité et sa délicatesse et de bienveillance et son écoute, tu es et tu seras toujours la fidèle compagnonne

Particulièrement à mes chères amies *les Docteurs* :

Fayza, Imène, Dida, Chayma, Amina, Chaima, Nadjet, Wissem, Asma, Souad,

Mes amies : Amani, Cherifa, Raghda, Hanane, Abir et Nour ;

Ceci à ma profonde gratitude pour votre amour, que ce rapport soit le meilleur cadeau que je puisse l'offrir.

Une dédicace spéciale à *Yassine Ammour* pour son soutien, encouragement, disponibilité, aide et sa compréhension durant cette période sensible.

Enfin, à la mémoire de madame *MAMI Rahma* qui nous a quittée très tôt comme preuve de reconnaissance de ma part priant à son âme ; puisse Dieu ;

Le tout puissant ; l'accueil dans son vaste paradis.

Et à la mémoire de *Hakim Mekki*, que Dieu renouvelle la miséricorde sur lui.

Benrezkallah Chaimaa

Dédicace

Louange à Dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu,

A mes chers parents, papa *Mankour* et maman *Mostefa Fatima* dont le mérite et les sacrifices m'ont permis de vivre ce jour, qu'ils trouvent ici l'hommage de ma gratitude qui, si grande qu'elle puisse être ne sera jamais à la hauteur de leur éloquence et leur dévouement. Aucune dédicace ne pourra exprimer la profondeur de mes sentiments et mon respect que j'ai toujours eu pour vous mes soldats...

A mes chers grands parents *Khadra* et *Arbi*, à qui je dédie ce mémoire, parce que les valeurs que vous m'avez enseignées m'ont permises de toujours me dépasser, vous avez toujours été là pour m'épauler...

A mes chers frères, prunelle de mes yeux *Imad Eddine Mohamed* et mon petit gâté *Hichem*, à qui je souhaite un avenir radieux plein de réussite ...

A mon meilleur *Hichem*, et mes chers oncles *Hamid*, *Miloud* qui m'ont beaucoup aidé et supporté, à ma unique aimable tante *Lila*, à ma princesse *Aya* et toute la famille

BENTAHAR et MOSTEFA ...

A ma bestie de tous les jours et mon binôme *Chaimaa*, à mon accompagnante de cursus ma chère combattante que j'aime *Faiza*, à mes copines d'enfance *Imène Aicha*, *Fatima*, *Assia* mes armées de courage et de patience, à ma ravissante cousine **Amina** une source de fierté, à mes adorables *Chaimaa*, *Imene*, *Hassina*, *Soumia*, *Wissam*, *Yasmina*, *Meriam*; la plus précieuse chose que l'université m'a offerte, avec qui j'ai passé les plus beaux souvenirs... avec toute mon affection et mon amour je leur dédié ce modeste travail.

Je tiens à remercier chaleureusement, tous mes proches qui m'ont supportée, et tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont apporté leurs sollicitudes pour accomplir ce travail.

Beaucoup d'amour, **Bentahar Djiha**

Remerciements

Premièrement, Nous devons remercier **Allah** le tout puissant pour tout le courage et la volonté qu'il nous a donnés pour dépasser toutes les difficultés et l'achèvement de ce travail.

À Madame **Meziane Zakia** professeur en médecine de travail, notre encadreur très chère. On tient d'abord à vous remercier d'avoir accepté de diriger ce travail, pour votre confiance et votre écoute attentive. La concrétisation de ce travail en est la plus belle démonstration.

À notre présidente du jury madame **Abou Ridjel Nesrine** Professeur en toxicologie, on vous remercie d'avoir accepté de présider ce jury et d'apporter votre regard critique à ce travail.

À Madame **Chaabni Nafissa**, Professeur en épidémiologie, membre du jury pour votre expérience et conseils précieux dont nous avons pu bénéficier, on est ravie que vous ayez accepté d'intégrer ce jury.

À Madame **Brixi Negassa Nawal** Maitre Assistante en biochimie et Chef de service, membre du jury, on est très reconnaissantes d'avoir accepté d'évaluer ce mémoire.

Veillez recevoir l'expression de nos sincères remerciements.

À monsieur Docteur **Yaagoubi Chikh**, notre cher oncologue et chef service de la radiothérapie au niveau de CLCC -Tlemcen,

On vous remercie sincèrement pour ton implication dans ce travail.

On remercie aussi l'équipe médicale et paramédicale du service de la radiothérapie et principalement madame la directrice du CLCC Tlemcen **Nouara Meriema** ainsi que Monsieur le directeur de CHU Tlemcen **Mazouni Nasser Eddine** pour leur bon accueil, leurs orientations et leur aide tout au cours de notre stage.

Par ces petites lignes on tient à remercier toutes les personnes qui nous ont aider à réaliser ce projet de fin d'étude, on veut donc adresser toute notre gratitude à notre chère **Benrezkallah Asmaa** et cher frère désigner **Ammour Yacine** pour vos conseils, et votre disponibilité à tout moment.

Aux professeurs que nous avons rencontrés tout au long de notre cursus, vos connaissances partagés nous ont amenés à rédiger ces mots de gratitude dans ce modeste travail, on n'oubliera jamais vos efforts et votre accompagnant.

Liste des Matières

Dédicace	I
Dédicace	II
Remerciements	III
Liste des Matières.....	IV
Liste d’Abréviations	X
Liste des Tableaux.....	XII
Liste des Figures	XIII
Introduction.....	2
Chapitre I : Rayonnements Ionisants et Radioactivité	4
1. Rayonnements :	4
1.1 Définition :	4
1.2 Classification :	4
1.2.1 Rayonnements Electromagnétiques :.....	5
1.3 Exposition :.....	6
1.3.1 Mode d’Exposition :	6
1.3.2 Sources d’Exposition :.....	6
1.3.2.1 Exposition Naturelle (58 % de la dose totale reçue) (Giancoli, 2004) :.....	6
1.3.2.2 Exposition Artificielle (42 % de la dose totale reçue) : (IRSN, 2004).....	7
2. Radioactivité :.....	9
2.1 Définition :	9
2.1.1 Les Phénomènes Primaires :.....	9
2.1.2 Les Phénomènes Secondaires :.....	9
2.2 Principales Unités :	9
Chapitre II : Radiothérapie	12
1. Techniques :	12
1.1 La Radiothérapie Externe :.....	12
1.1.1 La Radiothérapie Conventiionnelle :	12
1.1.2 La Radiothérapie Conformationnelle :.....	13
1.1.2.1 La Radiothérapie Conformationnelle avec Modulation d’Intensité :.....	15
1.1.2.2 La Radiothérapie Stéréotaxique :.....	16
1.1.2.3 La Radiothérapie Hélicoïdale « Tomothérapie » :.....	16
1.2 La Curiethérapie :	17
1.2.1 La Curiethérapie à Faible Débit de Dose (Low Dose Rate) :.....	17
1.2.2 La Curiethérapie à Moyen Débit de Dose (Medium Dose rate) :.....	17
1.2.3 La Curiethérapie à Haut Débit de Dose (High Dose Rate) :.....	17

LISTE DES MATIERES

2. Indications :	18
3. La Dose en Radiothérapie	19
3.1 Notion de Dose de Contrôle Tumoral :	19
3.2 Notion de Dose de Tolérance aux Organes à Risque.....	20
3.2.1 La notion d’Organes à Risque – Architecture Fonctionnelle	20
Chapitre III : Les effets Biologiques des Rayonnement Ionisants	23
1. Effet Thermique :	23
1.1 Effet chimique :	23
1.1.1 Interaction des Ions avec la Matière :	24
1.1.1.1 L’Ionisation :	24
1.1.1.2 L’Excitation :	24
1.1.1.3 La Capture Electronique :	25
1.1.2 L’Interaction de l’Electron avec la Matière :	25
1.1.3 Interaction des Rayonnements Electromagnétiques avec la Matière :	26
1.1.3.1 L’Effet Photoélectrique :	26
1.1.3.2 L’effet Compton :	26
1.1.4 La Création de Paires :	27
1.2 Effet sur les Molécules Biologiques et Organiques :	27
1.2.1 Effet des Rayonnements Ionisants sur l’Acide Nucléique :	27
1.2.1.1 Les Cassures :	29
a. Les Coupures Simples Brins :	29
b. Les Coupures Doubles Brins :	30
1.2.1.2 Les Altérations de Bases :	30
1.2.1.3 Les Pontages :	32
3.1.1.1 Addition à des Bases de l’ADN de Produits Issus de la Peroxydation Lipidique :	32
1.2.1.4 Altération des Sucres :	33
1.2.1.5 Les Aberrations Chromosomiques :	33
1.2.2 Effet des Rayonnements Ionisants sur Protéines :	34
1.2.3 Mécanisme d’Action des Rayonnements Ionisants sur les Molécules Organiques :	35
1.2.4 Effet Cellulaire des Rayonnements Ionisants :	36
1.2.4.1 La Mort Cellulaire :	36
1.2.5 Effet Tissulaire des Rayonnements Ionisants :	37
1.2.5.1 Radiosensibilité des Différents Tissus : (Tubina & Bertin, 1989)	37
1.2.5.2 Facteurs de la Radiosensibilité Tissulaire (NSD) :	39
1.2.6 Effets de Rayonnements Ionisants sur l’Organisme (Corps Entier) :	40
1.2.6.1 Effet Déterministe (Cordoliani, 2002).....	40

LISTE DES MATIERES

a.	Le Syndrome d'Irradiation Aiguë (Cervený, MacVittie, & Young, 1989)....	41
b.	Effets sur la Peau :	42
c.	Effets sur les Gonades :	42
d.	Effets Stochastiques :	42
1.2.6.2	Détriment :	44
1.2.6.3	Le Problème des Faibles Doses et de l'Existence d'un Seuil (Notion d'Instabilité Génétique) :	45
a.	Relation Linéaire Sans Seuil :	46
1.2.7	Effets Héritaire Génétique :	46
1.2.7.1	Modèles de Troubles Héritaires :	47
1.2.8	Effet sur l'Embryon et Fœtus :	48
1.2.8.1	Mort en Utéro-néonatale et Post Natal :	49
1.2.8.2	Malformation :	49
1.2.8.3	Retard de Croissance :	50
1.2.8.4	Abaissement de Quotient Intellectuel QI :	51
1.2.8.5	Induction des Leucémies, Cancer, Tumeur :	52
	Chapitre IV : Radioprotection.....	55
1.	Qu'est -ce que la radioprotection :	55
2.	Quels sont les objectifs de la radioprotection ?	56
3.	Qui est concerné par la radioprotection dans le domaine médical ?	56
3.1	Les Professionnels de Santé :	57
3.2	Les Patients :	57
3.3	Le Grand Public :	57
4.	Les organismes Internationaux l'Origine des Réglementations :	58
4.1	Comité Scientifique des Nations Unies pour l'Etude des Effets des Rayonnements Ionisants (UNSCEAR) :	58
4.2	Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) :	59
4.3	Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) :	61
4.4	Euratom :	61
5.	Acteurs du Dispositif National Français de Radioprotection :	63
5.1	L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) :	63
5.2	L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) :	63
6.	Les Principes Fondamentaux de la Radioprotection :	64
6.1	La Justification :	64
6.2	L'Optimisation :	64
6.3	La Limitation de Dose :	64
6.4	Principe ALARA :	65
4.1.1	Principes classiques	65

LISTE DES MATIERES

7.	Directives Européennes :.....	66
7.1	La Directive Euratom 96 /29 :.....	66
7.2	La Directive Euratom 97/43 :.....	67
7.3	Directives Algériennes et Organisation de la Législation Algérienne en Matière de la Radioprotection (2016) :.....	68
7.4	Codes internationaux de Risques de Manipulation en Radiothérapie :.....	69
7.4.1	Protection des Travailleurs Contre les Dangers des Rayonnements Ionisants : 69	
7.4.2	Personnes Spécialisées en Radiophysique Médicale :.....	70
7.4.3	Manipulateurs d'Electroradiologie :.....	70
8.	Les Règles Techniques Applicables aux Installations de Radiothérapie Externe :.....	71
9.	Démarches de Prévention et les Mesures de la Radioprotection :.....	72
9.1	Evaluation du Risque et Détermination des Niveaux d'Exposition :.....	72
9.1.1	Evaluation de Risque :.....	72
4.1.1.1	Délimitation des Zones Réglementées (Contrôlées et Surveillées :.....	73
9.1.1.1	Classement du Personnel en Catégories A et B :.....	76
9.1.1.2	Dosimétrie :.....	77
a.	Dosimétrie Passive :.....	77
a.	Dosimétrie Opérationnelle :.....	77
9.1.2	Stratégie de Maîtrise de Risque :.....	78
9.1.2.1	Réduction du Risque :.....	78
9.1.2.2	Protection Individuelle :.....	80
9.1.2.3	Formation et Information.....	80
9.1.3	Surveillance et Suivi Médical :.....	81
9.1.3.1	La Personne Compétente en Radioprotection (PCR) :.....	81
9.1.3.2	Suivi Médical :.....	81
9.1.3.3	Rôle de Médecin de Travail :.....	82
9.1.3.4	Dossier Médical :.....	83
9.1.3.5	Grossesse :.....	84
9.1.4	La Conduite à Tenir en cas d'Irradiation Accidentelle du Personnel :.....	84
10.	Notion De Document Unique d'Evaluation -Déclaration des Risques Professionnels :.....	85
11.	Les Maladies Professionnelles Provoquées par les Rayonnements Ionisants :.....	87
12.	Responsabilité du Chef d'Etablissement en Matière de Radioprotection :.....	88
	Chapitre V : Partie Pratique :.....	90
1.	Matériels et Méthodes :.....	90
1.1	Problématique :.....	90
1.2	Objectif :.....	91

LISTE DES MATIERES

1.2.1	Objectifs Principales :	91
1.2.2	Objectifs Secondaires:	91
1.3	Type d'Etude :	91
1.4	Lieu d'Etude :	92
1.5	Population Etudiée :	92
1.6	Matériels :	92
1.7	Description du Questionnaire :	93
1.8	Difficultés Rencontrées :	93
1.9	Analyses Statistiques :	94
2.	Résultat d'Etude :	96
2.1	Répartition de la Population selon le Sexe :	96
2.2	Description de la Population selon la Tranche d'Age :	96
2.3	Répartition de la Population selon la Catégorie Professionnelle :	97
2.4	Répartition de la Population selon l'Ancienneté à l'Hôpital :	97
2.5	Répartition de la Population selon l'Antécédant Médical :	98
2.6	Répartition de la Population selon la Notion de Prise Médicamenteuse :	98
2.7	Répartition de la Population selon la Consommation du Tabac :	99
2.8	Répartition de la Population selon la Consommation de l'Alcool :	99
2.9	Notion d'Avortement chez les Femmes Pendant la Grossesse :	100
2.10	Notion de Malformation chez les Femmes Exposées aux Rayonnements Ionisants : 100	
2.11	Population Féminine Ayant Pu Bénéficier d'un Avis d'Aptitude Durant leur Activité :	101
2.12	Répartition de la Population selon les Symptômes Liés à l'Exposition aux Rayonnements Ionisants :	101
2.13	Répartition de la Population selon l'Effet CMR :	102
2.14	Répartition de la Population selon le Risque de Survenue de l'Accident de Travail :	102
2.15	Répartition des Personnels selon leur Niveau de Connaissance des Codes Internationaux de la Manipulation en Radiothérapie :	103
2.16	Suivi par la Médecine de Travail :	103
2.17	Répartition de la Population Selon le Port de la Dosimétrie :	104
2.18	Répartition de la Population selon le Suivi de la Formule de Numération Sanguine FNS : 104	
2.19	Population Exposée aux Rayonnements Ionisants et Congé de Désintoxication : 105	
2.20	Description de la Population selon leur Compétence en Radioprotection :	105
2.21	Répartition de Population selon le Port des Equipements de Protection Individuelle :	106

LISTE DES MATIERES

2.22	Classification de Personnels en Catégorie A/B selon la Réglementation Algérienne :.....	106
2.23	Relation entre Ancienneté et Cancer :	107
2.24	Relation entre l'Avortement et la Classification de Personnels en Catégorie A/B : 107	
2.25	Relation entre le Niveau Formel en Matière de Radioprotection et Antécédant d'Avortement :	108
2.26	Relation entre le Port de de Tablier Plombé et l'Avortement :.....	108
2.27	Relation entre l'Avortement et le Poste Occupé :	109
2.28	Relation entre le Poste et la Survenue des Symptômes Liés aux Rayonnements Ionisants :	110
2.29	Relation entre le Poste et le Port de la Dosimétrie :	110
2.30	Relation entre le Poste Occupé et la Connaissance du Risque de la Manipulation en Radiothérapie :.....	111
3.	Discussion :	113
	Conclusion	116
	Références.....	117
	Annexe.....	123
	Annexe 1 : Arrêté Relatif à la Surveillance Médicale des Travailleurs Exposés aux Rayonnements Ionisants	123
	Annexe 2 : Questionnaire	127
	Annexe 3 : Dépliant.....	131
	Résumé	132
	Abstract.....	132
	الملخص	133

Liste d'Abréviations

- DE** : Dose efficace
- HE** : Dose équivalente
- Bq** : Becquerel Unité de Mesure de Radioactivité
- Gy** : Gray Unité de Mesure de la Dose Absorbée lors d'une Irradiation par Rayonnements ionisants
- Sv** : Sievert Unité de Mesure de l'Absorption de Rayonnement par le Corps Humain
- Rad** : Unité de Mesure Ancienne de la Dose Absorbée de Rayonnement
- CIPR** : Commission Internationale de Protection Contre les Rayonnements
- WR** : Facteur Dépend de Particule
- Wt** : Facteur Dépend de Tissu Irradié
- CE** : Capture Electronique
- 3D** : Trois Dimensions
- RCMI** : La Radiothérapie Conformationnelle par Modulation d'Intensité
- kV** : Kilovolt Unité de Mesure de la Tension Electrique
- RTC** : La Radiothérapie Conformationnelle
- 3DCRT** : Three- Dimensional Conformal Radiotherapy
- MLC** : Multi-Leaf Collimator
- IRM** : Imagerie par Résonance Magnétique
- TEP** : Tomographie par Emission de Position
- BEV** : Beam Eye View
- OAR** : Organes à Risque
- VMAT** : Irradiation avec Modulation d'Intensité Volumétrique par Arcthérapie
- IGRT** : La radiothérapie guidée par l'image
- TPS** : Système de Planification de Traitement
- DRR** : Digitally Reconstructed Radiograph
- Inca** : Institut National du Cancer
- ORL** : Oto-Rhino-Laryngologiste
- GTV** : Gross Tumor Volume
- CTG** : Clinical Target Volume
- Z_{ion}** : Nombre Atomique de l'Ion
- E** : Energie
- UV** : Ultraviolet
- ADN** : Acide Désoxyribonucléique
- ARN** : Acide Ribonucléique
- MDA** : Malondialdehyde
- TLE** : Transfert de l'Energie Linéique
- SH** : Groupement thiol

LISTE D'ABREVIATIONS

NSD : Nominal Standard Dose

DT : Dose Totale

N : Nombre

t : temps

ASN : Autorité de Sureté Nucléaire

IRSN : Institut de Radioprotection et Sureté Nucléaire

UNSCEAR : Comité Scientifique des Nations Unies pour l'Etude des Effets des Rayonnements Ionisants

ONU : Organisation des Nations Unies

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

BIT : Bureau International de Travail

IXRPC : International X Ray and Radium Protection Committee

ICRU : International Commission on Radiation Units and Measurements

AIEA : Agence Internationale de l'Energie Atomique

CEE : Communauté Economique Européenne

UE : Union Européen

ITER : Réacteur Thermonucléaire Expérimental International

CCSN : Commission Canadienne de Sureté Nucléaire

ALARA: As Low As Reasonably Achievable

PSRPM : Personnes Spécialisées en Radiophysique Médicale

PCR : Personne Compétente en Radioprotection

CHSCT : Comité d'Hygiène de Sécurité et des Conditions de Travail

EPI : Equipements de Protection Individuelle

SISERI : Système d'Information de la Surveillance de l'Exposition aux Rayonnements Ionisants

SPSS: Statistical Package for the Social Sciences

CMR : Cancérogène-Mutagène-Reprotoxique

Liste des Tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des Principales Radiations	4
Tableau 2. Principales Unités de la Radioactivité	10
Tableau 3. Les Effets des Radiations Ionisantes au Niveau Tissulaire.....	38
Tableau 4. Résumé des Effets Déterministes Provoqués par Différentes Doses d'Irradiation	44
Tableau 5. Signalisation du Risque Radioactif : Pictogramme, Panneaux et Autres Eléments	74
Tableau 6. Classement du Personnel	76
Tableau 7. Maladies Rencontrées chez les Agents Hospitaliers	98
Tableau 8. Symptômes Rencontrées chez les Agents Hospitaliers	101
Tableau 9. Cancer, Malformation Fœtale, Problème de Fertilité	102
Tableau 10. Notion d'Accident de Travail.....	102
Tableau 11. Connaissance et Formation en Radioprotection	105
Tableau 12. Les Equipements de Protection Individuelle.....	106
Tableau 13. Analyse du Lien entre l'Ancienneté et Survenue du Cancer	107
Tableau 14. Analyse de la Relation entre la Classification de Personnels et le Risque d'Avortement.....	107
Tableau 15. Analyse de l'Antécédent d'Avortement et Formation en Radioprotection....	108
Tableau 16. Analyse de Relation de Port de Tablier Plombé et la Survenue d'Avortement chez les Femmes Travailleuses dans le Service de la Radiothérapie	108
Tableau 17. L'Analyse de l'Influence de Poste Occupé et l'Antécédent d'Avortement ...	109
Tableau 18. L'Analyse de Lien entre Symptômes et Poste Occupé par le Personnel	110
Tableau 19. Analyse de Relation entre le Port de Dosimétrie et le Poste Occupé	110
Tableau 20. Analyse de Niveau de Connaissance du Risque Lié à la Manipulation en Radiothérapie.....	111

Liste des Figures

Figure 1. Sources d'Irradiation Médicale	8
Figure 2. La Répartition des Sources d'Exposition aux Rayonnements	8
Figure 3. Rayonnement α , β , γ	9
Figure 4. Chaîne de Traitement en Radiothérapie	13
Figure 5. Evolution des Appareils d'Imagerie Médicale	14
Figure 6. Modalités de Traitement en RCMI par Faisceaux Statiques (Step and Shoot ou Sliding Window) ou par Arcs (VMAT ou Rapid Arc)	16
Figure 7. Radiolyse de l'Eau	24
Figure 8. Modifications de la Structure d'ADN Auite à l'Absorption Directe d'UV	28
Figure 9. Représentation Schématique des Lésions de l'ADN Induites par les Effets Directs et Indirects des Rayonnements Ionisants	28
Figure 10. Produits Stables Typiques Produits par l'Attaque du Radical OH ^o sur les Bases Pyrimidiques et Puriques de l'ADN	31
Figure 11. Mécanisme Simplifié d'Oxydation Radicalaire.....	31
Figure 12. Formation des Adduits MDA-DNA.....	32
Figure 13. Conséquences Cellulaires de l'Irradiation.....	33
Figure 14. Spectre Solaire et son Action sur l'Epiderme	37
Figure 15. Rayonnement Ionisant Utilisé pour le Traitement des Tumeurs	53
Figure 16. Les Organismes Internationaux à l'Origine des Réglementations.....	58
Figure 17. Inspection par l'ASN de Mise en Service d'une Installation de Radiothérapie à l'Institut Hospitalier Franco-Britannique de Levallois-Perret – Septembre 2012.....	71
Figure 18. Exemple d'Organisation des Zones de Travail en Radioprotection (Modalités de Délimitation Devant Être Définies dans un Arrêté à Paraître)	73
Figure 19. Exposition Externe et Interne de l'Organisme Entier	75
Figure 20. Exposition des Extrémités (mains, pieds, cheville et avant-bras).....	75
Figure 21. Les Moyens de Protection Individuelle.....	80
Figure 22. Exemple du Document Unique	86
Figure 23. Tableau des Affections Provoquées par les Rayonnements Ionisants	87
Figure 24. Répartition de la Population selon le Sexe	96
Figure 25. Répartition de la Population selon la Tranche d'Age	96
Figure 26. Répartition de la Population selon Sexe-Poste	97
Figure 27. Répartition de la Population selon l'Ancienneté	97
Figure 28. Répartition de la Population selon l'Antécédant Médical.....	98
Figure 29. Répartition de la Population Selon la Prise Médicamenteuse	98
Figure 30. Répartition de la Population Fumeur/Non-fumeur	99
Figure 31. Répartition de la Population selon la Consommation de l'Alcool.....	99
Figure 32. Avortement chez les Femmes et Exposition aux Rayonnements	100
Figure 33. Répartition de la Population s'Ils ont un Enfant Malformé	100
Figure 34. Répartition de la Population selon l'Aptitude du Travail.....	101
Figure 35. Jugement de Connaissance des Codes Internationaux de la Manipulation en Radiothérapie.....	103
Figure 36. Pourcentage de Suivi des Personnels par la Médecine de Travail.....	103
Figure 37. Répartition des Personnels selon le Port de Dosimètre.....	104
Figure 38. Répartition des Personnels selon le Suivi FNS.....	104
Figure 39. Fréquence de la Prise de Congé de Désintoxication	105
Figure 40. Répartition des Personnels selon la Catégorie A /B	106

Introduction

Introduction

La radioactivité est la propriété qu'ont certains noyaux de se transformer en un ou plusieurs noyaux, et d'émettre lors de cette transformation un noyau d'hélium (particule alpha), un électron (particule beta) ou un rayonnement électromagnétique (rayonnement gamma). La radioactivité est un phénomène naturel découvert à la fin du XIXe siècle par Henri Becquerel (Métivier, 2007).

Deux approches sont utilisées pour étudier les effets biologiques découlant de rayonnement ionisant : l'épidémiologie et l'expérimentation.

L'épidémiologie consiste à observer les effets sur des populations exposées naturellement ou bien artificiellement, comme la population des survivants des bombardements d'Hiroshima et de Nagasaki, les travailleurs dans les mines d'uranium. . .

Grace à l'expérimentation, les chercheurs peuvent, entre autres, observer les dégâts et perturbations engendrées par le rayonnement ionisant sur la molécule d'ADN, support de l'information génétique, ou analyser les mécanismes de réparation mis en jeu par la cellule pour contrecarrer sa dégradation (Métivier, 2007).

Les pratiques médicales à des fins thérapeutiques ou diagnostiques constituent la principale source d'exposition aux rayonnements ionisants d'origine artificielle (UNSCEAR, 2000). On estime ainsi par exemple que l'utilisation des rayonnements ionisants à des fins de radiodiagnostic est responsable de la délivrance d'une dose moyenne de 1,2 mSv par habitant.

Avec l'apparition de nouvelles techniques, l'utilisation médicale des rayonnements ionisants ne cesse de s'intensifier. L'accroissement des performances de l'imagerie médicale permet le diagnostic précoce et l'orientation des stratégies thérapeutiques.

Le traitement par radiologie interventionnelle a transformé le pronostic de certaines maladies comme, par exemple, les cardiopathies ischémiques.

La radiothérapie constitue aujourd'hui une méthode majeure du traitement des cancers (appliquée pour plus de 40% des cancers nouvellement diagnostiqués aux USA en 1995 (UNSCEAR, 2000)).

Si des progrès incontestables ont été rendus possibles en médecine grâce à l'usage des rayonnements ionisants, apportant un bénéfice sanitaire à la fois collectif et individuel, il n'en reste pas moins que les effets délétères connus de ces rayonnements exigent une maîtrise et un encadrement rigoureux des pratiques. La valeur moyenne de l'exposition de 1,2 mSv pour le radiodiagnostic masque en effet une disparité importante suivant les

INTRODUCTION

personnes (Maccia, Benedittini, Lefaure, & Fagnani, 1988) et dans certains cas, les doses reçues ne sont plus du tout négligeable. C'est dans ce sens que la Commission Européenne a jugé utile de publier en 1997 une directive spécifique (Directive 97/43/EURATOM) concernant la protection des personnes exposées aux rayonnements ionisants à des fins médicales (Européen, 2002). Cette Directive qui demande que soient mis en œuvre les principes de justification et d'optimisation.

Pour toutes ces raisons on a souhaité dans notre mémoire approfondir la question des risques de l'exposition professionnelle médicale, à travers un échantillon incluant les agents hospitaliers au niveau de service de la radiothérapie de CLCC. D'après ce qu'on a développé, se pose une autre question sur la radioprotection encourus par les professionnels (médecins, radiophysiciens, manipulateurs en électroradiologie, personnel infirmier...) qui sont appelés à utiliser les rayonnements ionisants ou à participer à leur utilisation, dans la prise en charge des patients.

Notre travail est divisé en deux parties : une théorique dans laquelle la radiothérapie est expliquée avec ses différentes techniques et les risques de rayonnements ionisants sont élucidés avec une mise en lumière la matière de la radioprotection et une autre partie pratique dans laquelle l'enquête épidémiologique descriptive ainsi que les résultats et leurs discussions sont exposés.

Chapitre I :

Rayonnements Ionisants et Radioactivité

Chapitre I : Rayonnements Ionisants et Radioactivité

1. Rayonnements :

1.1 Définition :

Les radiations sont une émission d'énergie sous forme électromagnétique (ondulatoire) ou corpusculaire. Cette énergie se mesure en joule (J) ou en électron-Volt (eV). Dans le domaine médical, la production des radiations est due soit au freinage d'électron accéléré (tube à rayon X, accélérateur, etc...), soit à des sources radioactives (radioéléments) (Arnaud, 2001).

1.2 Classification :

Il existe plusieurs types de classification des radiations faisant appel soit à leur nature électromagnétique ou corpusculaire, soit à leur pouvoir d'ionisation de molécules d'air ou d'eau, soit à leur caractère électrique chargé ou non, soit à leur façon de produire des ionisations dans la matière en utilisant leur propre pouvoir (radiations directement ionisantes) ou par l'intermédiaire de particule chargées mise en mouvement dans le milieu irradié (radiations indirectement ionisantes) (Nias, 1998; Benson, 1991) (Voir **Tableau 1**).

Tableau 1. Caractéristiques des Principales Radiations

Radiation	Production	Nature	Charge	Ionisation	Pouvoir pénétrant
Electron e^-	Accélérateurs Radioélément	Corpuscule	Oui	Direct	
Particule α	Radioélément	Corpuscule	Oui	Direct	Faible pénétration Parcourt quelques centimètres dans l'air Arrêté par la couche cornée de la peau ou une feuille de papier
β^+ et β^-	Radioélément	Corpuscule	Oui	Direct	Pénétration limitée Parcourt quelques mètres dans l'air Arrêté par une feuille d'Aluminium et ne pénètre pas dans l'organisme
Proton	Accélérateurs	Corpuscule	Oui	Indirect	

Neutron n°	Radioélément	Corpuscule	Oui	Indirect	Pénétration importante Parcourt quelques centaines de mètres dans l'aire Traverse les vêtements et le corps Arrêté par des écrans de paraffine
Rayon X	Tube à RX Accélérateurs	Electromagnétique	Non	Indirect	Pénétration importante Parcourt quelques centaines de mètres dans l'aire Traverse les vêtements et corps Arrêté par des écrans protecteurs
R γ	Radioélément	Electromagnétique	Non	Indirect	Pénétration importante Parcourt quelques centaines de mètres dans l'aire Traverse le corps et vêtements Arrêté ou atténué par des écrans protecteurs de béton, d'acier ou de plomb

Expressions à connaitre :

- Un rayonnement est dit « directement ionisant » lorsqu'il est constitué de particules électriquement chargées d'énergie suffisante pour produire des ions (atomes porteurs de charges électriques) par interaction avec la matière.
- Un rayonnement non chargé électriquement dont l'énergie est suffisante pour produire selon plusieurs interactions une ionisation de la matière (IRSN, 2021).

1.2.1 Rayonnements Electromagnétiques :

Le rayonnement électromagnétique est toujours émis par la matière, soit au niveau des électrons, soit au niveau des noyaux atomiques. Ils représentent un mode de transport d'énergie dans l'espace. Le rayonnement électromagnétique fait

référence à une perturbation des champs électriques et magnétiques. Le rayonnement électromagnétique est caractérisé par un flux de particules dépourvues de masse, les photons, associé à une onde ; l'onde électromagnétique ; Une autre définition du rayonnement électromagnétique peut aussi être donnée comme suit : la propagation d'un champ magnétique ($\vec{\varphi}$ $\vec{\omega}$) et d'un champ électrique (\vec{e} $\vec{\omega}$) (l'une étant perpendiculaire à l'autre) en ligne droite à partir d'une seule source constituée d'une ou plusieurs charges en mouvement alternatif (Daubie, 2016).

1.3 Exposition :

1.3.1 Mode d'Exposition :

L'exposition aux rayonnements ionisants peut-être :

- **Externe** : source de rayonnement n'est pas en contact direct avec la personne et la dose reçue ne correspond qu'au temps pendant lequel s'est produite l'exposition (par exemple : radiodiagnostic). (Bertrand, Ducassou, Cheyly, & Robert, 1980)
- **Interne** : pénétration de radionucléides Le plus souvent dans le corps par ingestion ou par inhalation, mais également par une brèche cutanée ou par voie veineuse (par exemple lors d'une scintigraphie) ; on parle alors de contamination interne. La distribution dans l'organisme dépend de la nature du radionucléide. L'exposition résulte des atomes radioactifs présents dans les tissus ou organes ; elle continue donc au-delà du moment où a eu lieu l'incorporation, mais décroît en fonction de la période radioactive du radionucléide incorporé et de sa biocinétique. L'exposition peut être brève (par exemple radiographie) ou prolongée (par exemple l'exposition naturelle). (Bernard, 1999)

1.3.2 Sources d'Exposition :

1.3.2.1 Exposition Naturelle (58 %de la dose totale reçue) (Giancoli, 2004) :

- **Le rayonnement cosmique (7 %)** : Provient de l'espace et augmente rapidement avec l'altitude (la couche atmosphérique protectrice devient moins épaisse). La dose reçue par un montagnard habitant à 1000 m d'altitude est supérieure de 20 % à celle reçue par une personne habitant au bord de la mer. A

l'altitude de croisière d'un avion à réaction, le rayonnement cosmique est 150 fois plus élevé qu'au niveau de la mer.

- **Le rayonnement tellurique (11 %) :** A pour origine les radionucléides primordiaux (de l'Uranium, du Thorium et du Potassium) apparus au moment de la formation de la terre. Nous sommes donc exposés aux rayonnements provenant du sol ainsi qu'aux matériaux de construction obtenus à partir de matériaux extraits du sol. Ce rayonnement est plus important dans les régions granitiques. La dose efficace individuelle due au rayonnement tellurique est en moyenne d'environ 0,45 mSv par an.
- **Le radon (34 %) :** Gaz naturel radioactif, 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.
- **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, 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. La dose efficace individuelle est égale à 0,24 mSv par an.

1.3.2.2 Exposition Artificielle (42 % de la dose totale reçue) : (IRSN, 2004)

Source Principale d'exposition artificielle :

- **L'exposition médicale (41 %) :** est essentiellement constituée par le radiodiagnostic. L'usage médical des rayonnements représente 98% de la dose d'origine artificielle reçue par la population, toutes sources artificielles confondues, et 20% de l'exposition totale de la population. Chaque année dans le monde, plus de

3,6 milliards d'examen de radiologie diagnostique sont effectués, 37 millions d'actes de médecine nucléaire sont réalisés et 7,5 millions de traitements par radiothérapie sont administrés.

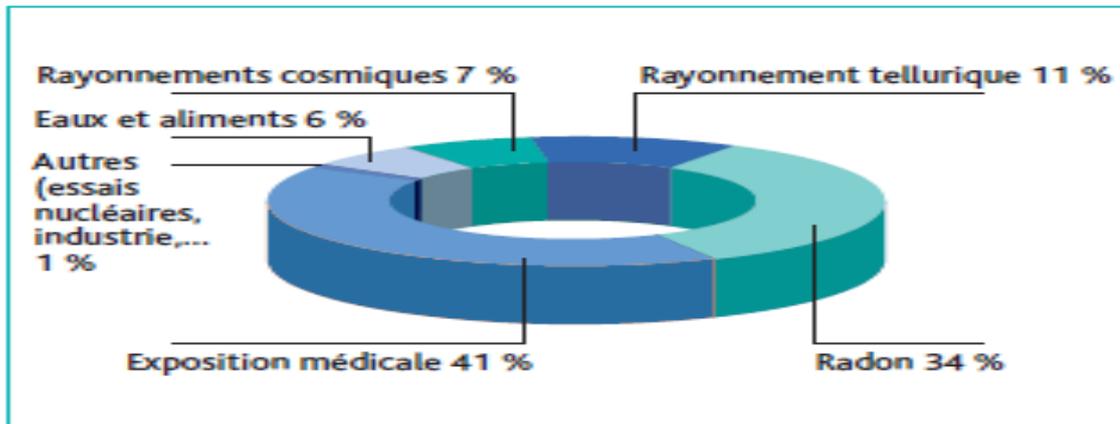


Figure 1. Sources d'Irradiation Médicale

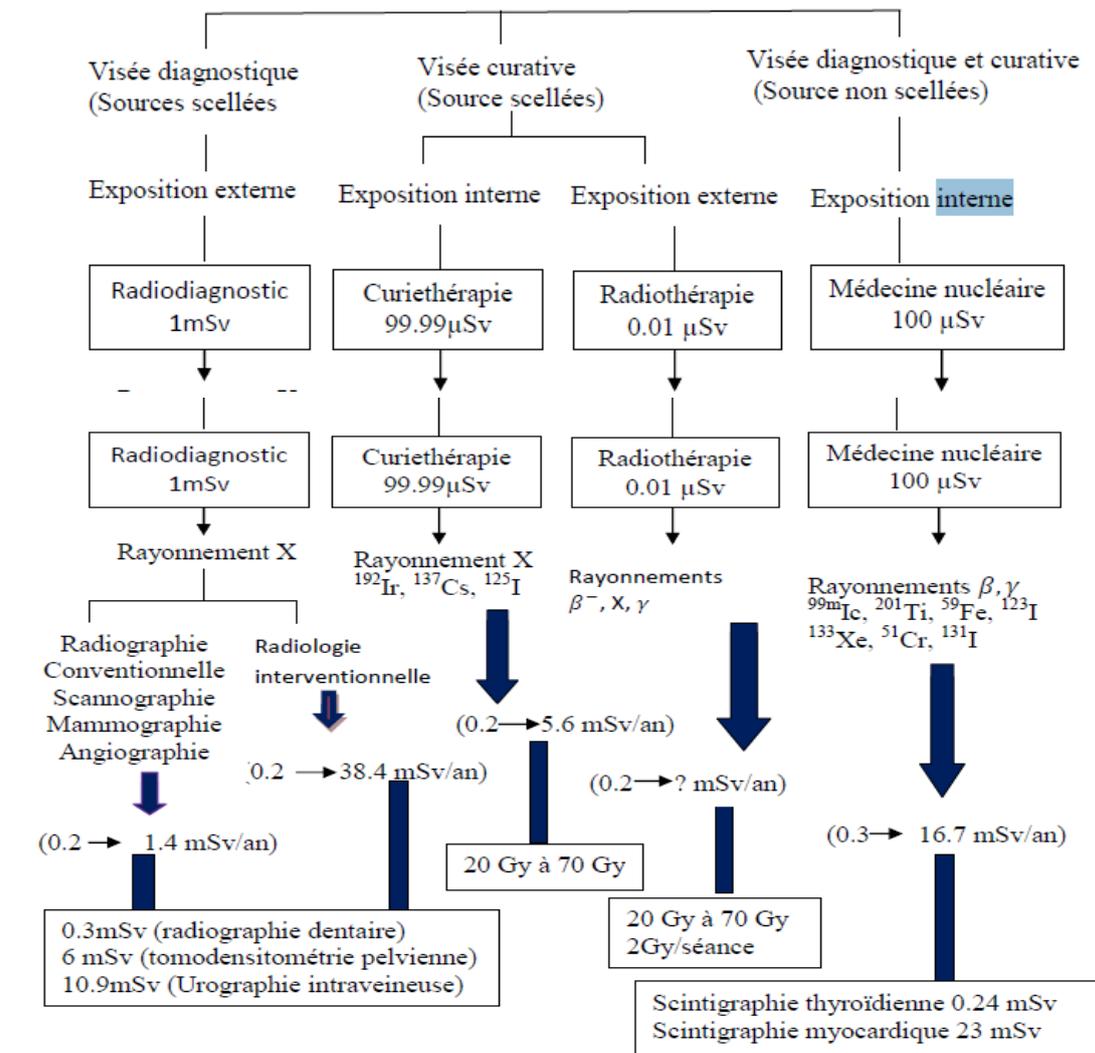


Figure 2. La Répartition des Sources d'Exposition aux Rayonnements

2. Radioactivité :

2.1 Définition :

Certains nucléides instables peuvent se transformer spontanément au cours du temps : ils se désintègrent en émettant d'autres particules, suivies parfois, d'un rayonnement électromagnétique. De tels nucléides sont dites radioactifs et les transformations correspondantes sont des **réactions nucléaires spontanées**. Il existe de nombreux modes de transformations :

2.1.1 Les Phénomènes Primaires :

On y distingue :

La radioactivité α : C'est l'émission d'un noyau d'Hélium ${}^2\text{He}^4$

La radioactivité β^- : C'est l'émission d'électrons e^- .

La radioactivité β^+ : C'est l'émission du proton e^+ .

La capture électronique (C.E).

2.1.2 Les Phénomènes Secondaires :

On y distingue :

Le rayonnement γ : c'est l'émission de photon γ . Ils proviennent de la désexcitation d'un noyau excité.

La conversion interne (C.I).

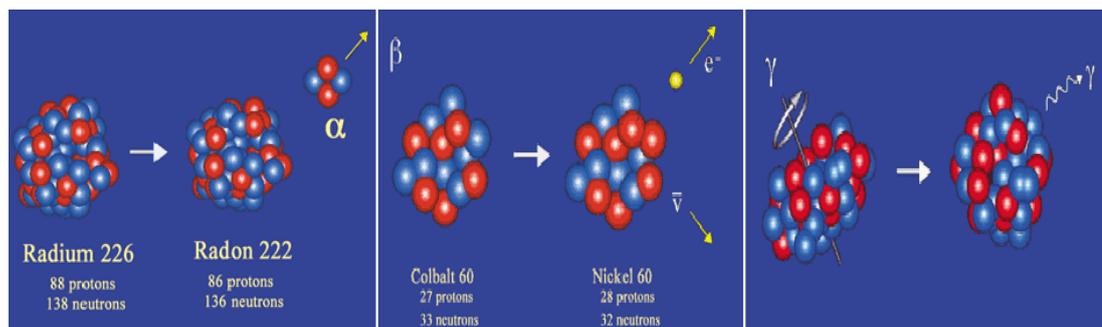


Figure 3. Rayonnement α , β , γ

2.2 Principales Unités :

Ne sont présentées ici que les grandeurs et unités internationales utilisées aujourd'hui : Becquerel Bq, Gray Gy et Sievert Sv (IRSN, 2004).

Tableau 2. Principales Unités de la Radioactivité

Principales grandeurs et unités internationales utilisées dans le domaine des rayonnements ionisants		
Notion / grandeur mesurée	Unité	Définition / caractéristique
Energie de rayonnement (E)	électronvolt (eV)	1 électronvolt = 1,6. 10 ⁻¹⁹ Joule
Activité d'un corps radioactif (A)	becquerel (Bq)	Nombre de transitions par seconde. Réduite de moitié au bout d'une période, du quart au bout de 2 périodes, etc. Une transition est une modification de l'état énergétique d'un noyau instable, soit par désintégration, soit par émission ou absorption d'un rayonnement.
Dose absorbée par un organisme vivant (D)	gray (Gy)	Energie absorbée par unité de masse. Dose (Gy) = Energie (Joule) / Masse (kg)
Dose équivalente (Ht)	sievert (Sv)	Dose équivalente = Dose absorbée x facteur de pondération radiologique. Ce facteur de pondération radiologique (Wr), vaut 1 pour les rayons X, gamma et bêta, vaut 20 pour les rayons alpha, et est variable pour les neutrons (en fonction de leur énergie). En effet, à dose absorbée égale, les effets biologiques dépendent de la nature des rayonnements (α, β, γ, X ou neutrons). La dose équivalente est dite « engagée » quand elle résulte de l'incorporation dans l'organisme de radioéléments jusqu'à l'élimination complète de ceux-ci, soit par élimination biologique, soit par décroissance physique.
Dose efficace (E)	sievert (Sv)	Somme des doses équivalentes pondérées délivrées aux différents tissus et organes du corps. La pondération correspond à l'application d'un facteur de pondération tissulaire (Wt) à la dose équivalente pour chaque organe. Cette notion correspond à l'évaluation d'une dose corps entier.

◆ **Dose absorbée :**

C'est l'énergie absorbée/unité de masse de matière

$$Da = dE / dm \text{ (Gy)}$$

Unité : joule/ kg : Gray : Gy

◆ **Dose équivalente : Ht**

Les rayonnements ionisants sont différents, a dose absorbée égale, produisent des effets différents → la CIPR (Commission Internationale de Protection Contre les Rayonnements) introduit en 1990 le facteur de pondération lie à la nature du rayonnement (Ben Rais, 2011).

$$Ht = Da \times WR \text{ (l'unité est le Sievert : Sv)}$$

La valeur de WR :

-Electrons (s-), photon X, γ : **WR = 1** quel que soit l'énergie

-Particules α : WR = 20

-Neutrons selon l'énergie : WR = 5 → 20

◆ **Dose efficace (E) ou DE :**

Dépend de la radiosensibilité de l'organe ou du tissu irradié

Autre facteur = facteur de pondération tissulaire (Ben Rais, 2011).

$$DE = Ht \times Wt \text{ (Sv)}$$

Autres unités : -Le rad, 1 Gray = 100 rad

-Le rem, 1 Sv = 100 rem

Chapitre II :

Radiothérapie

Chapitre II : Radiothérapie

1. Techniques :

On distingue quatre grandes techniques de radiothérapie que sont la radiothérapie externe, la radio chirurgie, la curiethérapie et la radiothérapie métabolique. Chacune d'elles possède ses indications selon le type de tumeur et sa localisation :

1.1 La Radiothérapie Externe :

La radiothérapie externe est une technique de radiothérapie reposant sur l'utilisation des appareils de traitement contenant, soit, des sources scellées, soit, des générateurs électriques de rayonnements (la source de rayonnement étant placée à l'extérieur du patient) contrairement à la curiethérapie (Granier & Gambini, 2007).

Il existe diverses techniques : la radiothérapie conventionnelle, la radiothérapie conformationnelle 3D (en trois dimensions), la radiothérapie conformationnelle par modulation d'intensité RMI (Step and shoot, sliding Windows et l'arc thérapie), la radiothérapie en condition Stéréotaxie et la tomothérapie ou radiothérapie hélicoïdale, ces deux dernières techniques sont peu répandues, mais tendent à se développer (Noël, et al., 2007).

1.1.1 La Radiothérapie Conventionnelle :

Si le volume cible comprend la tumeur et les aires ganglionnaires satellites, un protocole fonction de la localisation de la maladie, décrit le nombre et l'orientation des faisceaux d'irradiation. Les limites géométriques des faisceaux étant protocolairement définies par rapport à des repères anatomiques, le placement des faisceaux, et leur forme sont réalisés au cours du centrage, en présence du patient, en utilisant n'importe quel appareil de stimulation disponible aujourd'hui, que ce soit un simulateur conventionnel, un simulateur scanner ou un scanner simulateur. La distribution de la dose à l'intérieur du patient résulte de la balistique retenue au moment du ciblage et préservation des tissus sains) permet de valider le choix de cette balistique centrage. L'analyse de cette distribution de dose (homogénéité de la dose dans le volume (Granier & Gambini, 2007).

- Les appareils de la radiothérapie conventionnelle et de contact :
- ✓ Ils utilisent des tubes à rayons X
- ✓ Les tensions accélératrices utilisées sont 10Kv à 50Kv en radiothérapie de contact, de 100 à 300Kv en radiothérapie conventionnelle (Granier & Gambini, 2007).

1.1.2 La Radiothérapie Conformationnelle :

La radiothérapie conformationnelle (RTC-3D) dont l'appellation Américaine (Three-Dimensional Conformal Radiotherapy - 3DCRT) qui veut dire irradier suivant la forme de la tumeur ce qui correspond à une irradiation transcutanée dans laquelle le volume cible reconstruit en 3D est adapté au volume traité, grâce au collimateur multi-lames (Multi-Leaf Collimator -MLC) et la possibilité de le contrôler à partir d'ordinateur. A l'heure actuelle, la RTC-3D a connu une véritable avancée technologique et est en évolution constante sur toute la chaîne de traitement, allant de l'immobilisation du patient (le positionnement) à la vérification du traitement (assurance qualité) (**Figure 4**), (Schlegel & Mahr, 2001).

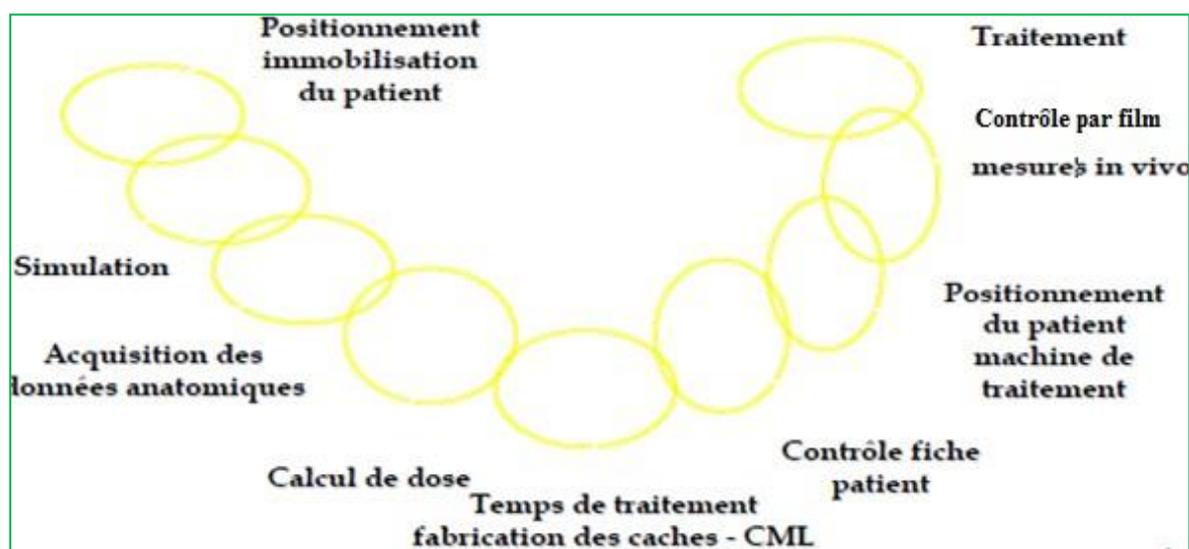


Figure 4. Chaîne de Traitement en Radiothérapie

La RTC-3D représente une avancée importante dans l'oncologie moderne puisqu'elle cherche la meilleure adaptation de la forme d'une enveloppe isodose de valeur élevée à la forme exacte du volume cible (Rosenwald, Gaboriaud, & Pontvert, 1999). En 1995, Carrie précisait que la radiothérapie conformationnelle pourrait être la prochaine grande révolution de la radiothérapie (Carrie, Ginestet, Bey, Aletti, & Briot, 1995). En 2001, le standard en radiothérapie était déjà la radiothérapie conformationnelle (Carrie & Ginestet, 2001). Grâce aux progrès drastiques de l'imagerie médicale (scanner, IRM, TEP, fusion d'images...) le volume cible et les organes à risques sont définis avec une grande précision. L'utilisation du BEV « Beam Eye View » a permis non seulement de suivre la forme du volume cible mais aussi de visualiser les volumes adjacents (Charles, 2006).

Cliniquement, la RTC-3D a permis d'aboutir à une meilleure irradiation du volume tumoral (Webb, Mould, Orton, Spaan, & Webster, 1997), en offrant la possibilité d'augmenter la dose à la tumeur de l'ordre de 10-15% par rapport à celle délivrée par des

techniques conventionnelles (Bey, et al., 2000). Cette escalade de dose s’est traduite par une augmentation du contrôle local de la tumeur avec un taux de complications tardives ou aiguës qui augmentent (Zelevsky, et al., 1998; Epstein, Robertson, & Emerton, 2001). Pour pallier à cela, la RTC-3D a évolué vers d’autres modalités thérapeutiques de plus en plus complexes grâce à l’introduction des collimateurs multi-lames et le développement d’algorithmes de calcul de dose plus complexes.

- **Techniques Innovante en Radiothérapie Conformationnelle :**

Bien que la radiothérapie de conformation soit devenue un standard thérapeutique en assurant une meilleure irradiation du volume tumoral et une meilleure protection des tissus sains avoisinants comparée à la radiothérapie conventionnelle, l’innovation technologique et les progrès de l’imagerie médicale ne cessent aussi d’évoluer pour permettre cette qualité (Schlegel, Bortfeld, & Grosu, 2008)(figure2).Des images d’une précision anatomique accrue ont permis d’augmenter les chances d’irradier les zones désirées avec une dosimétrie de plus en plus précise.

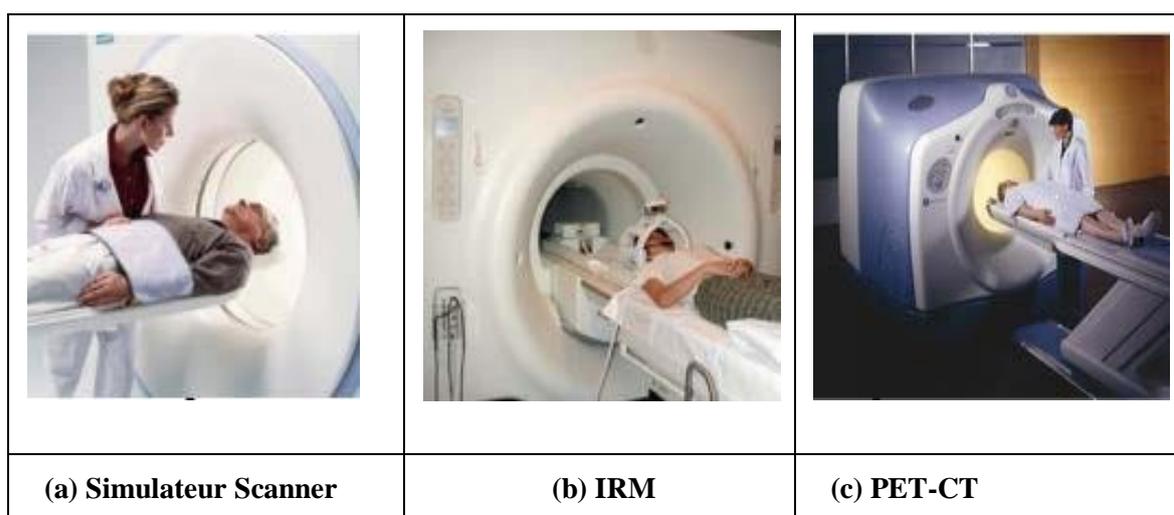


Figure 5. Evolution des Appareils d’Imagerie Médicale

L’utilisation correcte des informations issues de l’imagerie a conduit à l’évolution de l’acquisition des données anatomiques suite à une bonne identification du volume cible et des OARs. La complexité de certaines localisations anatomiques telles que la concavité de certaines tumeurs, les gradients de doses variables à proximité des OARs a nécessité l’introduction de nouvelles techniques de traitement de technicité supérieure dont la classification repose essentiellement sur les moyens utilisés. Il s’agit de la radiothérapie conformationnelle avec modulation d’intensité (RCMI), la radiothérapie conformationnelle avec modulation d’intensité par arcthérapie (Rapid Arc ou VMAT), la radiothérapie guidée

par l'image (IGRT), la radiothérapie hélicoïdale (la Tomotherapie), le Cyber knife et la protonthérapie.

Malgré la diversité de ces techniques innovantes dont le traitement fait appel à la création de champs complexes basés sur des mini-faisceaux orientés selon différentes incidences, ces dernières suivent toutes le même schéma de traitement qui regroupe trois étapes essentielles qui sont :

1. Acquisition des données anatomiques en position de traitement la plus confortable et la plus reproductible réalisée à l'aide d'un scanner dosimétrique. Les images requises sont envoyées vers le TPS via le système Record and Verify ;
2. Identification des structures d'intérêt (contourage) et planification du traitement suite à une dosimétrie prévisionnelle établie au préalable ;
3. Mise en place et contrôle du positionnement du patient sur la table de traitement en comparant l'image DRR reconstruite par le TPS et l'image issue de l'imagerie embarquée ou non embarquée effectuée avant le traitement ;
4. Exécution du traitement selon la démarche d'un programme d'assurance de qualité propre à chaque service de radiothérapie.

1.1.2.1 La Radiothérapie Conformationnelle avec Modulation d'Intensité :

La radiothérapie conformationnelle avec modulation d'intensité a été introduite pour la première fois par Andreas Brahme en 1998 (Lefkopoulos, Foulquier, Petegnief, & Touboul, 2001), elle a pour objectif d'améliorer l'efficacité thérapeutique en modulant l'intensité de la fluence énergétique et d'augmenter les doses au volume cible tout en limitant la toxicité des organes à risques (Brahme, 1998) (Damen, et al., 2001). Cela consiste à délivrer la dose au volume cible en variant l'intensité émise à l'intérieur de chaque faisceau. C'est une technique qui fait appel aux outils de la radiothérapie conformationnelle (simulateur scanner, console dosimétrique, Record and Verify, imagerie portale..., imagerie embarquée), à un logiciel de planification inverse et à un contrôle de qualité renforcé. La RCMI est une technique de traitement qui peut être obtenue selon deux possibilités : soit en fabricant des compensateurs pour chaque faisceau soit en utilisant le collimateur multi-lames (MLC) (De Meerleer, et al., 2000).

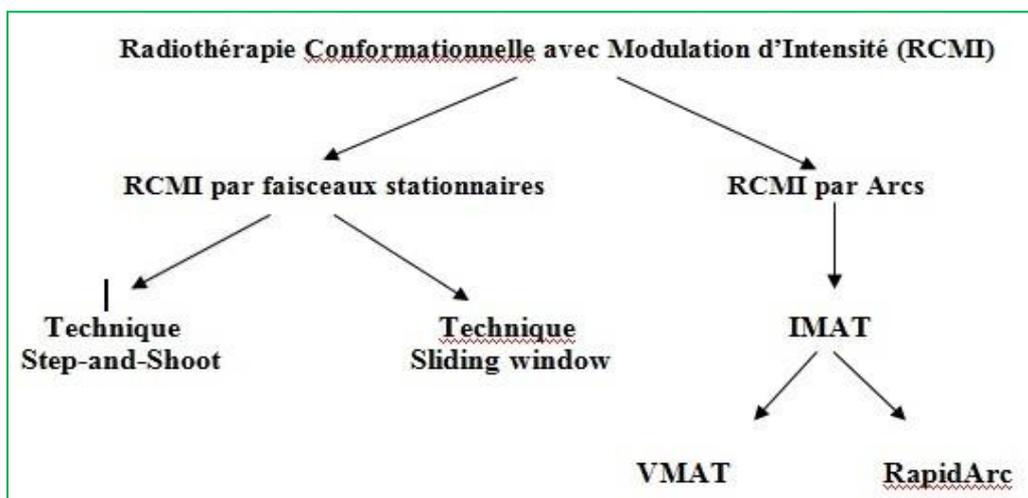


Figure 6. Modalités de Traitement en RCMI par Faisceaux Statiques (Step and Shoot ou Sliding Window) ou par Arcs (VMAT ou Rapid Arc)

1.1.2.2 La Radiothérapie Stéréotaxique :

La radiothérapie en conditions stéréotaxiques, consistant à irradier une tumeur avec une dose par séance très élevée, présente un fort potentiel thérapeutique du fait de son excellent contrôle local. Cette technique nécessite toutefois une précision balistique très importante afin de minimiser les toxicités aux tissus sains adjacents. Initialement appliquée aux localisations cérébrales, l'irradiation stéréotaxique a pu s'étendre aux localisations pulmonaires et hépatiques grâce à des contentions adaptées, à l'information tomодensitométrique des déformations de la tumeur au cours du temps, à des collimateurs à lames de petites dimensions, à des algorithmes de calcul de distribution de dose plus performants et à une imagerie de contrôle de positionnement 3D (Ling, et al., 1996).

1.1.2.3 La Radiothérapie Hélicoïdale « Tomothérapie » :

La tomothérapie est une nouvelle modalité de radiothérapie externe reprenant le principe d'une irradiation hélicoïdale avec modulation d'intensité. Elle peut s'affranchir de l'obligation d'iso centres multiples nécessaires à l'irradiation des volumes importants. Le système intègre l'acquisition d'images, la planification du traitement, le positionnement du patient et l'irradiation dans une machine unique. Robot à six degrés de liberté supportant un accélérateur linéaire de 6 MV lui permettant de multiples incidences avec une précision millimétrique, le Cyberknife™ fonctionne actuellement en France dans trois centres choisis par l'Inca (Institut national du cancer). Un accélérateur de dernière génération est une machine multifonctions capable de réaliser des traitements conformationnels avec ou sans modulation

d'intensité, des irradiations de type stéréotaxiques intra- et extra-crâniennes avec ou sans modulation d'intensité avec ou sans arcthérapie. Les performances respectives de chacune de ces machines doivent être mesurées et comparées dans l'inévitable cadre médicoéconomique (Maingon, Truc, Peignaux, & Crehange, 2007).

1.1.3 La Curiethérapie :

La curiethérapie est un moyen de traitement des tumeurs malignes solides, par mise en place de sources radioactives à l'intérieur de l'organisme. Cette mise en place de sources radioactives constitue ce que l'on appelle une application de curiethérapie, qui ne peut être réalisée sans l'existence de locaux particuliers devant assurer la protection du personnel contre les rayonnements ionisants.

Le type de source utilisé en curiethérapie dépend principalement du débit de dose souhaité par le médecin. Le débit de dose est le rapport entre la dose délivrée à la tumeur et la durée de l'application. On distingue ainsi trois types de curiethérapie selon le débit de dose, utilisant chacune un type particulier de source (Granier & Gambini, 2007).

1.1.3.1 La Curiethérapie à Faible Débit de Dose (Low Dose

Rate) :

C'est une curiethérapie pour laquelle le débit de dose est compris entre 0,4 et 2 Gy /heure. Encore appelée curiethérapie classique.

- La curiethérapie interstitielle
- La curiethérapie endocavitaire
- La curiethérapie à débit de dose pulsé

1.1.3.2 La Curiethérapie à Moyen Débit de Dose (Medium Dose

rate) :

La curiethérapie à moyen débit de dose est une curiethérapie pour laquelle le débit de dose est compris entre 2 et 12 Gy /heure.

1.1.3.3 La Curiethérapie à Haut Débit de Dose (High Dose

Rate) :

Le débit de dose est supérieur à 12 Gy /heure.

- La curiethérapie de prostate à l'iode 125.
- La curiethérapie endocoronaire.

2. Indications :

Le but essentiel de la radiothérapie est d'assurer le contrôle et la guérison locale ou locorégionale des processus tumoraux. Elle est donc à visée curatrice, exclusive, pré ou postopératoire, et /ou associée à la chimiothérapie, mais aussi à visée palliative et symptomatique.

A visée **curatrice**, elle peut être : préventive dans le but d'empêcher une récurrence locale ou l'apparition de métastases; cytoréductrice afin de rendre opérables des lésions initialement inaccessibles à la chirurgie; complémentaire de la chirurgie lorsque celle-ci a été incomplète, ou pour stériliser définitivement le lit tumoral lorsque la chimiothérapie a entraîné une rémission apparemment complète pour une maladie disséminée ; enfin exclusive pour les petites tumeurs (ORL, mammaires, utérines), et pour les cancers inopérables ou très radiosensibles. Dans le cas de petites tumeurs la radiothérapie externe peut être utilisée seule ou associée à la curiethérapie.

A visée **palliative** et **symptomatique**, elle peut être : antalgique dans le traitement des métastases osseuses et hépatiques ; décompressive dans le cas de métastases cérébrales médullaires, ou de compression cave ; hémostatique devant les hématuries ou les métrorragies incontrôlable ; enfin cytoréductrice et de confort en particulier chez les patients âgés.

Les doses curatrices, de 25Gy à 70Gy suivant le type de cancer, ou palliatives, devront être administrées avec la plus grande précision au volume cible (volume à atteindre par le rayonnement), tout en préservant au mieux les tissus sains avoisinants et notamment les organes critiques, organes pour lesquels on ne peut dépasser certaines valeurs de dose sans risquer des complications. Pour atteindre un tel objectif il faut commencer par délimiter le volume cible qui comprend en général la tumeur, ses extensions infra cliniques et les chaînes ganglionnaires satellites. La position et les dimensions de ce volume cible sont déterminées à partir de l'imagerie, et de l'examen clinique.

On doit ensuite rechercher la meilleure balistique de traitement, c'est-à-dire le nombre et le positionnement, particulier à chaque patient, des faisceaux d'irradiation par rapport au volume cible, afin d'atteindre les objectifs fixés précédemment (dose élevée et homogène à l'intérieur du volume cible et préservation des tissus sains et des organes critiques) (Granier & Gambini, 2007).

3. La Dose en Radiothérapie

L'oncologue radiothérapeute raisonne et décide en fonction de deux notions de dose qui visent à obtenir un bon rapport bénéfice/risque : la dose de contrôle tumoral et la dose de tolérance des organes à risque ou tissus sains.

Comme déjà souligné, la notion de contrainte de dose en radiothérapie est très différente de celle de limite (ou contrainte) de dose lors des expositions aux rayonnements ionisants à visée diagnostique notamment en ce qui concerne la dose de tolérance des OAR. (Guide des Procédures de Radiothérapie Externe, 2007)

3.1 Notion de Dose de Contrôle Tumoral :

La dose de contrôle tumoral est la dose nécessaire pour obtenir dans 90 % des cas la stérilisation locale définitive de la tumeur. Cette dose de contrôle tumoral est actuellement connue empiriquement avec une assez bonne précision. Elle dépend de plusieurs facteurs:

- **Le type histologique** : l'expérience montre que certains types histologiques de tumeur nécessitent des doses plus ou moins fortes pour que la lésion soit stérilisée. Peu de tumeurs sont totalement radio-résistantes, le principal facteur limitant est la tolérance des tissus sains qui empêche habituellement d'atteindre les doses de 80 ou 90 Gy qui permettraient de stériliser la plupart des tumeurs ;
- **Le volume** : plus une tumeur est volumineuse, plus la dose nécessaire pour la stériliser est importante. Inversement les petites tumeurs demandent des doses plus faibles. Pour stériliser après chirurgie des lésions résiduelles infra cliniques, des doses de 45 à 60 Gy sont généralement suffisantes. De ce point de vue, il est important de distinguer la dose à la tumeur macroscopique, GTV (Gross Tumor Volume), qui pour les carcinomes varie selon le volume entre 60 et 80 Gy et la dose aux lésions infra cliniques microscopiques, CTV (Clinical Target Volume), qui varie entre 45 et 60 Gy selon le type de cancer ;
- **L'aspect de la tumeur** : les lésions végétantes nécessitent des doses plus faibles que les tumeurs infiltrantes, sans doute parce que leurs cellules sont mieux vascularisées, donc mieux oxygénées. Cette notion se rapproche de celle de « volume cible biologique » objectivée par imagerie fonctionnelle. L'imagerie TEP permet par exemple

d'objectiver au sein du GTV des zones « biologiquement avides de glucose ».

3.2 Notion de Dose de Tolérance aux Organes à Risque

3.2.1 La notion d'Organes à Risque – Architecture Fonctionnelle

La tumeur à irradier est entourée d'organes et de tissus sains qui reçoivent une dose plus ou moins importante de rayonnements, responsable des effets secondaires observés lors d'un traitement par radiothérapie. Les organes sains au voisinage de la tumeur sont appelés organes à risque (OAR), et leur tolérance à l'irradiation est le plus souvent le facteur limitant de la dose que l'on peut délivrer à la tumeur. La connaissance de cette dose de tolérance est donc fondamentale lors de la planification d'un traitement. Il existe des organes très radiosensibles (œil, ovaire, testicule), d'autres moyennement radiosensibles (intestin grêle, cœur, poumon) et d'autres enfin peu radiosensibles (os, muscle, gros vaisseaux).

Par ailleurs, certains organes assurent des fonctions vitales et doivent donc impérativement rester fonctionnels après irradiation (tronc cérébral, moelle, poumon, cœur), alors que d'autres assurent des fonctions non vitales mais dont la préservation permet de maintenir la qualité de vie après le traitement (glandes salivaires, intestin, œil, os). Certaines conditions pathologiques peuvent rendre les organes plus sensibles aux rayonnements, notamment le diabète ou des affections héréditaires (ataxie télangiectasique).

L'âge peut également intervenir, notamment chez les enfants ou les personnes âgées. Il existe enfin des susceptibilités individuelles qui sont mal expliquées et qui exposent parfois à des toxicités inattendues. Les thérapies associées, notamment les chimiothérapies, les biothérapies ciblées, voire la chirurgie, peuvent entraîner des modifications significatives de ces doses de tolérance. Ces associations thérapeutiques et leurs effets secondaires doivent être pris en compte dans le choix des indications.

La plupart des organes à risque sont constitués de plusieurs types de tissus, certains à réactions précoces, d'autres à réactions tardives. La tolérance globale à l'irradiation d'un organe doit donc prendre en compte les différents tissus qui le composent : par exemple, l'œsophage comporte une muqueuse (tissu à renouvellement rapide) responsable d'œsophagite aiguë en cours d'irradiation, et des tissus conjonctifs de soutien (tissu à renouvellement lent) qui peuvent entraîner une fibrose et une sténose radique tardive.

Par ailleurs, la tolérance fonctionnelle des organes à l'irradiation dépend de leur capacité à continuer à fonctionner comme entité, et donc de leur architecture. Chaque organe est considéré comme étant constitué de sous-unités avec une organisation particulière (Guide des Procédures de Radiothérapie Externe, 2007).

Chapitre III :
Les Effets
Biologiques des
Rayonnements
Ionisants

Chapitre III : Les effets Biologiques des Rayonnement Ionisants

L'**effet biologique** des rayonnements ionisants commence par les effets chimiques élémentaires d'ionisations, d'excitations et d'échanges (transfert) thermiques avec la matière vivante. Suivant la nature de l'irradiation (rayonnement, dose, débit de dose), le type de cellule ou de tissu ou la susceptibilité du sujet, ces effets primaires aboutissent à des effets pathologiques ou non à plus ou moins long terme. Deux types d'effets sont observés. Les **effets déterministes** qui surviennent de façon précoce pour des doses fortes (quelques heures à quelques jours) et les **effets stochastiques** (aléatoires) tardifs (quelques années) observés pour des fortes doses, une fois passé l'effet déterministe, mais surtout liés aux faibles doses.

1. Effet Thermique :

Ils résultent de la dégradation de l'énergie des rayonnements sous forme de chaleur libérée lors de leur interaction avec les molécules rencontrées. Compte tenu de la valeur des énergies des rayonnements mis en œuvre lors de l'application des traitements, on ne constate pas d'élévation significative de la température des substances irradiées (une dose de 10 kGy n'élève que de 2.78°C le produit ionisé).

1.1 Effet chimique :

Ils apparaissent en quelques microsecondes. Ils se traduisent par l'ionisation ou l'excitation des molécules d'intérêt biologique directement par les rayonnements ou indirectement par les produits de la radiolyse de l'eau (70% en poids du corps humain), et la matière vivante étant constituée d'environ de 75% d'eau (en masse).

Donc quel que soit la radiation émise ; soit élevé (particules α , proton, neutron ...) ou faible (Photons, électrons), son influence est celle de l'oxygène sur les effets moléculaires des radiations est démontrée.

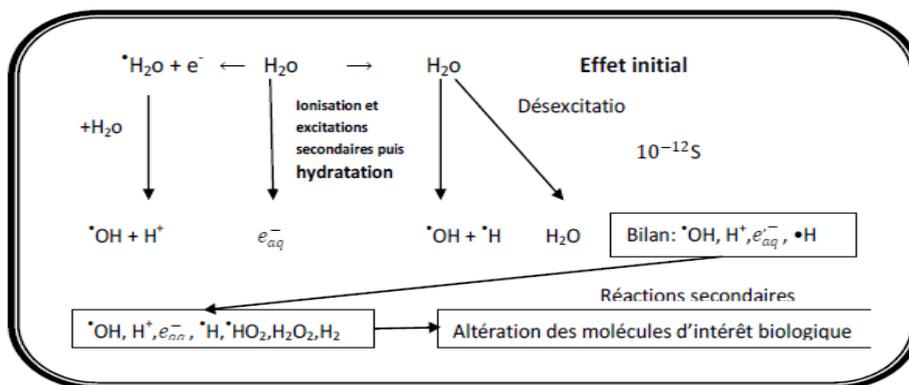


Figure 7. Radiolyse de l'Eau

Par exemple, soit la **radiolyse de l'eau**, (Voir **Figure 7**). Elle produit en particulier des radicaux libres très réactifs oxydant : OH^\bullet , HO_2^\bullet , H_2O_2 réducteur, H^\bullet qui est le radical hydroxylé le plus réactif, capable de rompre les liaisons C-H, de se fixer sur les doubles liaisons, d'ioniser les molécules d'intérêt biologique, et de former en présence d'oxygène des radicaux peroxyde très réactifs. C'est l'effet oxygène recherché en radioactivité. En général, les structures sont assez résistantes aux effets des produits de la radiolyse de l'eau, sauf l'ADN. Cette interaction est divisée selon le type de la molécule chargée mise en jeu (Gault, 2004).

1.1.1 Interaction des Ions avec la Matière :

Une particule chargée pénétrant dans un milieu interagit avec les atomes du milieu et se ralentit. Les trajectoires des ions peuvent être considérées comme rectilignes.

Aux vitesses des ions utilisés en radiobiologie l'interaction dominante est celle qui s'exerce avec les électrons atomiques. On distingue alors trois processus d'interaction majoritaires :

1.1.1.1 L'Ionisation :

Si l'interaction est assez intense, le transfert d'énergie peut être suffisant pour arracher un électron de l'atome cible : c'est le phénomène d'*ionisation*. Il y a création d'une paire d'ions (ion positif et électron) dans le milieu.

1.1.1.2 L'Excitation :

Si l'interaction est insuffisante pour créer une ionisation, il y a seulement excitation : l'électron change d'état quantique, l'excitation le fait passer d'un état initial à un état final moins lié. Pour les cibles radiobiologiques ce processus est peu probable.

1.1.1.3 La Capture Electronique :

Un troisième type de processus consiste en la capture d'un électron de l'atome cible par le projectile. Ce processus intervient surtout lors d'irradiations en ions lourds.

La théorie des collisions distingue trois régimes différents selon la valeur du paramètre κ défini comme $\kappa = \frac{Z_{ion}}{Z_c} \times \frac{V_e}{V_{ion}}$. (Tubiana, Dutreix, & Wambersie, 1986). Où : V_e est la vitesse de l'électron sur une couche atomique (ou moléculaire) cible, V_{ion} : la vitesse de l'ion incident, et Z_{ion} et Z_c : les numéros atomiques du projectile et de la cible.

On distingue :

- **La région perturbatrice**, pour $\kappa \ll 1$; ce régime, aussi appelé régime coulombien, est atteint pour des grandes vitesses de collisions et/ou pour des asymétries importantes. Dans ce domaine, une théorie perturbatrice (qui suppose que l'interaction Coulombienne couple directement l'état initial de l'électron à son état final) est applicable.
- **La région de forte interaction**, pour $\kappa \gg 1$; ce régime, ($\frac{Z_{ion}}{Z_c} \ll 1$), aussi appelé quasi moléculaire, est atteint pour des vitesses de collisions inférieures à celle de l'électron actif, entre partenaires de charges nucléaires comparables ou non. La théorie correspondante est basée sur une description adiabatique des états électroniques s'ajustant au mouvement des noyaux. Il y a en fait formation d'une quasi molécule transitoire et la probabilité pour que l'état final d'un électron soit centré sur l'atome cible ou le projectile est approximativement du même ordre de grandeur.
- **La région dite « intermédiaire »**, pour $\kappa \approx 1$. Ce domaine est celui dans lequel s'opère le passage de processus à une diffusion à des processus à plusieurs diffusions de l'électron. Ce dernier, pour atteindre son état final peut passer par des états intermédiaires centrés sur la cible ou le projectile. Dans ce domaine de κ , la description théorique est généralement basée sur un formalisme d'ondes distordues (Scholz & Kraft, 1992).

1.1.2 L'Interaction de l'Electron avec la Matière :

La masse de l'électron est 1836 fois inférieure à celle du proton. Ceci entraîne que les électrons subissent des diffusions importantes et leurs parcours sont très sinueux. Les

sections efficaces d'excitation, d'ionisation et de diffusion par des molécules d'eau sont bien connues).

Pour des énergies élevées le phénomène de rayonnement de freinage ou bremsstrahlung doit être pris en compte. Il correspond à l'émission d'un rayonnement électromagnétique lors des accélérations subies par les électrons dans le champ des noyaux atomiques. La contribution relative du bremsstrahlung au ralentissement est de l'ordre de 0,3% pour des énergies de 1 MeV et atteint 3 % pour des énergies de 10 MeV (Gobert, Lamoureux, Hervé, Penhoat, & Ricoul, 2004).

1.1.3 Interaction des Rayonnements Electromagnétiques avec la Matière :

Les modes d'interaction des rayonnements électromagnétiques avec la matière sont les suivants :

1.1.3.1 L'Effet Photoélectrique :

Cet effet résulte du transfert de la totalité de l'énergie du photon incident sur un électron de l'atome cible qui est éjecté, créant ainsi un trou. Il se produit préférentiellement en couche atomique interne et ceci dès que l'énergie E du photon est supérieure à l'énergie de liaison B de l'électron. Ce dernier, appelé photoélectron, est alors éjecté du cortège électronique de l'atome avec une énergie cinétique résiduelle E-B qu'il cède au cours d'ionisations et d'excitations des atomes de la matière. La place vacante est comblée par un électron de couche plus externe ou par un électron extérieur à l'atome. Ce remplacement s'accompagne d'une libération d'énergie qui peut être soit émise sous la forme d'un photon dit photon de fluorescence, soit communiquée à un électron appelé électron Auger. L'effet Auger prédomine largement (contribution ~90%) pour les éléments légers des milieux biologiques.

La section efficace photoélectrique varie $\propto \frac{Z^5}{E^{3,5}}$ en où Z est le numéro atomique de l'atome cible (Herve du Penhoat, Fayard, Touati, & Chetioui, 1998).

1.1.3.2 L'effet Compton :

Cet effet résulte de l'interaction entre un photon incident et un électron libre ou faiblement lié de la cible. Au cours de cette interaction qui peut être décrite comme une collision, l'électron -dit électron Compton- acquiert une énergie cinétique Ee et un photon diffusé -dit photon de recul- est émis avec l'énergie E' telle que $E = Ee + E'$. La section efficace Compton varie en $\propto \frac{Z}{E}$.

1.1.4 La Création de Paires :

Ce processus se produit pour des photons très énergétiques passant à proximité d'un noyau : le photon incident se matérialise sous la forme d'un électron et d'un positon, de mêmes masses m_0 et de mêmes énergies cinétiques. Il existe une valeur seuil d'énergie de photon incident ($E > 2m_0c^2$) pour la création de paires et ce phénomène ne devient important que pour des valeurs très élevées de E .

Pour des cibles d'ADN ou d'eau, l'effet photoélectrique domine pour des photons d'énergies inférieures à ~50 keV et l'effet Compton est prépondérant au-delà de cette valeur.

1.2 Effet sur les Molécules Biologiques et Organiques :

Les radiations ionisantes altèrent les principales macromolécules et les différents processus métabolique cellulaires. C'est le stade biologique de l'action des radiations ionisantes qui peut durer de quelques heures à quelques années. En étudiant l'action des radiations ionisantes sur les polymères synthétiques de poids moléculaire connu, on a observé soit des réactions de pontage intra et intermoléculaires, soit des réactions de dégradation de la chaîne principale. Les réactions de pontage conduisent à une diminution de solubilité des polymères à la formation de gel. Les réactions de dégradation conduisent à une diminution du poids moléculaire et de la viscosité. Ces réactions sont réalisées soit en irradiant un polymère pur à l'état sec où l'action est directe, soit en irradiant un polymère en solution où l'action est surtout indirecte via les radicaux libres. (Chetioui, et al., 2004)

1.2.1 Effet des Rayonnements Ionisants sur l'Acide Nucléique :

Les altérations directes de l'ADN par les radiations ionisantes ou indirectes par l'intermédiaire des produits de la radiolyse de l'eau aboutissent à 5 grands types de modifications : Addition de produits de la peroxydation des lipides, dégradations des bases, création de sites abasiques, pontage ADN protéines, rupture simple brin ou double brin. C'est la rupture double brin qui est la plus toxique pour la cellule, (Voir **Figure 8**).

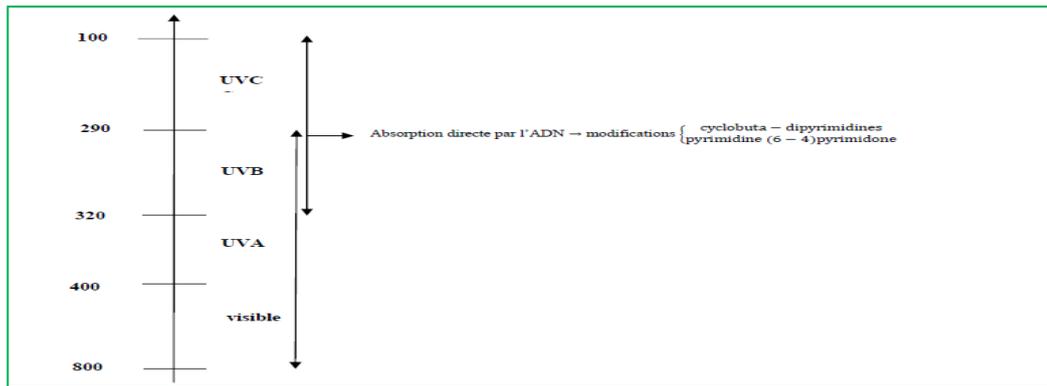


Figure 8. Modifications de la Structure d'ADN Suite à l'Absorption Directe d'UV

La plupart des dommages moléculaires initiaux engendrés par les rayonnements ne présentent pas de conséquence, y compris au niveau de la molécule d'ADN. L'existence de mécanismes de réparation permet en effet de limiter l'expression biologique des dégâts causés.

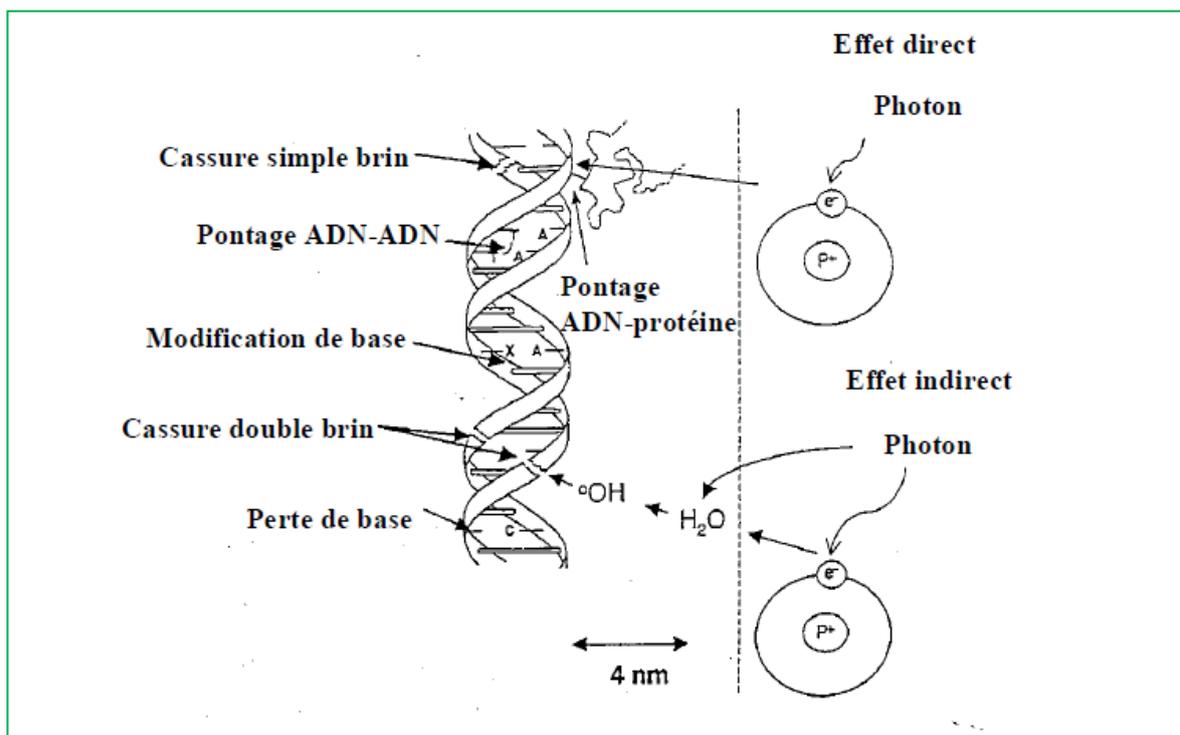


Figure 9. Représentation Schématisée des Lésions de l'ADN Induites par les Effets Directs et Indirects des Rayonnements Ionisants

Cinq grands types de modifications qui résultent de ces deux principaux mécanismes ont été identifiés : les cassures de chaînes d'ADN, les modifications de la structure chimique des bases puriques et pyrimidiques, la création de sites abasiques, la formation de pontages ADN-protéines, la formation d'adduits.

1.2.1.1 Les Cassures :

La rupture de la chaîne d'ADN peut se faire sur un brin ou bien sur les deux brins (cassure simple brin ou double brin). Ces deux types de cassures résultent principalement de l'attaque des radicaux OH^o sur la liaison sucre-phosphate (réaction d'arrachement d'un atome d'hydrogène au niveau du sucre) mais peuvent être produites également après l'action des radicaux hydroxyles sur les bases pyrimidiques. Si deux cassures proches affectent le même brin, il se produira une perte d'un morceau de la chaîne (gap ou lacunes). Ces lacunes peuvent aussi être générées par l'organisme lors du processus de réparation de l'ADN. La fréquence des cassures est estimée autour de 1000 et 500 / cellule / Gy pour les rayonnements ionisants de bas TEL et de haut TEL respectivement. La fréquence des cassures double brin est plus faible (40 /cellule /Gy pour des rayonnements de bas TEL) : cette lésion étant difficilement réparable, elle est considérée comme la lésion la plus délétère.

a. Les Coupures Simples Brins :

Une grande proportion des ruptures simples brins résulte de l'attaque du radical hydroxyle sur la liaison sucre phosphate par arrachement d'un proton au niveau du 2-désoxyribose. Elles peuvent également être produites après l'action de ce même radical sur les bases pyrimidiques. Le nombre de rupture simple brin est 3 à 4 fois plus élevé dans les cellules de mammifères oxygénées que dans les cellules hypoxiques (Tubiana, Dutreix, & Wambersie, 1997).

Le taux de cassures augmente linéairement avec la dose et est d'autant plus faible que le TLE du rayonnement augmente (Pouget, 2000).

L'énergie requise pour provoquer une rupture simple brin est de 10-20 eV. Il s'agit de lésions relativement vite réparées et qui ont peu d'impact en matière de létalité cellulaire.

b. Les Coupures Doubles Brins :

Il s'agit d'une catégorie de lésions parmi les plus délétères. Une rupture double brin résulte de la cassure des deux brins d'ADN à une distance de moins de dix paires de base. Elle peut être produite soit par une particule seule, soit par la combinaison de deux ruptures simples sur les chaînes complémentaires dues à deux particules traversant la même région avant que

La première cassure ait été réparée. Elle est dite homologue si elle se produit au niveau de la même paire de bases, et dite hétérologue dans le cas contraire. Les ruptures hétérologues sont les plus fréquentes (Moustacchi, 2000).

1.2.1.2 Les Altérations de Bases :

Ces altérations résultent de l'attaque des radicaux libres, le radical OH° étant le plus réactif. Les réactions principales sont l'addition du radical OH° sur la double liaison des bases en position C5 et C6 des bases pyrimidiques (cytosine, thymine) et C4 et C8 des bases puriques (Adénine, Guanine) (80%). Il en résulte une pléthore de bases modifiées qui sont pour certaines stables et pour d'autres instables et se décomposent en produits plus stables. Environ une vingtaine de bases modifiées ont été mises en évidence et dont pour certaines le pouvoir mutagène a été mis en évidence in vitro (Cadet, 1999). Produits stables typiques produits par l'attaque du radical OH° sur les bases pyrimidiques et puriques de l'ADN.

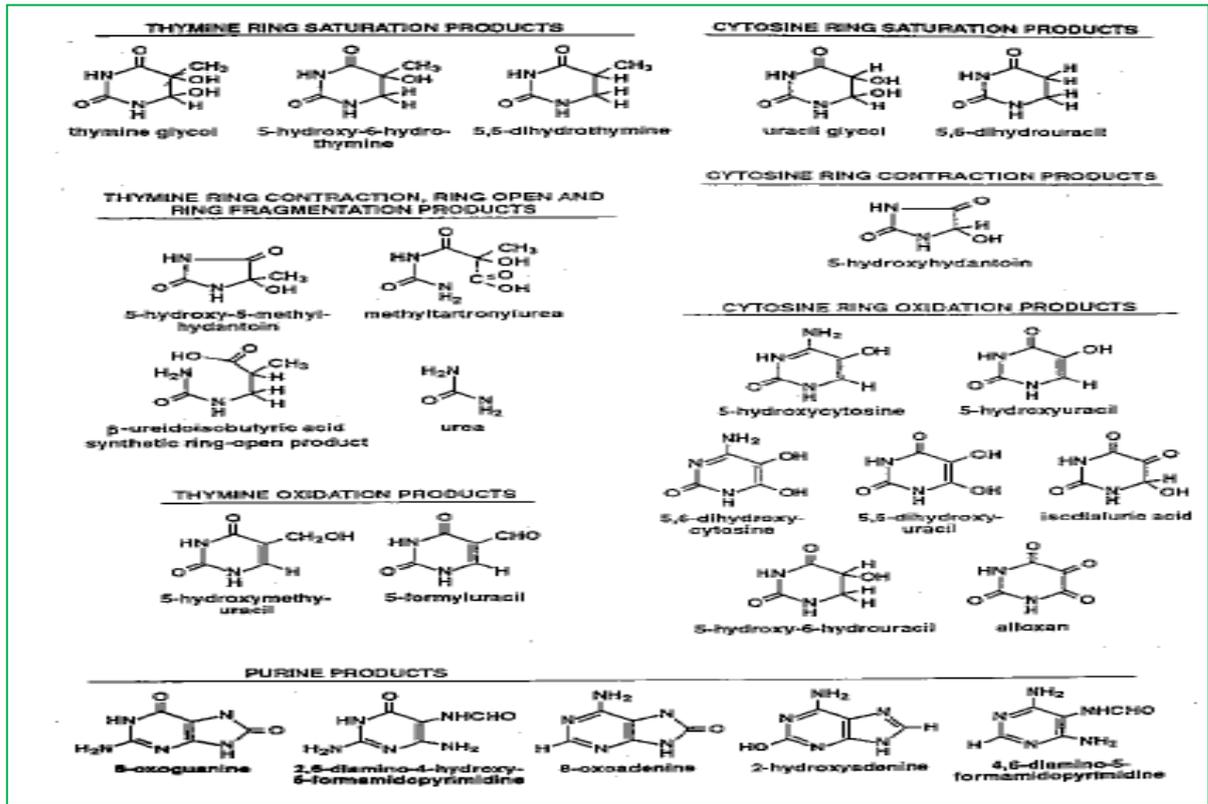


Figure 10. Produits Stables Typiques Produits par l'Attaque du Radical OH° sur les Bases Pyrimidiques et Puriques de l'ADN

Il a été montré que les effets directs produisaient aussi ces mêmes bases altérées mais dans des proportions différentes.

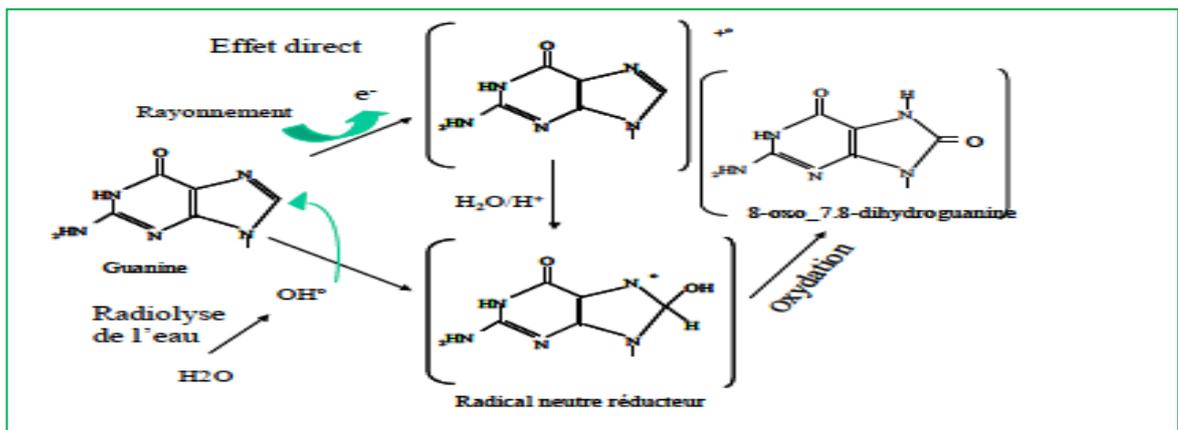


Figure 11. Mécanisme Simplifié d'Oxydation Radicalaire

Cette figure ci-dessus présente le mécanisme simplifié d'oxydation radicalaire de la base guanine conduisant à la formation de 8-oxo-7,8-

dihydroguanine (8-oxoGua). Il a été montré que cette modification de l'ADN peut résulter indifféremment d'un effet indirect par addition du radical hydroxyle en position 8 de la guanine ou d'un effet indirect après arrachement d'un électron du noyau purique (CEA, 2000).

Certaines lésions de bases peuvent provoquer une déstabilisation de la liaison N-glycosidique reliant la base au squelette sucre-phosphate, cette rupture entraîne l'élimination totale de bases (site abasique). S'il s'agit d'une purine ce processus est appelé dépurination ; dans le cas d'une pyrimidine, il est nommé dépyrimidination.

1.2.1.3 Les Pontages :

Les radicaux peuvent aussi être impliqués dans les pontages ADN-protéines quand ils sont produits à la fois dans les protéines et l'ADN. Les pontages ADN-protéines impliquent principalement l'acide aminée tyrosine des protéines et les bases pyrimidiques de l'ADN.

3.1.1.1 Addition à des Bases de l'ADN de Produits Issus de la Peroxydation Lipidique :

Ces produits issus de la peroxydation lipidique sont en général des aldéhydes et réagissent avec les bases des acides nucléiques pour former de multiples adduits, e.g. formation des adduits MDA-DNA (Lawrence, 1999).

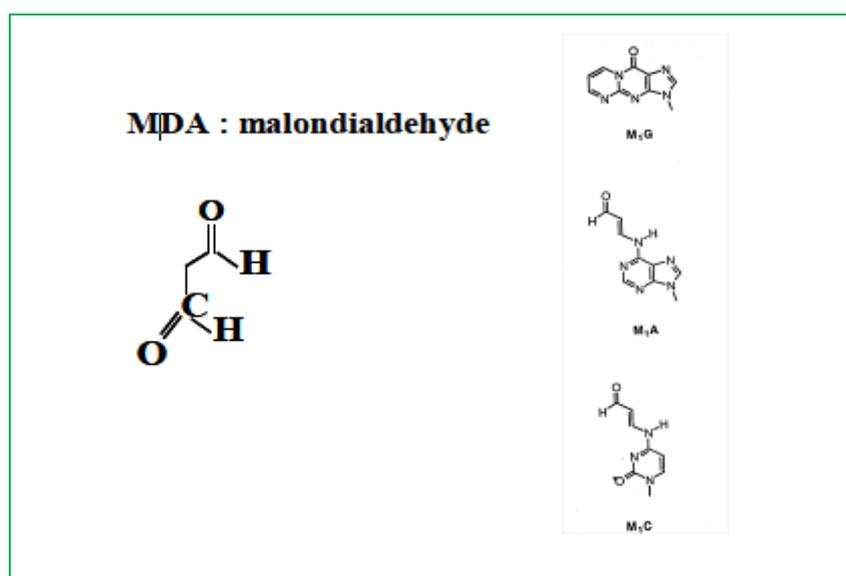


Figure 12. Formation des Adduits MDA-DNA

1.2.1.4 Altération des Sucres :

L'attaque du 2-désoxyribose par les radicaux hydroxyles qui se traduit initialement par un arrachement d'un atome d'hydrogène peut conduire à :

- Une libération du sucre entraînant la coupure d'un brin.
- Un sucre altéré mais toujours relié en 3' ou 5' au squelette phosphodiester (site abasique).
- Un sucre altéré et seulement relié en 3' ou 5' au squelette phosphodiester (formation d'une coupure de brin).

1.2.1.5 Les Aberrations Chromosomiques :

L'irradiation de cellules induit une déstabilisation du génome accompagnée d'une forte mortalité cellulaire dès les premières mitoses après l'exposition aux rayonnements. Une instabilité chromosomique radio-induite a été observée dans des cellules humaines (cellules hématopoïétiques, fibroblastes primaires et lymphocytes). Les cellules survivantes à l'irradiation produisent des descendants qui ont une forte capacité à former de nouvelles aberrations chromosomiques. Ainsi des dommages stables induits par l'irradiation sont longs à se manifester (CEA., 2000).

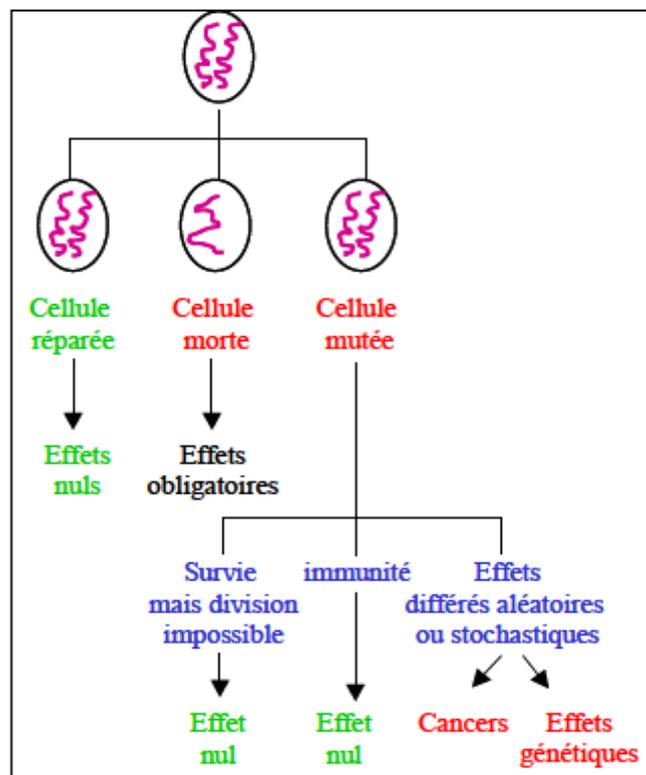


Figure 13. Conséquences Cellulaires de l'Irradiation

On distingue parmi les aberrations chromosomiques produites par les radiations ionisantes des anomalies soit de nombre, soit de structure (effets clastogènes), visibles au microscope. Il existe en outre des aberrations qui échappent à l'examen microscopique mais qui peuvent avoir des conséquences fonctionnelles graves (mutations géniques).

Aucune corrélation entre la dose de radiations et des anomalies de nombre de chromosomes n'a pu être établie. C'est pourquoi, il n'est pris en compte que les anomalies de structure qui peuvent être de différents types à savoir des aberrations chromosomiques ou chromatidiques selon le moment au cours du cycle cellulaire où l'irradiation a lieu. Ces anomalies sont d'ailleurs utilisées comme dosimètres biologiques (Boissière, 2004).

1.2.2 Effet des Rayonnements Ionisants sur Protéines :

Quatre-vingt-dix pour cent des lésions produites par les rayonnements ionisants sont dues à l'attaque des radicaux oxygénés issus de la radiolyse de l'eau. Même si l'ADN représente la principale cible de ces radicaux, il ne faut pas négliger leurs effets sur les protéines constitutives de la cellule. Ces derniers entraînent essentiellement des réactions d'oxydation des protéines.

Les protéines les plus sensibles aux attaques radicalaires sont surtout celles qui comportent un groupement thiol (SH). C'est le cas de nombreuses enzymes cellulaires et protéines de transport qui vont ainsi être oxydées les rendant inactives.

Par exemple, les résidus cystéines des protéines sont très sensibles à l'oxydation et lorsque deux résidus cystéines sont proches, ces derniers forment par oxydation des ponts disulfures aboutissant à l'inactivation de la ou des protéines porteuses de ces résidus. Ces ponts peuvent être réduits par des enzymes présentes dans la cellule. D'autres lésions irréversibles conduisent à la formation d'un intermédiaire radicalaire. Les protéines peuvent alors soit subir des réticulations par formation notamment de ponts bityrosine détectables par leurs fluorescences, soit subir des coupures en cas d'agression forte, soit des modifications de certains acides aminés en cas d'agressions modérées. Les protéines modifiées par oxydation deviennent beaucoup plus sensibles à l'action des protéases. Les protéines oxydées deviennent aussi très hydrophobes et vont pouvoir former des amas dans et autour des cellules.

En résumé, l'attaque oxydante des radicaux sur les protéines se traduit essentiellement par une modification de la structure secondaire et tertiaire de ces dernières (dénaturation, fragmentation, formation d'agrégats). Dans tous les cas les protéines ne sont

plus fonctionnelles et peuvent s'agréger sans être détruites par le protéasome (PROUILLAC, 16 octobre 2006).

1.2.3 Mécanisme d'Action des Rayonnements Ionisants sur les Molécules Organiques :

Sous l'action d'un rayonnement de haute énergie, les molécules des aliments sont transformées. En effet, elles perdent un électron de surface et se transforment en ions. L'ionisation de l'eau joue dans ce processus le rôle essentiel. Elle aboutit à des ions H_2O^+ qui se décomposent à leur tour en ions H^+ et en radical hydroxyle $[OH\bullet]$. Ces derniers sont très réactifs et réagissent avec les différents constituants de l'aliment en les transformant en radicaux libres dont les recombinaisons peuvent redonner les produits de départ ou, au contraire, déboucher sur des transformations importantes et définitives (cas des lipides). Les sucres simples ne sont pas notablement modifiés jusqu'à 10 kGy. Les amidons sont dépolymérisés à partir de 5 kGy avec production de glucose, maltose, dextrines, etc...

Les lipides insaturés subissent des oxydations et les réactions de rancissement sont importantes. Les vitamines A et E sont sensibles au traitement mais peuvent être en grande partie préservées par congélation préalable du produit. La vitamine B1 est la plus radiosensible. La vitamine C s'oxyde d'abord en acide déhydroascorbique qui possède l'activité vitaminique C. Les enzymes sont peu affectées et les réactions défavorables qu'elles sont susceptibles de catalyser peuvent se poursuivre dans l'aliment irradié. Les toxines microbiennes ne sont pas détruites aux doses habituelles. Les complexes pectocellulosiques des aliments végétaux subissent des hydrolyses partielles dont l'effet sur la texture peut être très important (perte de fermeté des fruits irradiés). Les acides nucléiques (ADN et ARN) subissent des hydrolyses partielles qui rendent impossibles la lecture et l'expression du code génétique. Par ailleurs, il peut se former des liaisons entre bases qui contribuent à la non-fonctionnalité de ces molécules.

Ce sont surtout ces altérations des acides nucléiques qui empêchent la division cellulaire et par conséquent qui "inactivent" les insectes, germes, microorganismes et virus. Les glucides ne sont pratiquement pas modifiés par les rayonnements ionisants.

Les radicaux libres produits se recombinent avec les électrons et les ions disponibles pour redonner le composé de départ. Diverses recombinaisons de type G sont possibles mais leurs incidences sont faibles. D'une façon générale, les glucides sont moins altérés par un traitement thermique (Lalpen, 2005).

1.2.4 Effet Cellulaire des Rayonnements Ionisants :

Parmi les lésions élémentaires produites par une irradiation au niveau de la cellule on distingue trois types de lésions :

- Les lésions létales, qui touchent les fonctions vitales de la cellule et sont irréparables.
- Les lésions sublétales, qui ne sont pas individuellement létales, et sont donc réparables ; leur accumulation peut tout de même conduire à la mort cellulaire.
- Les lésions potentiellement létales si la division cellulaire intervient avant leur réparation mais qui peuvent aussi être réparées si les conditions et l'environnement cellulaire post-irradiation le permettent.

1.2.4.1 La Mort Cellulaire :

En radiobiologie, le terme de mort cellulaire ne concerne que les cellules qui ont perdu leur capacité à se diviser quasi-indéfiniment c'est-à-dire celles pour lesquelles la descendance n'existe plus. En effet, pour des doses d'irradiations faibles, certaines cellules vont encore être capables de synthétiser des protéines ou de l'ADN mais elles auront perdu leur capacité de prolifération. Au contraire, pour des doses d'irradiations élevées, de quelques centaines de Grays, nous observons l'arrêt de toute fonction cellulaire et la cytolyse : il s'agit alors d'une mort immédiate par opposition à la mort différée causée par des doses d'irradiation plus faibles.

La notion de mort différée ne s'applique pas aux cellules différenciées qui ne se divisent plus dans les conditions normales telles que la plupart des cellules musculaires ou les cellules sécrétrices. Ces dernières sont très résistantes aux rayonnements (CDG, 1999).

1.2.5 Effet Tissulaire des Rayonnements Ionisants :

1.2.5.1 Radiosensibilité des Différents Tissus : (Tubina & Bertin, 1989)

- a) **Peau** : Les effets sont fonction de la dose. 5 à 10 Gy (dose unique) entraîne un érythème passager vers le 8^{-ème} jour ; 15 à 20 Gy a pour conséquence une épidermite exsudative laissant des séquelles pigmentées. Pour des doses supérieures à 20 Gy, il y aura apparition d'une nécrose cutanée, avec restauration lente et incomplète. Des irradiations répétées de doses faibles, pendant des années, entraînent une radiodermite (Voir Figure 10).

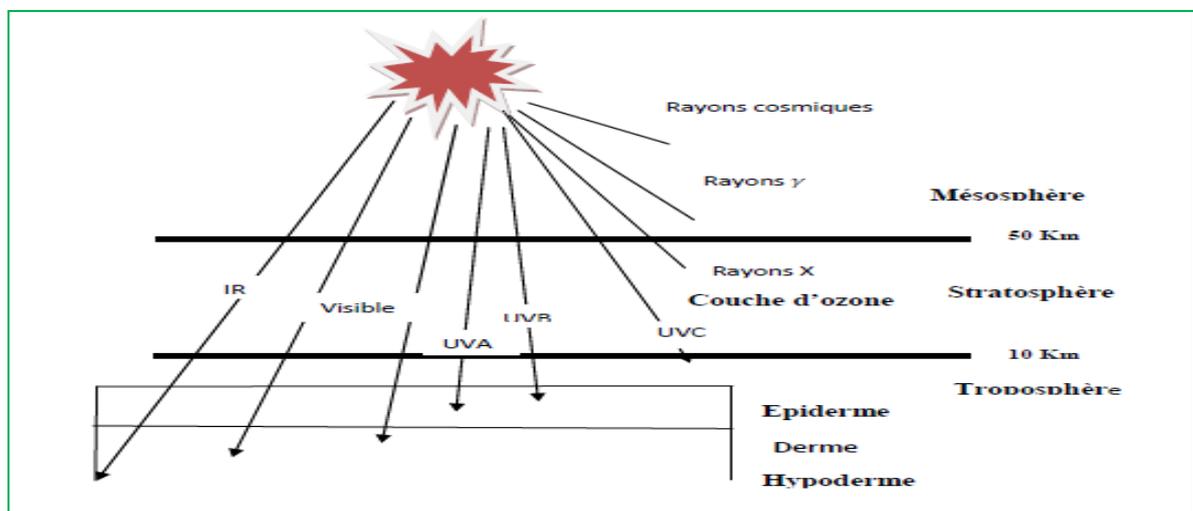


Figure 14. Spectre Solaire et son Action sur l'Épiderme

- b) **Ovaires** : Une dose unique de 10 Gy entraîne la destruction totale des ovocytes avec pour conséquences immédiates une stérilité et un tarissement des sécrétions.
- c) **Testicules** : Une dose unique de 10 Gy a pour conséquence une disparition totale des spermatozoïdes, mais le tissu interstitiel n'étant pas détruit, la stérilité ne s'accompagnera pas d'un tarissement des sécrétions hormonales (comme dans le cas des ovaires).
- d) **Intestin** : Une dose unique de 10 Gy provoque, après un délai de 5 à 6 jours, des ulcérations de la muqueuse, avec infection et hémorragies.
- e) **Cristallin** : Une cataracte peut apparaître plusieurs années après une dose de 4 Gy.
- f) **Reins, poumons, foie** : Ces organes sont fonctionnellement détruits ou gravement altérés avec des doses de 20 à 30 Gy délivrés de 2 à 3 semaines.
- g) **Le système nerveux central** : Peut-être irrémédiablement lésé pour une dose de 40 Gy en 4 semaines.

h) Le système hématopoïétique : Est très radiosensible (doses inférieures de 1 Gy) mais les manifestations hématologiques importantes n’existent que pour des irradiations très étendues.

Nous résumons la plupart des effets des radiations ionisantes au niveau tissulaire sous forme de tableau suivant :

Tableau 3. Les Effets des Radiations Ionisantes au Niveau Tissulaire

Organe	Effet	Aiguë	Étalée
Encéphale	Œdème	12	50
Tissu hématopoïétique	Aplasie médullaire	2 à 5	
Tube digestif	Radio- mucine, ulcérations	5	30 (grêle)-
Testicules	Azoospermie	0.3 à 6	
Ovaires	Arrêt ovulatoire et endocrine	12 à 15	
Peau	Erythème	4 à 8	
	Dermite exsudative	12 à 20	
	Atteinte chroniques du derme	> 20	
Œil	Cataracte (après plusieurs années)	10 à 20	
Poumons	Fibrose (poumon radique)	25	
Reins	Radio néphrite (6-20moins)⇒ HTL	30	
Moelle épi nième	Myélite ⇒tétraplégie	40	
Foie	Hépatite	40	
Cœur	Péricardite, myocardite	50	
Os	Fractures pathologiques (enfant : troubles de croissance)	70	
Lymphatiques	Sclérose ⇒Lymphoedème		

Il ressort de ce tableau qu’en cas d’irradiation du corps entier (qui, dans une situation accidentelle, est toujours hétérogènes), les organes les plus radiosensibles sont la moelle osseuse et le tube digestif. Si la dose est supérieure à 12 Gy, le sujet meurt d’œdème cérébral, aux très fortes doses, l’atteinte des autres organes n’aura pas le temps de se manifester. Les doses indiquées concernent donc des irradiations localisées.

En radiothérapie, elles sont très importantes à considérer car elles fixent les zones à ne pas dépasser sur tel ou tel volume cible (dépendant de la topographie de la tumeur traitée) pour ne pas entrainer de séquelles majeures (Cusstre, 2005).

1.2.5.2 Facteurs de la Radiosensibilité Tissulaire (NSD) :

Les facteurs et paramètres définis auparavant et influençant les courbes de survie cellulaire interviennent également au niveau de la radiosensibilité tissulaire. On peut cependant reprendre et préciser certains d'entre eux.

✓ Influence de l'âge des organismes irradiés :

La radiosensibilité embryonnaire et fœtale est particulièrement grande. Une irradiation sur l'œuf fécondé au moment de la nidation (8 jours chez la femme) aboutit presque toujours à la mort et l'expulsion de l'œuf. Une irradiation pendant les trois premiers mois de grossesse peut entraîner des malformations d'autant plus graves que l'irradiation est précoce et intense. La radiosensibilité de la thyroïde varie considérablement en fonction de l'âge très vulnérable chez l'enfant, la glande devient beaucoup plus radiorésistance chez l'adulte.

✓ Influence du volume irradié:

Plus le volume irradié est important et plus les conséquences d'irradiation seront graves.

✓ Importante de l'énergie et de la nature des rayonnements :

Lorsqu'un patient est irradié sur une partie du corps, le maximum de dépôt d'énergie dans les tissus se produit à une profondeur correspondant à ce qui est appelé en physique nucléaire l'équilibre électronique. Plus l'énergie d'un rayonnement est élevée et plus cet équilibre électronique se produit en profondeur. Il est donc fondamental de maîtriser parfaitement l'énergie d'un rayonnement pour donner le maximum d'énergie à la tumeur et protéger au mieux la peau du patient. De plus, nous avons déjà vu l'influence de la nature des particules qui nous avait conduits à définir la notion d'EBR. Un rayonnement sera d'autant plus efficace que son EBR (efficacité biologique relative) sera élevée.

✓ Le facteur temps :

Du fait de la restauration cellulaire, la façon dont la dose est délivrée dans le temps, sur un volume cible donné, est extrêmement importante. La restauration des cellules saines étant plus rapide que celle des cellules tumorales, un fractionnement de la dose entrainera un traitement de meilleure qualité. A la suite d'études de réactions cutanées lors du traitement d'épithéliomas, une relation empirique a été établie permettant de connaître la dose unique (Nominal Single Dose ou NSD) qui aurait entraîné le même effet :

$$NSD = D_T \times N^{-0.24} \times t^{-0.11}$$

Où DT représente la dose totale délivrée à la peau, N représente le nombre de séances et t représente le temps écoulé en jours entre deux séances d'irradiation (DABURAND, 1997).

1.2.6 Effets de Rayonnements Ionisants sur l'Organisme (Corps Entier) :

Les risques liés à l'irradiation sont de deux ordres : un risque aléatoire ou stochastique et un risque direct 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 dû à l'effet physique de l'irradiation. Il apparaît toujours au-delà d'une certaine dose mais sa gravité augmente avec la dose reçue (Keith, Murray, & Spoo, 1999).

1.2.6.1 Effet Déterministe (Cordoliani, 2002)

Une exposition à de fortes doses de rayonnements ionisants supérieures à un certain seuil résulte en des effets sanitaires précoces qui apparaissent au bout de quelques jours ou quelques semaines après l'irradiation. Ces effets sont dits déterministes car ils sont reproductibles : pour une dose donnée, ils sont prévisibles. Leur gravité augmente avec la dose reçue et leur traitement relève de la médecine d'urgence. Parmi ces effets, on compte des effets précoces tels que l'inflammation des tissus et des effets plus tardifs tels que les brûlures radiologiques, la fibrose ou la nécrose des tissus. Certains des effets déterministes sont décrits dans le tableau 1. En termes de dose équivalente corps entier, le seuil d'apparition de ces effets est estimé à 500 mSv, mais les effets d'une exposition à de fortes doses dépendent également de la répartition de la dose dans le corps. Une dose de plus de 5 Gy reçue sur le corps entier est mortelle une fois sur deux en l'absence de traitement, mais lors de radiothérapies, des doses à l'organe allant jusqu'à 60 Gy peuvent être utilisées pour cibler une tumeur.

Donc, les effets déterministes apparaissent de façon inéluctable lorsque la dose reçue est supérieure à un seuil et généralement peu après une irradiation. Le délai d'apparition des effets est d'autant plus court que la dose est élevée. Le seuil d'apparition de ces effets est variable selon l'individu ; certaines maladies touchant les mécanismes de réparation de l'ADN rendent les personnes atteintes plus sensibles aux effets des radiations (xérodermie pigmentosum). D'autre part, le seuil d'apparition des effets augmente avec le débit de dose et l'étalement de la dose dans le temps. Lors d'une irradiation globale, les effets se manifesteront en premier lieu

au niveau des organes les plus radiosensibles (tissu hématopoïétique, cellules intestinales). Lors d'une irradiation partielle les effets dépendent de la région irradiée.

a. *Le Syndrome d'Irradiation Aiguë (Cervený, MacVittie, & Young, 1989)*

Le syndrome d'irradiation aiguë est l'exemple caractéristique des effets déterministes ; lorsque l'organisme est soumis à une courte et forte irradiation, des symptômes caractéristiques apparaissent dont la gravité dépend de la dose reçue. Ce syndrome ne peut donc être observé que lors d'accident nucléaire tel que celui de Tchernobyl ou d'explosion de bombes atomiques (Hiroshima, Nagasaki). Généralement, ce syndrome se décline en trois phases : une phase dite prodrome (vomissements, nausées, céphalées) suivie d'une phase de latence puis de la réapparition de signes cliniques évoqués qui caractérisent la phase d'état.

Il est possible de distinguer les différents effets cliniques en fonction de la dose comme suit :

- **Dose inférieure à 0,5 Gy :**

Aucun effet clinique n'est réellement mesurable, seule une légère modification dans la numération formule peut-être observée (baisse du nombre de lymphocytes).

- **Dose de 1 à 2 Gy :**

A partir de 1 Gy apparaissent les premiers signes digestifs caractéristiques de la phase prodromique tels que des nausées et des vomissements. Ces signes apparaissent rapidement et sont suivis de ce qu'on appelle « le mal des rayons » (malaise, asthénie, anorexie).

- **Dose de 2 à 4 Gy :**

L'atteinte du système hématopoïétique (baisse importante des leucocytes, thrombocytopenie) nécessite une surveillance étroite afin de mettre en place une antibiothérapie rapide le cas échéant.

- **Dose de 4 à 6 Gy :**

La dose létale 50 % chez l'adulte est estimée à 4,5 Gy en l'absence de traitement. Le tableau clinique correspond à une modification sévère de la numération formule témoignant d'une atteinte importante du système hématopoïétique.

- **Dose de 6 à 10 Gy :**

En l'absence de traitement la dose de 6 Gy représente la dose mortelle dans 100 % des cas. En plus des manifestations digestives, dès 8 Gy les manifestations cliniques se caractérisent

par une atteinte du système pulmonaire. Le pronostic dépend de l'âge, des lésions associées ou préexistantes et du traitement.

- **Dose de 10 à 20 Gy :**

Le décès est inéluctable dans un délai inférieur à une semaine. Les signes cliniques sont digestifs, respiratoires avec une granulopénie et une thrombocytopénie sévère.

- **Doses supérieures à 30 Gy :**

Dès 50 Gy, des désordres neurologiques importants apparaissent. La mort survient dans les 48 heures.

b. Effets sur la Peau :

Aucun effet n'est observé pour une dose inférieure à 3 Gy. Par contre entre 3 et 5 Gy, il peut apparaître une épidermite sèche dans un délai de 3 semaines. L'érythème précoce (« coup de soleil ») apparaît dans les premières heures d'une exposition à 5 Gy. Pour une dose supérieure à 30 Gy, apparaît une nécrose cutanée dont le seul traitement est la greffe.

c. Effets sur les Gonades :

Une irradiation à une dose voisine de 0,15 Gy peut provoquer une stérilité transitoire chez l'homme. Cependant une exposition à une dose de 4 à 6 Gy entraîne une stérilité définitive sans atteinte des capacités et caractères sexuels. Chez la femme, pour une dose de 3 à 6 Gy, il y a stérilité définitive avec modifications des caractères sexuels (ménopause précoce).

d. Effets Stochastiques :

Une exposition à des doses faibles à moyennes de rayonnements ionisants entraîne des effets dont la fréquence d'apparition augmente avec la dose. L'apparition de ces effets étant aléatoire et non reproductibles, on parle d'effets stochastiques. Ces effets sont dus à des modifications biologiques des cellules exposées, et notamment de l'acide désoxyribonucléique (ADN) cellulaire, induites par l'exposition aux rayonnements ionisants. Ce sont des effets tardifs, qui apparaissent plusieurs années, voire plusieurs décennies après l'exposition. Cette catégorie inclut les cancers (UNSCEAR, 2010). L'épidémiologie permet de caractériser et de quantifier les effets stochastiques d'une exposition aux rayonnements ionisants au sein des populations.

Les effets stochastiques ou aléatoires résultent de la modification du matériel génétique qui induit des cancers si ces modifications affectent des cellules

somatiques ou des modifications phénotypiques de la descendance si elles touchent les cellules germinales. Ces effets n'ont pas de seuil et sont observables par des études épidémiologiques très longtemps après l'exposition. La gravité de l'effet ne dépend pas de la dose. Cependant même si la relation dose-effet est plus difficile à établir que pour les fortes doses, il n'existe pas de dose seuil en dessous de laquelle il n'y a pas d'effet.

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 45 000 personnes, 15 000 dans les 3 premières semaines et 60 000 au cours de la première année. Lors de l'explosion de Nagasaki, 31 000 personnes sont décédées immédiatement, 32 000 dans les 3 premières semaines et 17 000 dans l'année qui suivit. Suite à ces deux événements, diverses études ont été mises en place pour évaluer l'effet des rayonnements.

Globalement, ces études montrent clairement l'implication des radiations dans la survenue de cancers chez les survivants des deux explosions atomiques japonaises dans les années suivantes : sur une population de 86000 personnes surveillées, 75 cas supplémentaires imputables aux radiations de leucémies entre 1950 et 1985 et 306 cas de cancers ont été observés (Cosset, 1997).

D'autres études concernant des circonstances non accidentelles d'exposition aux radiations ont été réalisées : par exemple, l'utilisation jusque dans les années 50-60 de la radiothérapie dans le traitement d'affections non malignes, telle que la spondylarthrite ankylosante, a provoqué l'augmentation de l'incidence du risque de cancers secondaires pour certaines de ces maladies. Dans le cas de la spondylarthrite ankylosante, la probabilité de développer une leucémie a été multiplié par cinq (Cosset, 1997).

L'augmentation du risque de cancer pour une population exposée est plus importante pour les cancers de la moelle osseuse (leucémie), de la thyroïde, du sein et des os. Les enfants sont plus sensibles aux cancers radio induits que les adultes. (Kesminiene & Zablotska, 2014) L'effet des radiations sur l'embryon et le fœtus dépend du stade de développement.

Tableau 4. Résumé des Effets Déterministes Provoqués par Différentes Doses d'Irradiation (Surmont, 2005)

Effets déterministes décrits pour des expositions à des rayonnements gamma ou X	
Effets déterministes recensés	Dose d'irradiation
Stérilité masculine temporaire	à partir de 0,15 Gy
Diminution temporaire des leucocytes (famille de globules blancs)	de 0,2 à 1 Gy
Nausée, asthénie Modification de la formule sanguine Effet immunodépresseur (risques d'infections) <i>Sous surveillance médicale, le retour à la normale se produit rapidement.</i>	de 1 à 2 Gy
Risque de stérilité féminine	à partir de 2,5 Gy
Stérilité masculine définitive	de 3,5 à 6 Gy
Aplasia (arrêt ou insuffisance du développement d'un tissu ou d'un organe). En l'absence de traitement, au moins la moitié des personnes irradiées meurent et il existe des risques de séquelles.	à partir de 4,5 Gy
Atteinte oculaire (survenue possible de cataracte de 1 à 10 ans après l'irradiation)	à partir de 5 Gy
Atteinte gastro-intestinale	6 Gy
Atteinte pulmonaire	8 Gy
Coma, mort cérébrale Mort inévitable	au delà de 10 Gy

1.2.6.2 Détriment :

Cette notion a été introduite pour rappeler que les risques stochastiques liés aux rayonnements ne peuvent pas être isolés des autres facteurs mutagènes auxquels nous sommes exposés. Le **détriment** permet de comparer les risques entre eux. C'est bien entendu une notion en partie arbitraire. Le **coefficient de détriment** d_T doit prendre en compte : La radiosensibilité des tissus, la gravité des cancers radio-induits, la latence de leur apparition et la qualité de vie des survivants et la **dose équivalente** reçue par chaque tissu H_T .

Le **Détriment** correspond à la probabilité, pour une irradiation donnée, d'avoir des effets sur la santé équivalente à une diminution de la durée de vie de 15 ans (Boucher & Averbeck, 2005).

$$\text{Détriment} = \sum_T d_T \cdot H_T$$

Les coefficients doivent être :

- Multipliés par 2 pour les doses et débits de dose élevée,
- Multipliés par 2 ou 3 pour les jeunes enfants,
- Divisés par 3 après 60 ans.

Cette notion de détriment est à considérer en relation avec les autres facteurs de risque conduisant aux mêmes conséquences néfastes. Certaines substances chimiques sont dites radiomimétiques parce qu'elles provoquent des mutations génétiques semblables à celles entraînées par les rayonnements ionisants (altérations des bases, cassures des liaisons, pontage, distorsion des brins d'ADN), et pour lesquelles les mêmes mécanismes de réparation entrent en jeu. Une équivalence des risques entre les substances mutagènes et les rayonnements ionisants peut être établie par l'intermédiaire d'une unité : le **REC** (Eggermont, De Saint-Georges, & Vanmarcke, 2006).

Celui-ci est défini comme étant la dose de substance mutagène (ou plus exactement sa concentration multipliée par le temps) ou Rad-Equivalent Chimique (le rad, ancienne unité, vaut 1 cGy) qui produit le même dommage génétique que 1 cGy de rayonnement ionisant en situation d'irradiation chronique.

Par exemple, en termes de risques mutagènes susceptibles d'engendrer un cancer du poumon, on peut dire que fumer un paquet de cigarettes par jour pendant un an équivaut à 150 fois la dose de l'exposition naturelle moyenne annuelle ! Ceci signifie clairement que pour un paquet année, le risque de cancer mortel est doublé (Alain Durand, 2004).

1.2.6.3 Le Problème des Faibles Doses et de l'Existence d'un Seuil (Notion d'Instabilité Génétique) :

Comme nous l'avons vu précédemment, les effets délétères au niveau du génome n'apparaissent que lorsque l'équilibre entre lésion et réparation est rompu au point que des lésions ne peuvent plus être réparées correctement, mais persistent car les capacités d'apoptose sont également dépassées.

Ceci veut très certainement dire qu'en dessous d'une certaine dose, la cellule restaure son intégrité à 100%. Il existe donc probablement, d'un point de vue scientifique, un seuil en dessous duquel le risque stochastique est nul.

Cependant, l'existence de ce seuil n'a pas encore pu être prouvée, et en radioprotection, on continue de considérer que ce seuil n'existe pas. En revanche, cette notion de seuil est intéressante car elle a pour corollaire (le seuil n'ayant aucune raison d'être le même pour tous les sujets) celui de la susceptibilité individuelle aux effets stochastiques des rayonnements. Ceci rejoint la notion d'instabilité génétique, introduite en 1984, où il a été montré que les mutations retrouvées tardivement, après 20 à 30 divisions cellulaires dans les fibroblastes de l'embryon de souris irradié avant

l'implantation dans l'utérus, ne correspondaient pas aux mutations initialement induites.

L'interprétation de ce phénomène correspondrait à une forme d'instabilité génétique, influencée par une prédisposition et majorée par l'exposition aux rayonnements. L'effet de ceux-ci serait donc moins d'induire des mutations directes, que d'augmenter l'instabilité c'est-à-dire la facilité de mutation du génome en réponse à diverses agressions.

Cette instabilité a également été observée dans des cellules voisines non exposées (effet Bystander, effet non ciblé).

Le mécanisme conduisant à l'instabilité du génome est devenu un point crucial en matière de cancérogenèse en général et de controverse scientifique sous-tendant le concept de linéarité entre la dose et l'effet (Miallier, Pilleyre, Sanzelle, & Scovronec, 2006).

a. Relation Linéaire Sans Seuil :

La relation linéaire sans seuil (RLSS) consiste à admettre que les effets biologiques stochastiques peuvent apparaître indépendamment de la dose d'irradiation et débit de dose ; même pour des doses infimes et débits de dose très faible ; cette notion a été créée pour permettre aux théoriciens de la radioprotection d'approcher les effets biologiques potentiels ou supposés des doses successives délivrées dans des conditions très diverses. Ce principe se repose sur le raisonnement suivant :

Une irradiation, quel que soit la dose, délivre un ou plusieurs électrons à la cellule permettant le passage de l'électron dans le noyau qui peut entraîner un dépôt d'énergie suffisant pour causer une cassure double-brins de l'ADN par effet stochastique. Cela veut-dire que toute dose peut causer une mutation. Cette théorie est aujourd'hui discutée malgré qu'elle ne repose pas sur des preuves scientifiques ni sur constats épidémiologiques la RLSS est maintenue dans la réglementation par précaution et souci de simplicité (Madoux, 2012).

1.2.7 Effets Héritaire Génétique :

L'irradiation des gonades est susceptible d'induire des effets héréditaires. Les études expérimentales chez les mammifères montrent que l'on a eu tendance à majorer l'importance des effets héréditaires dus aux rayonnements ionisants.

Toute mutation non réparée de l'ADN d'une cellule germinale, et non létale pour la cellule, peut en principe se transmettre aux générations suivantes et se manifester par des troubles héréditaires dans la descendance du sujet exposé. Les études épidémiologiques n'ont pas révélé, avec un degré de confiance statistiquement significatif, d'effets héréditaires des rayonnements chez l'homme. Toutefois, d'après l'expérimentation génétique sur une grande variété d'organismes et diverses études cytologiques, et compte tenu des limitations statistiques des constatations négatives chez l'être humain, on suppose prudemment que l'irradiation peut quand même avoir des effets héréditaires sur l'être humain, dont les causes seraient les suivantes :

- Mutation dominante (c'est-à-dire de l'allèle dominant d'un gène, qui peut n'être hérité que d'un seul parent et mener à des troubles chez la première génération et traverser plusieurs générations sans se manifester).
- Mutation récessive (c'est-à-dire de l'allèle récessif, qui ne peut être hérité que des deux parents sinon l'allèle dominant s'impose et produit peu d'effets dans les premières générations mais s'accumule dans la masse génétique de la population, c'est-à-dire la totalité de son patrimoine génétique) ;
- Des désordres multifactoriels causés par des mutations dues à l'interaction de divers facteurs génétiques et environnementaux. Le déclenchement de troubles héréditaires par l'irradiation est moins bien compris que celui de la carcinogenèse, mais les suppositions sont les mêmes : l'origine stochastique unicellulaire du trouble due à un effet quelconque des rayonnements peut fort bien être l'initiateur. Aussi suppose-t-on, dans ce cas également, que la réponse aux faibles doses de rayonnement est une fonction linéaire de la dose et sans seuil.

1.2.7.1 Modèles de Troubles Héréditaires :

Vu le manque de preuves épidémiologiques directes, l'incidence des effets héréditaires radio-induits chez l'être humain est évaluée par deux méthodes indirectes qui exploitent les résultats d'expériences sur l'animal.

- **La méthode de la dose doublée** (ou de mutation relative) permet d'estimer le supplément de cas d'affections héréditaires imputables au rayonnement en le rapportant à l'incidence naturelle (de cette affection). On obtient ainsi la probabilité de radio-induction de l'affection héréditaire par rapport à son incidence naturelle générale dans la population (en d'autres termes, la dose doublée est la dose qui devrait normalement provoquer des mutations aussi nombreuses que celles qui se produisent

spontanément dans une génération, et on l'obtient en divisant le taux de mutation spontanée au locus d'un gène déterminé par le taux de mutations induites par unité de dose).

- **La méthode directe (ou des mutations absolues)** évalue directement la probabilité d'incidence des affections héréditaires en combinant le nombre de gènes qui peuvent être mutés avec le nombre probable de mutations par unité de dose et la dose elle-même. On détermine ainsi la probabilité d'affections héréditaires en termes absolus, c'est-à-dire l'augmentation probable de l'incidence. Dans les évaluations du risque, on n'inclut généralement pas les nombreuses affections et troubles héréditaires d'étiologie complexe et multifactorielle, étant donné que l'irradiation ne devrait en principe n'avoir que peu d'effet sur l'incidence de ces troubles, ce qui est, en outre, très incertain. (Gonzalez, 2012)

1.2.8 Effet sur l'Embryon et Fœtus :

Les effets de l'irradiation *in utero*, autrement dit sur l'embryon, se produisent à tous les stades du développement de ce dernier, depuis le zygote jusqu'au fœtus et peuvent être létaux, ou causer des malformations, l'arriération mentale et le cancer, les trois premières conséquences résultant d'effets déterministes pendant le développement de l'embryon, notamment au stade de l'organogenèse. La preuve des effets sur le développement de l'encéphale vient de l'observation de plusieurs cas de grave arriération mentale chez des enfants exposés *in utero* à Hiroshima et Nagasaki. La radioexposition *in utero* à des doses ou débits de dose élevés, plus spécialement entre la huitième et la quinzième semaine après la conception, semble provoquer une réduction du quotient intellectuel (QI). Aux faibles doses, cet effet possible sur l'embryon n'est pas décelable chez le nouveau-né. Les études de l'exposition *in utero* ont abouti à des conclusions contradictoires quant à la carcinogenèse chez l'enfant, entre un risque relativement grave et un risque essentiellement faible et non détectable, et peut-être même aucun risque. Aucune raison biologique ne permet de supposer que l'embryon est résistant à la carcinogenèse, mais ce que l'on sait pour le moment ne permet pas de quantifier les effets avec certitude. (AIEA, 1994)

Les effets des rayonnements ionisants sur l'embryon et le fœtus dépendent de l'âge de la grossesse, de la dose et de la nature du rayonnement. Selon l'âge de la grossesse, on distingue trois stades :

- **Pré - implantation** (0 - 8 jours) : A ce stade, les rayonnements ionisants agissent en tout ou rien. Soit ils produisent une destruction de l'œuf entraînant un avortement spontané (qui passe souvent inaperçu), soit la grossesse se poursuit normalement.
- **Organogenèse** (9 - 60 jours) : Une irradiation entraîne un risque de mort in utero au début de l'organogenèse, puis de malformations et de mort néonatale ou postnatal. C'est la période où la radiosensibilité est maximale.
- **Période fœtale** (60 - 270 jours) : Une irradiation peut provoquer des défauts de croissance, une fragilité postnatale, des malformations du système nerveux et augmente la fréquence des cancers de l'enfant. La fréquence de ces effets et les doses auxquelles ils risquent de survenir sont connus de manière approximative (CEA, 2002).

1.2.8.1 Mort en Utéro-néonatale et Post Natal :

La radiosensibilité de l'embryon humain avant nidation n'est pas connue avec précision. Chez la souris, une dose de 0.5 gray est létale à ce stade de 50% des cas. Pendant l'organogenèse, une dose supérieure à 4 grays entraîne presque toujours la mort in utero. Pour les enfants irradiés in utero lors des explosions nucléaires d'Hiroshima et Nagasaki en 1945, la mortalité a été supérieure à la normale pendant la première année.

1.2.8.2 Malformation :

Particulièrement fréquente pendant l'organogenèse, les malformations touchent :

- Le système nerveux central avec risques de microcéphalie et d'arriération mentale (cet effet n'a jamais été observé au-dessous de 0.2 gray).
- L'œil avec risques d'anophtalmie et de microphthalmie.
- Le squelette avec risques de pied bot, d'adactylie (manque d'un ou plusieurs doigts), de développements anormaux des os du crâne.

Le risque malformatif est élevé pour des irradiations supérieures à 0.5 gray (d'autant plus que l'irradiation est plus précoce) et il est inférieur au risque spontané de malformation pour des doses inférieures à 0.05 Gray (CEA, 2002).

Les principales conclusions, qui méritent d'être soulignées, sont les suivantes :

- L'irradiation de l'embryon en période d'organogenèse peut être responsable d'une grande variété de malformations. Il est possible de définir des périodes critiques avec une radiosensibilité maximale pour chaque anomalie en fonction de l'âge. Dans tous les cas, les malformations ont été induites durant la période de post-implantation.

- L'irradiation durant la période de pré-implantation est inefficace, en ce qui concerne l'induction de malformations. La plupart des auteurs admettent qu'une irradiation durant les 9 premiers jours de la conception, c'est-à-dire durant la période de pré-implantation, n'entraîne aucun risque tératogène pour l'enfant à naître. De ce fait, la règle des 14 jours pourrait devenir une règle des $14 + 9 = 23$ jours. Dans cette hypothèse, seuls les 5 derniers jours d'un cycle de 28 jours seraient à éviter en cas de radiodiagnostic. Certains auteurs pensent même que cette règle des 23 jours ne se justifie pas, étant donné que l'embryon humain est beaucoup moins radiosensible que l'embryon de souris, base de l'expérimentation.
- Enfin, en considérant l'ensemble des malformations observées chez l'animal, divers auteurs ont abouti à des probabilités de malformations variant entre 2 pour 1 000 et 5 pour 1 000 par cGy en acceptant, a priori, l'hypothèse d'une relation linéaire. Il est impossible de savoir s'il existe un seuil, car la fréquence est si faible pour les petites doses que l'on se heurte au problème de la signification statistique des données observées.

Il ne faut pas oublier que, dans l'espèce humaine, environ 5 à 10 % des nouveau-nés sont porteurs d'une anomalie congénitale et il est impossible de distinguer les malformations radio-induites du bruit de fond, car elles n'ont aucune spécificité (Lallemand, 1983).

1.2.8.3 Retard de Croissance :

Chez l'animal une irradiation durant les périodes embryonnaire ou fœtale provoque un retard de la croissance et du développement in utero qui se traduit par une diminution statistiquement significative du poids à la naissance et un retard de la croissance postnatale. A âge égal, les souriceaux irradiés sont plus petits et de moindre poids. Cette réduction pondérale s'observe encore à l'âge adulte et s'accompagne d'une diminution de poids des différents viscères, en particulier, du cerveau. Chez l'homme, ces déficits staturo-pondéraux ont été retrouvés dans les deux principales études épidémiologiques : enfants irradiés in utero pour des raisons médicales. Ces études confirment l'existence d'un retard de croissance chez les enfants irradiés, mais il existe une discordance entre les données fournies par les irradiations médicales et les autres, ce qui invite à la plus grande prudence dans l'interprétation de ces données (Gustavson, Jajell, & Blomquist, 1981).

Les enfants irradiés in utero à Hiroshima et Nagasaki Les données sont particulièrement nettes pour ceux d'entre eux qui se trouvaient à moins de 1,5 km de l'hypocentre, c'est-à-dire les plus irradiés : Ces sujets ont reçu des doses supérieures à 1 Gy. A l'âge de 17 ans, on a noté chez ces sujets un déficit statur pondéral net et une réduction significative du périmètre crânien. On a noté également un retard à l'âge des premières règles et un retard d'ossification qui ne paraît cependant pas corrélé avec la dose. Par contre, on n'a pas pu mettre en évidence de relation dépendant de la dose pour 2 indices caractérisant la fertilité (fréquence des mariages sans enfant, nombre de naissances). Les modifications du sex-ratio (prédominance de garçons), signalées par certains auteurs, n'ont pas été confirmées. Enfin, de nombreuses études effectuées sur le devenir des enfants Irradiés in utero à des doses très variables, et de leur descendance, études basées sur des examens cliniques répétés, n'ont révélé aucun effet significatif. (Haas & Schotanfold, 1979)

1.2.8.4 Abaissement de Quotient Intellectuel QI :

Il ressort que la période s'étendant de la 8e à la 16e semaine de grossesse est particulièrement importante, en ce qui concerne les malformations et surtout les mal-développements du système nerveux central. Il s'agit, en tout cas, de la période la plus sensible pour l'induction de dommages cérébraux aboutissant à un retard mental sévère. On peut admettre, qu'en première approximation, chez l'homme, une irradiation de 0,5 Gy provoque un retard mental chez 5 % des embryons irradiés et que cette fréquence augmente de 1 % par cGy pour les doses plus élevées. L'existence d'un seuil et l'effet éventuel de doses plus faibles restent impossibles à affirmer, en raison de problèmes méthodologiques statistiques, puisque la fréquence des retards mentaux chez les enfants non irradiés est loin d'être négligeable. Néanmoins, certains auteurs considèrent qu'on peut raisonner comme s'il n'existait pas de seuil et que la relation dose-effet restait linéaire pour des doses faibles (avec une fréquence de 1 % par cGy).

Donc une irradiation du fœtus entre la 8ème et la 15ème semaine entraîne un abaissement du quotient intellectuel (mesure, effectuée à l'aide de tests, qui permet d'évaluer le niveau intellectuel, l'intelligence. Le QI est le rapport entre l'âge mental multiplié par 100 et l'âge réel. C'est l'âge mental que l'on mesure par les tests approximativement proportionnels à la dose et d'environ 30 points par Sievert

(FUTURA, 2021). Cet effet n'a été mis en évidence que pour des doses et des débits de dose élevés (Mole, 1982).

1.2.8.5 Induction des Leucémies, Cancer, Tumeur :

Une enquête ; Il s'agit, en effet, de travaux d'A. STEWART ; Cet auteur a attiré l'attention sur l'effet cancérigène et tout spécialement leucémogène de l'irradiation in utero liée aux examens pelvimétriques pratiqués avant l'accouchement. Les doses reçues par le fœtus lors de tels examens étaient, il y a quelques années, d'environ 1 à 3 cGy, alors qu'actuellement, elles sont beaucoup plus faibles, puisqu'on les estime entre 0,5 et 1 cGy. A. STEWART a étudié les antécédents d'enfants atteints de leucémie et a trouvé, chez eux, une grande proportion d'irradiés in utero, supérieure de façon statistiquement significative à celle observée, en moyenne, chez des enfants non leucémiques du même sexe et du même âge. L'effet cancérigène des rayonnements ionisants administrés en fin de grossesse. La meilleure réponse à cette critique a été apportée par MOLE (Mole, 1974) qui a repris les données de Stewart concernant les jumeaux, et son étude confirme, dans une certaine mesure, les résultats précités. Il s'agit de la comparaison de l'incidence des cancers survenus chez des enfants uniques non irradiés durant la vie fœtale et chez les jumeaux dont les mères ont subi, dans un pourcentage non négligeable de cas, une pelvimétrie. Aucune pathologie particulière n'était à déplorer dans ce second groupe, si ce n'est... la gémellité. C'est ainsi que, seuls, 10 % des enfants nés uniques avaient fait l'objet d'une pelvimétrie, alors que 50 % des jumeaux en ont eu une. Or, bien que la fréquence des leucémies dans les deux groupes soit différente en l'absence d'irradiation in utero, l'excès de cancers et de leucémies observé chez les enfants irradiés in utero est le même chez les jumeaux et les enfants nés uniques. Ceci suggère la réalité de cet effet cancérigène.

En se basant sur les résultats de cette étude anglaise, on compare l'effet leucémogène de cette irradiation in utero à celui observé chez l'adolescent ou chez l'adulte, on constate qu'il est 3 ou 4 fois plus grand. Ceci rejoint les constatations faites chez l'animal et relatées plus haut et peut s'expliquer par le fait que la moelle du fœtus est en prolifération beaucoup plus active que celle de l'adolescent et devrait plutôt être comparée à une moelle en régénération, laquelle est très radiosensible (Tubina, 1979)

En effet, un tissu est d'autant plus radiosensible que son coefficient de prolifération est élevé. L'irradiation augmente également la fréquence d'autres cancers de l'enfant : lymphomes malins, néphroblastomes, tumeurs du système nerveux central, neuroblastomes. Les irradiations in utero liées à une contamination par l'iode radioactif sont particulières.

L'iode franchit la barrière placentaire et est concentré par la thyroïde fœtale à partir du 3^{ème} mois de grossesse. L'irradiation thyroïdienne in utero augmente le risque de nodules thyroïdiens bénins et surtout de cancer thyroïdien papillaire survenant dans l'enfance (Voir Figure 11).

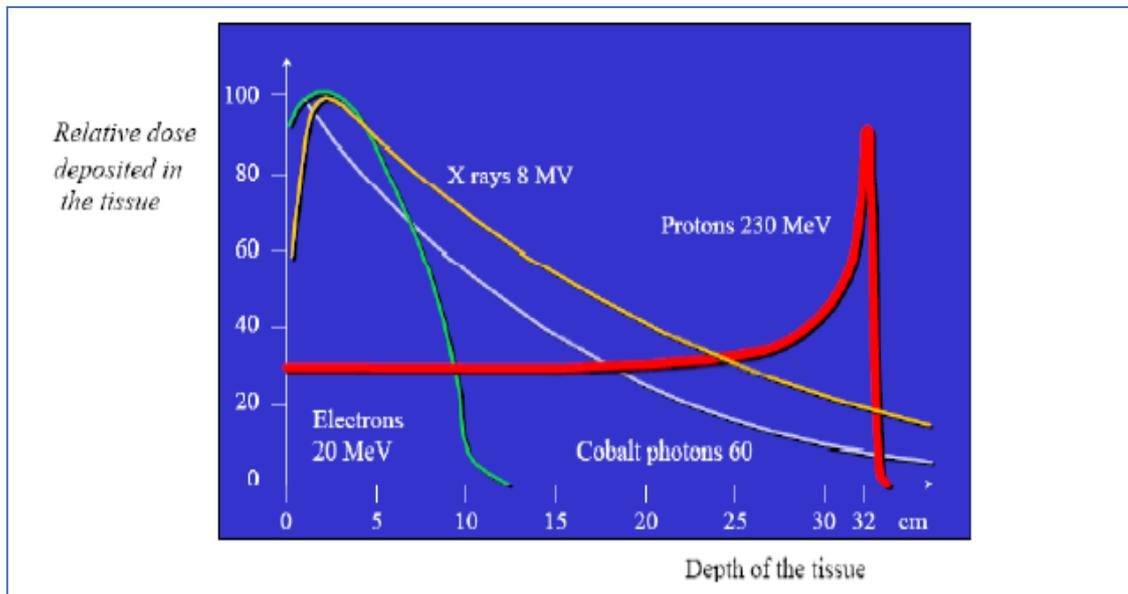


Figure 15. Rayonnement Ionisant Utilisé pour le Traitement des Tumeurs

Chapitre IV :

Radioprotection

Chapitre IV : Radioprotection

1. Qu'est -ce que la radioprotection :

La radioprotection désigne l'ensemble des mesures prises pour assurer la protection de l'homme et de son environnement contre les effets néfastes des rayonnements ionisants. L'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) définit la radioprotection comme « l'ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou à réduire les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes directement ou indirectement, y compris par les atteintes portées à l'environnement ».

Il convient donc de définir les rayonnements ionisants. Selon l'annexe 13-7 du *Code de la Santé Publique* (qui regroupe les définitions des termes utilisés en matière de protection contre les rayonnements ionisants), les rayonnements ionisants sont un transport d'énergie sous la forme de particules ou d'ondes électromagnétiques d'une longueur d'onde inférieure ou égale à 100 nanomètres, soit d'une fréquence supérieure ou égale à 3×10^{15} Hertz, pouvant produire des ions directement ou indirectement.

Une première lecture rapide de ces définitions peut les rendre inquiétantes. Plusieurs commentaires et remarques sont donc nécessaires pour comprendre objectivement et sereinement la notion de radioprotection. D'une part, la vie est apparue sur terre en présence d'un niveau d'irradiation bien supérieur au niveau actuel puisque les rayonnements ionisants font partie de l'univers et qu'on sait que l'irradiation naturelle diminue régulièrement depuis la création de l'univers. Les rayonnements ionisants ne sont donc pas incompatibles avec la vie ni avec la santé des êtres vivants. D'autre part, la découverte des rayonnements ionisants est récente. Leur utilisation médicale fut quasi immédiate. Les premiers accidents apparurent rapidement après des manipulations ou des expositions sans précaution. Ainsi, la communauté scientifique prit rapidement conscience du besoin de se protéger contre ces rayonnements ionisants. La radioprotection était née. Mais elle ne concernait au début que les travailleurs exposés aux rayonnements ionisants. L'objectif était de rendre le risque de l'exposition acceptable au regard des autres risques professionnels et des risques acceptés par chaque individu dans la vie courante.

Le développement de l'énergie nucléaire civile a ensuite élargi le champ de la radioprotection, puisque le grand public (et plus seulement des travailleurs ou des malades) s'est trouvé exposé au risque des rayonnements ionisants. Ainsi, aujourd'hui, pour la Commission Internationale de radioprotection (CIPR), la radioprotection consiste à « assurer

un niveau de protection adéquat pour l'homme, sans pénaliser indument les pratiques bénéfiques qui exposent aux rayonnements ionisants » (Henri & Martine, 2012).

2. Quels sont les objectifs de la radioprotection ?

Les objectifs de la radioprotection sont multiples. Le rôle de la radioprotection est de prévenir et limiter les risques sanitaires dus aux rayonnements ionisants quelles que soient leurs origines et de protéger l'homme contre les dangers des rayonnements ionisants tout en lui permettant de les utiliser.

En effet, les mesures de protection contre les rayonnements ionisants doivent être efficaces, mais proportionnées au risque sans limiter inutilement l'utilisation bénéfique des rayonnements ionisants :

- A l'échelle individuelle : pour une personne donnée, par exemple par l'usage des rayons X : usage diagnostique en radiologie médicale et médecine nucléaire et usage thérapeutique en radiologie interventionnelle, en radiothérapie et utilisation thérapeutique des radioisotopes en médecine nucléaire,
- A l'échelle collective, c'est-à-dire pour la société, c'est par exemple le cas de l'énergie nucléaire.

Trop limiter l'usage des rayonnements ionisants pourrait empêcher d'utiliser des techniques utiles ou de rendre leur usage impossible à cause d'un coût de protection prohibitif. L'institut de radioprotection et sûreté nucléaire (IRSN) précise que « dans le domaine médical, l'objectif de la radioprotection est de faire en sorte que les expositions soient réduites autant que possible tout en conservant l'efficacité du diagnostic et du traitement. Au regard de tels enjeux, les solutions passent autant par des évolutions réglementaires que par un effort en matière de connaissances pratiques et théoriques » (Henri & Martine, 2012).

3. Qui est concerné par la radioprotection dans le domaine médical ?

Dans le domaine médical, on peut reconnaître trois catégories génériques de personnes concernées, à des titres divers, par la radioprotection :

- Les professionnels de santé,
- Les patients,
- Le grand public.

3.1 Les Professionnels de Santé :

Pour désigner les professionnels de santé, la réglementation utilise le terme « travailleurs ». Ce terme inclut toutes les catégories de personnes travaillant dans les établissements de santé et /ou dans les cabinets médicaux : personnels salariés et non-salariés, en contrat à durée indéterminée ou à durée déterminée, emplois précaires, stagiaires et personnels en formation, personnels externes et internes à l'établissement.

Nous attirons l'attention sur le fait que les médecins libéraux sont également concernés par la réglementation traitant de la radioprotection des travailleurs. Les anciens textes réglementaires parlaient des salariés, ce qui dans l'absolu, les excluait. Par exemple, de nombreux radiologues exerçant en pratique libérale ne portaient pas de dosimètre, n'avaient pas de suivi dosimétrique et ne bénéficiaient jamais d'un examen médical par un médecin du travail. Cette situation n'est plus possible aujourd'hui. Les médecins radiologues libéraux sont donc considérés comme des « travailleurs » au sens du Code du travail et doivent le respecter. Une attention particulière doit être portée au personnel féminin (radiologues et manipulatrices) pendant leur grossesse.

3.2 Les Patients :

En préambule, rappelons que les examens et traitements médicaux sont la première cause d'irradiation artificielle. Les patients constituent une catégorie particulière de personnes à protéger contre les rayonnements ionisants, puisque l'utilisation de ces rayonnements est justifiée à des fins médicales (imagerie diagnostique et interventionnelle, radiothérapie).

L'application des principes de la radioprotection nécessite donc une approche particulière qui engage la responsabilité directe des médecins. Les actions de protection, au sens strict du terme, ne sont pas applicables au domaine médical. Par contre, il est indispensable de justifier, d'optimiser et de limiter l'exposition des patients. Une attention particulière doit être portée aux patientes enceintes et aux enfants.

3.3 Le Grand Public :

La protection du grand public contre l'irradiation d'origine médicale consiste à limiter la dose d'exposition collective par la limitation des expositions individuelles (effet de sommation) et par la justification des campagnes de dépistage (par exemple du cancer du sein par la mammographie, de l'ostéoporose par l'ostéodensitométrie ou peut-être à terme

du cancer colorectal par le coloscanner ou du cancer bronchique par le scanner thoracique) (Henri & Martine, 2012).

4. Les organismes Internationaux l'Origine des Réglementations :

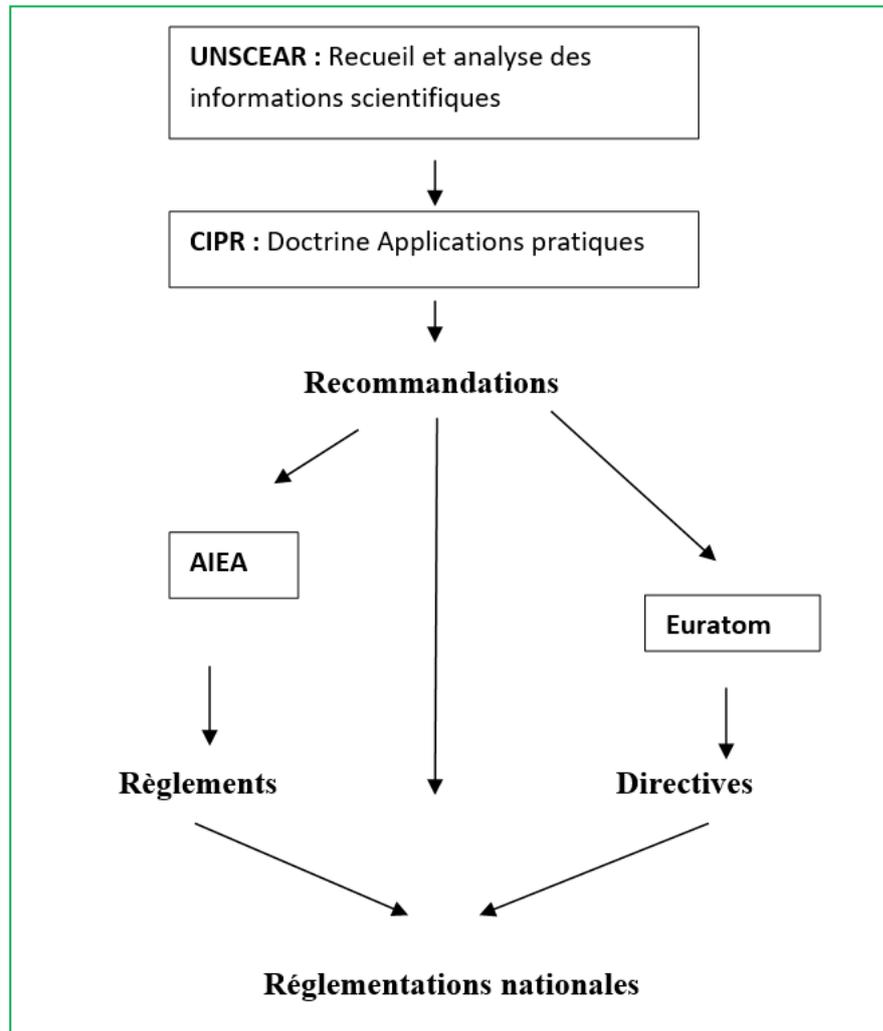


Figure 16. Les Organismes Internationaux à l'Origine des Réglementations

(Henri & Martine, 2012)

4.1 Comité Scientifique des Nations Unies pour l'Etude des Effets des Rayonnements Ionisants (UNSCEAR) :

Le Comité scientifique des Nations unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants a été fondé le 3 décembre 1955 par décision de l'assemblée générale des Nations Unies suite à la déclaration historique du président des Etats Unis D.W. Eisenhower, le 8 décembre 1953, «*Atoms for Peace*». A l'origine composé d'experts reconnus de 15 états, il comprend aujourd'hui 21 pays,

représentant un équilibre diplomatique voulu par l'ONU. Les participants à ce comité sont nommés par leur états. Si son siège est à l'ONU, les bureaux de ses agents permanents sont depuis 1974 à Vienne, proches de l'AIEA.

A l'origine, ce comité fut créé pour recueillir toutes les informations concernant les expositions des populations aux rayonnements ionisants, qu'ils soient d'origine humaine, telles les retombées des essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère, ou naturelle, et d'étudier leurs effets sur la sante de l'Homme mais aussi sur l'environnement. Ses rapports font autorité ; ils ont servi par la passe de base scientifique au traité d'interdiction des essais nucléaires dans l'atmosphère en 1963.

Tourne à ses débuts vers les applications militaires et civiles du nucléaire, il a rapidement étendu son champ d'activité a toutes les sources d'exposition aux rayonnements ionisants, comme l'utilisation médicale. Ses travaux continuent toujours d'influencer les programmes des organisations internationales de protection radiologique, la CIPR en premier lieu mais aussi l'AIEA, l'OMS, et le BIT. Ses derniers grands rapports datent des années 2000 et 2001, une nouvelle série devrait être publiée en 2007 ou 2008, ils sont consultables sur le site du Comité (Jimonet & Métivier, 2007).

4.2 Commission Internationale de Protection Radiologique

(CIPR) :

La Commission internationale de protection radiologique (CIPR) est l'organisme international de référence. Les travaux de cette commission ont permis l'élaboration des grands principes de la radioprotection qui seront repris dans les réglementations communautaires (Euratom) et nationales. L'existence de cette organisation explique en grande partie l'homogénéité des réglementations nationales de par le monde en protection radiologique.

Née en 1928, sous l'impulsion des médecins radiologues, elle est chargée d'établir des normes destinées à lutter contre les effets délétères des rayonnements ionisants observés chez les radiologues. Elle s'appelait alors *International X Ray and Radium Protection Committee* (IXRPC) et les sources de rayonnements visées étaient alors les générateurs électriques médicaux et le radium.

En 1950 elle se réorganise et devient l'*International Commission on Radiological Protection* (ICRP) que les Français appelleront CIPR. Elle reste dans

ses statuts une commission de la société internationale de radiologie, bien qu'indépendante dans ses actes. Organisation non gouvernementale, son champ de compétence s'est alors étendu au-delà des Activités médicales, essentiellement l'énergie nucléaire. Ce n'est que récemment qu'elle a effectué un recentrage de ses activités pour prendre sa dimension actuelle, la protection des individus et de l'environnement face aux rayonnements ionisants quelle que soit leur nature. Elle travaille étroitement avec l'*International Commission on Radiation Units and Measurements* (l'ICRU).

Elle est composée d'experts internationaux cooptes, bénévoles, régulièrement renouvelés et choisis pour apporter une gamme étendue d'expertise et totalement indépendants des Etats et des organisations d'Etats.

Sur la base de ses propres analyses, mais aussi de celles effectuées par des organismes scientifiques, tels l'UNSCEAR, la CIPR publie régulièrement des recommandations proposant aux Etats la mise en place d'un système de protection radiologique. Aujourd'hui, sa reconnaissance au niveau international a conduit à l'instauration d'un système unique pour la protection de l'Homme, qu'il soit travailleur ou membre du public.

La CIPR est une organisation hors mur, son siège suivant la localisation géographique de son président. Ses réunions s'effectuent tour à tour au gré des invitations de ses membres.

Elle est constituée d'une commission principale de 12 membres et de 5 comités chargés :

- Des aspects biologiques et des facteurs de risque ;
- Des calculs de doses ;
- Des applications médicales ;
- Des applications des recommandations ;
- De l'environnement depuis 2005.

Considérant la qualité de ses travaux, de grands organismes internationaux la financent, CCE, OMS, etc., son budget restant très limité car elle ne produit que des documents écrits (Jimonet & Métivier, 2007).

4.3 Agence Internationale de l'Énergie Atomique (AIEA) :

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) a été créée en 1957 en réponse aux profondes peurs et espoirs résultant de la découverte de l'énergie atomique.

C'est à partir d'idées développées dans «*Atoms for Peace*» que furent jetées les bases d'un statut de l'agence. Ce statut fut unanimement approuvé par 81 nations en 1956.

Alors que de plus en plus de pays atteignaient la maîtrise de la technologie nucléaire, la pression devint forte pour que des garanties et engagements internationaux permettent de stopper la dissémination d'armes nucléaires et autorisent leur éventuelle élimination. Cela se concrétisa en 1968 par le «*Traité de non-prolifération des armes nucléaires*».

L'AIEA œuvre pour une utilisation sans danger et à des fins pacifiques de la technologie nucléaire. Les trois piliers de la coopération nucléaire définis dans les statuts de l'agence sont :

- La vérification : l'AIEA est l'inspecteur mondial dans le domaine du nucléaire, avec plus de 40 ans d'expérience dans la vérification. Les inspecteurs veillent à ce que le matériel nucléaire ne soit pas utilisé à des fins militaires ;
- la promotion de la sécurité ;
- la promotion de la science et de la technologie.

Les travaux de l'agence font l'objet de publications : les «*Safety Series*» (standards, guides, recommandations, procédures, données...) et sont établies conjointement avec d'autres organismes (Jimonet & Métivier, 2007).

4.4 Euratom :

En 1957, le déficit en énergie traditionnelle des six États fondateurs de la CEE les a incités à chercher dans l'énergie nucléaire le moyen d'atteindre l'indépendance énergétique.

Comme l'énergie nucléaire était chère et que les coûts d'investissement nécessaires dépassaient les possibilités d'États isolés, les États fondateurs se sont unis pour constituer l'Euratom. Son histoire, sa préparation et son entrée en vigueur se confondent avec le traité instituant la CEE.

Le traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique a été signé le 25 mars 1957 à Rome. Il est entré en vigueur le 1er janvier 1958. Contrairement au traité CE, le traité Euratom n'a jamais connu de grands changements. Malgré l'adoption de la Constitution (UE), le traité Euratom reste en vigueur. Les modifications apportées au traité Euratom par la Constitution se limitent à des adaptations aux nouvelles règles établies par la Constitution. La Communauté européenne de l'énergie atomique n'a pas fusionné pour l'instant avec l'Union et garde donc une personnalité juridique distincte, tout en partageant les mêmes institutions.

Parmi ses principes fondateurs, le traité Euratom devait contribuer à la poursuite de l'intégration européenne par le développement de l'énergie atomique et contribuer, par l'établissement des conditions nécessaires à la formation et à la croissance rapide des industries nucléaires, à l'élévation du niveau de vie dans les Etats membres. Le traité Euratom contribue de nos jours à la mise en commun des connaissances, des infrastructures et du financement de l'énergie nucléaire.

L'Euratom n'a de compétences que dans le domaine de l'énergie nucléaire civile et pacifique. Selon le traité, ses missions spécifiques sont les suivantes :

- Développer la recherche et assurer la diffusion des connaissances techniques ;
- Établir et assurer l'application de normes de sécurité uniformes pour la protection sanitaire de la population et des travailleurs ;
- Faciliter l'investissement et assurer la réalisation des installations fondamentales nécessaires au développement de l'énergie nucléaire dans l'UE ;
- Veiller à l'approvisionnement régulier et équitable de tous les utilisateurs dans l'UE en minerais et combustibles nucléaires ;
- Garantir que les matières nucléaires civiles ne sont pas détournées à d'autres fins (notamment militaires) ;
- Promouvoir le progrès dans l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire en travaillant avec les pays tiers et les organisations internationales ;
- Constituer des entreprises communes (comme le projet ITER par exemple).

Les contrôles de sécurité d'Euratom s'articulent avec ceux exercés par l'AIEA dans le cadre d'accords tripartites conclus par les Etats membres, la communauté et l'AIEA.

Le chapitre III du titre II du traité, relativement à la protection sanitaire (articles 30 à 39), porte essentiellement sur l'établissement de normes de base, l'obligation de transposition des textes dans la réglementation nationale des Etats membres, la protection de l'environnement et la déclaration des projets de rejets. (Jimonet & Métivier, 2007).

5. Acteurs du Dispositif National Français de Radioprotection :

5.1 L'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) :

L'ASN assure, au nom de l'État, le contrôle de la sûreté nucléaire et de la radioprotection en France pour protéger les travailleurs, les patients, le public et l'environnement des risques liés aux rayonnements ionisants. Elle contribue également à l'information des citoyens.

Ses actions sont fixées par la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire (J.O n° 136 du 14 juin 2006 page 8946):

- Activité régalienne : elle donne des avis sur les projets de textes réglementaires ayant trait à la radioprotection et prend des décisions techniques soumises à l'avis des ministères concernés ;
- Contrôle le respect de la réglementation en matière de sûreté nucléaire et de radioprotection ;
- Participe à l'information du public dans les domaines de sa compétence ;
- Est associée à la gestion des situations d'urgence radiologique résultant d'événements de nature à porter atteinte à la santé des personnes et à l'environnement par exposition aux rayonnements ionisants ;
- Procède à des enquêtes techniques en cas d'incident ou d'accident concernant une activité nucléaire.

Pour mener à bien son action, l'ASN s'appuie également sur les contrôles réalisés par des organismes agréés pour réaliser des contrôles techniques de radioprotection. Elle reçoit et exploite les déclarations d'incident qui lui sont communiquées par les exploitants d'activités nucléaires et par les employeurs personnes susceptibles d'être exposées à des activités nucléaires. (ANAP, 2021).

5.2 L'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) :

L'IRSN est un expert public en charge de l'évaluation scientifique du risque nucléaire et radiologique créé par la loi du 9 mai 2001. Cet établissement public à

caractère industriel et commercial est placé sous la tutelle des ministères chargés de l'Environnement, de la Santé, de l'Industrie, de la Recherche et de la Défense. Ses 3 grandes missions sont :

- Recherche et services d'intérêt public, incluant la contribution à l'information du public ;
- Appui et concours techniques aux autorités publiques pour les activités à vocation civile ou relevant de la défense ;
- Prestations contractuelles d'expertises, d'études, de mesures, pour le compte d'organismes publics ou privés. (ANAP, 2021).

6. Les Principes Fondamentaux de la Radioprotection :

Le principe de radioprotection représente les mesures mises en place afin d'assurer la protection de la santé humaine et de l'environnement devant les risques liés aux effets du rayonnement ionisant. Il doit respecter les trois principes fondamentaux de radioprotection, soit :

6.1 La Justification :

Les avantages qui découlent de l'utilisation du rayonnement ionisant doivent être supérieurs aux risques engendrés par ces derniers. Par exemple, son utilisation est justifiée lorsqu'elle produit un bénéfice net pour l'individu ou la société, et qu'aucune autre alternative à son utilisation n'est possible. (Laval, 2019)

6.2 L'Optimisation :

L'exposition doit être maintenue au niveau le plus bas qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux. La quantité de rayonnement utilisé ne doit donc pas dépasser la quantité nécessaire pour produire l'effet désiré, et les impacts dus à son utilisation doivent être réduits autant que possible. L'optimisation est également présentée sous le concept ALARA. (Laval, 2019).

6.3 La Limitation de Dose :

Les doses reçues par les personnes exposées aux substances nucléaires ne doivent pas dépasser les limites de dose réglementaires indiquées par la CCSN. Ces limites excluent le rayonnement de fond reçu naturellement et les doses reçues dans le cadre d'un diagnostic ou d'un traitement médical. (Laval, 2019)

6.4 Principe ALARA :

Principe d'optimisation est plus souvent connu sous l'acronyme anglo-saxon ALARA, « *As Low As Reasonably Achievable* ». Ceci conduit à accepter un risque « limite » en mettant en œuvre des moyens permettant de le réduire ; l'application du principe ALARA se faisant toutefois dans une échelle d'exposition que l'on a jugée par ailleurs acceptable ou tolérable.

Ce principe « ALARA » tient compte à la fois du principe de précaution et du principe d'équité (réduire les doses au niveau le plus bas raisonnablement possible, en commençant par les doses les plus élevées). Il sous-entend une estimation préalable des expositions, une étude de l'organisation du travail visant à minimiser les doses et un contrôle en temps réel. Il conduit aussi à développer la notion de contrainte de dose que l'on se fixe comme objectif à ne pas dépasser pour une opération ou une activité particulière. La contrainte est inférieure à la limite, mais n'est pas infranchissable. Il n'y a pas de sanction si l'on dépasse la contrainte fixée dans la mise en place « ALARA », mais un retour d'expérience est nécessaire pour comprendre et rectifier le dépassement. Selon la CIPR, la contrainte est fixée par l'opérateur en accord avec l'autorité de contrôle.

Le texte français est clair : « L'exposition des personnes aux rayonnements ionisants résultant d'une de ces activités ou interventions 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. »

Un examen historique des doses reçues par les travailleurs montre que l'application du principe ALARA a conduit à une baisse significative et régulière de ces doses. (Jimonet & Métivier, 2007)

4.1.1 Principes classiques

Les moyens pour se protéger de l'exposition externe sont fondés sur plusieurs principes, dont sont issues toutes les règles de manipulation :

- Réduire « le temps » d'exposition ;
- Augmenter « la distance » entre la source radioactive et l'opérateur ;
- Interposer « des écrans » entre la source radioactive et l'opérateur ;
- Ne manipuler que la « quantité » de substance radioactive « strictement nécessaire ».

L'association de ces quatre mesures est nécessaire pour s'assurer d'une protection maximale contre l'exposition externe. (Aupée, Rizzo-Padoin, Le Garlantezec, Bohand, Fohrenbach, & Larochee, 2009)

7. Directives Européennes :

7.1 La Directive Euratom 96 /29 :

Selon le traité instituant la Communauté européenne de l'énergie atomique (connu sous le nom de Traité Euratom), la radioprotection est une compétence communautaire. L'union européenne élabore donc des normes de bases uniformes (par exemple pour les expositions maximales admissibles ou pour les principes fondamentaux de surveillance aux expositions.

Depuis 1959, ces normes de base sont présentées sous la forme de directives, dites « directives Euratom » qui doivent être transposées dans le droit national de chaque Etat membre de l'Union. Elles sont périodiquement mises à jour.

La directive Euratom 96 /29 est, avec la directive Euratom 97/43, à la base de notre législation sur la radioprotection. Les directives européennes Euratom imposent :

- D'une part, une uniformisation des réglementations dans tous les pays de l'Union,
- D'autre part, une uniformisation de la gestion des risques civils qu'ils soient médicaux ou pas.

L'intérêt de ces uniformisations est essentiellement d'améliorer la maîtrise de risque collectif (c'est-à-dire à l'échelle de la population) ou individuel. Ainsi, il est important de connaître tous les risques d'irradiation, qu'ils soient naturels, professionnels ou induits par un acte médical.

La directive Euratom 96/29 concerne le public et les travailleurs utilisant les rayonnements ionisants (c'est-à-dire pour ce qui concerne, le personnel d'imagerie médicale). Elle ne concerne pas les volontaires participant à des programmes de recherche médicale et biomédicale ni les patients. Elle fixe les doses admissibles qui sont jugées comme étant un compromis raisonnable.

La directive Euratom 96/29 impose la mise en place de mesures de dose par dosimétrie opérationnelle en lecture directe, permettant la mesure en temps réel des doses reçues par les travailleurs, et venant en complément de la dosimétrie passive, mais sans la remplacer.

La dosimétrie opérationnelle est applicable dans les zones contrôlées de tous les établissements publics ou privés utilisant des radiations ionisantes, c'est-à-dire dans les zones où la limite de dose est susceptible d'être atteinte ou dépassée. Par ailleurs, la directive redéfinit la notion de zone contrôlée et de zone surveillée. La directive 96/29 Euratom est en cours de révision. Cette révision est motivée par la volonté de la Commission européenne de :

- Fixer des exigences plus contraignantes pour le contrôle des sources d'exposition aux rayonnements naturels,
- Renforcer la coopération entre Etats membres en cas d'urgence radiologique,
- Mieux formaliser une approche graduée dans la mise en œuvre du système de radioprotection (Henri & Martine, 2012).

7.2 La Directive Euratom 97/43 :

Selon le traité instituant la communauté européenne de l'énergie atomique (connu sous le nom de Traité Euratom), la radioprotection est une compétence communautaire. L'Union européenne élabore donc des normes de bases uniformes (par exemple pour les expositions maximales admissibles ou pour les principes fondamentaux de surveillance aux expositions).

Depuis 1959, ces normes de base sont présentées sous la forme de directives, dites « directives Euratom » qui doivent être transposées dans le droit national de chaque état membre de l'Union. Elles sont périodiquement mises à jour. La directive Euratom 97/43, est, avec la directive Euratom 96/29 à la base de notre législation sur la radioprotection. La directive Euratom 97/43 concerne les personnes exposées aux risques des rayonnements ionisants utilisés à des fins médicales (radiologie, médecine nucléaire radiothérapie), autrement dit les patients.

Elle est transposée dans la réglementation française par le décret n° 2003-270 du 24 mars 2003 dit décret « patients ». Les statistiques françaises concernant les examens médicaux irradiants indiquent un niveau moyen d'irradiation d'origine médicale de 1.3 mSv par an et par habitant (données les plus récentes de l'IRSN, datant de 2007).

Les examens médicaux représentent la première cause d'irradiation artificielle de l'homme en Europe. Les expositions d'origine médicale sont en constante augmentation en raison de l'augmentation du nombre d'examens réalisés

et du caractère plus irradiant de technologies récentes de plus en plus utilisées car performantes : scanner multi barrettes et TEP-scan en particulier.

Le champ d'application de cette directive est élargi aux expositions des personnes lors de procédures médico-légales, d'expertises d'assurance et dans le respect du droit des personnes qui participent aux recherches médicales en qualité de volontaires. Ces niveaux d'irradiation de plus en plus élevés ont donc justifié la rédaction d'une directive spécifique pour les patients en complément de la directive Euratom96/29.

La directive Euratom 97/43 retient les grands principes de justification, d'optimisation, de responsabilité et le principe d'exposition potentielle. Logiquement, elle ne retient pas le principe de limitation des doses au patient. L'application pratique du principe d'optimisation impose dans tous les centres d'imagerie la rédaction d'un guide de bonnes pratiques pour les procédures techniques. Ces procédures doivent comprendre la définition de doses de référence pour chaque examen. Il s'agit des niveaux de référence diagnostiques.

Pour appliquer le principe de justification, la directive postule que le meilleur moyen de limiter l'irradiation délivrée par un examen est de s'assurer qu'il n'est pratiqué que s'il est indispensable et qu'il n'est pratiqué que s'il est indispensable et qu'il ne peut pas être remplacé par un autre examen non ou moins irradiant. Le guide de bon usage des examens d'imagerie médicale contribue à poser les bonnes indications d'examens.

En ce qui concerne le principe de responsabilité, la directive précise les responsabilités conjointes des prescripteurs et des réalisateurs de l'examen. La décision finale de pratiquer ou pas un examen revient au réalisateur (en général, c'est le médecin radiologue).

Le principe d'exposition potentielle consiste quant à lui à définir la probabilité prévisible de réalisation d'un accident ou d'un incident lié à défaillance technique (équipement radiogène, informatique, ...), à des défauts de gestion ou à une erreur humaine. On demande à tous les acteurs concernés d'anticiper toutes les situations anormales possibles et prévisibles (Henri & Martine, 2012).

7.3 Directives Algériennes et Organisation de la Législation

Algérienne en Matière de la Radioprotection (2016) :

(Voir Annexe I)

7.4 Codes internationaux de Risques de Manipulation en Radiothérapie :

7.4.1 Protection des Travailleurs Contre les Dangers des Rayonnements Ionisants :

Code du travail :

- Articles L. 231-1, L. 231-2 et L. 231-7-1 ;
- Articles R. 231-73 à R. 231-116 (introduits par décret n° 2003- 296 du 31 mars 2003 relatif à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants).
- Décret n° 2004-1489 du 30 décembre 2004 autorisant l'utilisation par l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire du répertoire national d'identification des personnes physiques dans un traitement automatisé de données relatives à la surveillance des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.
- Arrêté du 28 août 1991 approuvant les termes des recommandations faites aux médecins du travail assurant la surveillance médicale des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.
- Arrêté du 30 août 1991 déterminant les conditions d'installation auxquelles doivent satisfaire les générateurs électriques de rayons X.
- Arrêté du 28 février 1995 pris en application de l'article D.461- 25 du Code de la Sécurité sociale fixant le modèle type d'attestation d'exposition et les modalités d'examen dans le cadre du suivi post-professionnel des salariés ayant été exposés à des agents ou des procédés cancérogènes.
- Arrêté du 12 mai 1998 modifiant l'arrêté du 8 octobre 1990 modifié fixant la liste des travaux pour lesquels il ne peut être fait appel aux salariés sous contrat de travail à durée déterminée ou aux salariés des entreprises de travail temporaire (zones où le débit horaire est susceptible d'être supérieur à 2 mSv).
- Arrêté du 23 mars 1999 précisant les règles de la dosimétrie externe des travailleurs affectés à des travaux sous rayonnements en application des articles 20 bis et 25-I du décret du 28 avril 1975 et des articles 31 bis et 34-I du décret du 2 octobre 1986.
- Arrêté du 1er septembre 2003 définissant les modalités de calcul des doses efficaces et des doses équivalentes résultant de l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants.

- Arrêté du 9 janvier 2004 définissant les modalités d'agrément des organismes chargés des contrôles en radioprotection en application de l'article R. 1333-44 du Code de la Santé publique.
- Arrêté du 30 décembre 2004 relatif à la carte individuelle de suivi médical et aux informations individuelles de dosimétrie des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.
- Arrêté du 26 octobre 2005 relatif aux modalités de formation de la personne compétente en radioprotection et de la certification du formateur modifié par arrêté du 13 janvier 2006.
- Arrêté du 26 octobre 2005 définissant les modalités de contrôle de radioprotection en application des articles R. 231-84 du Code du travail et R. 1333-44 du Code de la Santé publique.
- Arrêté du 15 mai 2006 relatif aux conditions de délimitation et de signalisation des zones contrôlées et surveillées (INRS, 2007).

7.4.2 Personnes Spécialisées en Radiophysique Médicale :

- Arrêté du 19 novembre 2004 relatif à la formation, aux missions et aux conditions d'intervention des personnes spécialisées en radiophysique médicale.
- Arrêté du 7 février 2005 fixant la liste des diplômes compatibles avec l'exercice des missions de la personne spécialisée en radio- physique médicale et permettant l'inscription à la formation spécialisée prévue à l'article 4 de l'arrêté du 19 novembre 2004 (INRS, 2007).

7.4.3 Manipulateurs d'Electroradiologie :

Code de la Santé publique :

- Articles L.4351-1 à L. 4351-7, L. 4352-1, L. 4353-1 à 2 (introduits par les lois n° 95-116 du 4 février 1995 et n° 96-452 du 28 mai 1996 et l'ordonnance n° 2001-199 du 1er mars 2001).
- Décret n° 84-710 du 17 juillet 1984 fixant les catégories de personnes habilitées à effectuer certains actes d'électroradiologie médicale.
- Décret n° 97-1057 du 19 novembre 1997 relatif aux actes professionnels et à l'exercice de la profession de manipulateur d'électroradiologie médicale.

- Décret n° 97-1059 du 19 novembre 1997 fixant la liste des actes de radiodiagnostic auxquels peuvent participer des personnes mentionnées à l'article 5 de la loi 96-452 du 28 mai 1996 portant diverses mesures d'ordre sanitaire, sociale et statutaire.
- Arrêté du 7 février 1995 modifiant l'arrêté du 1er août 1990 modifié relatif au programme des études préparatoires au diplôme d'état de manipulateur d'électroradiologie médicale (INRS, 2007).

8. Les Règles Techniques Applicables aux Installations de Radiothérapie Externe :

Les appareils doivent être implantés dans des salles spécifiquement conçues pour assurer la radioprotection des personnels ; ce sont en fait de véritables casemates (l'épaisseur des parois peut varier de 1 m à 2,5 m de béton ordinaire). Une installation de radiothérapie se compose d'une salle de traitement incluant une zone technique où se trouve l'appareillage, d'un poste de commande extérieur à la salle et, pour certains accélérateurs, de locaux techniques annexes.

La protection des locaux, en particulier de la salle de traitement, doit être déterminée de façon à respecter autour de ceux-ci les limites annuelles d'exposition des travailleurs et/ou du public. Une étude spécifique pour chaque installation doit être réalisée par le fournisseur de la machine, en liaison avec la PSRPM et la personne compétente en radioprotection (PCR).

Cette étude permet de définir les épaisseurs et la nature des différentes protections à prévoir, qui sont déterminées en tenant compte des conditions d'utilisation de l'appareil, des caractéristiques du faisceau de rayonnements ainsi que de la destination des locaux adjacents, y compris ceux situés à la verticale (locaux situés au-dessus ou en dessous de la salle traitement). Cette étude doit figurer dans le dossier présenté à l'appui de la demande d'autorisation d'utiliser une installation de radiothérapie qui est instruite par l'ASN.

En outre, un ensemble de systèmes de sécurité permet de renseigner sur l'état de fonctionnement de la machine (tir en cours ou non) et d'assurer l'arrêt de l'émission du faisceau en cas d'urgence ou d'ouverture de la porte de la salle d'irradiation (Les Utilisations Médicales des Rayonnements Ionisants, 2012).



(Les Utilisations Médicales des Rayonnements Ionisants, 2012)

9. Démarches de Prévention et les Mesures de la Radioprotection :

Quatre grands principes régissent toute démarche de prévention : tout d'abord l'évaluation du risque, dans la mesure du possible l'élimination du risque, sinon la mise en place de protections collectives et en dernier ressort, la protection individuelle. La prévention doit être intégrée le plus en amont possible, en passant par des mesures d'organisation du travail, d'information et de formation (INRS, 2009).

9.1 Evaluation du Risque et Détermination des Niveaux d'Exposition :

9.1.1 Evaluation de Risque :

Il est fondamental d'identifier dans un premier temps les risques inhérents à toute activité, ainsi que les événements ou les facteurs de risque qui peuvent conduire à la survenue de ces risques. En matière de radioprotection, les risques sont :

- Un risque d'exposition externe à des rayonnements ionisants ;
- Un risque de contamination externe ou interne par des substances radioactives ;
- Tous risques associés, et en particulier : risque chimique (réactivité, corrosion, incendie, explosion), risques liés au poste de travail, risques liés à l'organisation du travail. Tous ces risques doivent être évalués et quantifiés dans la mesure du possible. Cela passe par l'identification et la caractérisation des sources et des

rayonnements, ainsi que par la caractérisation des situations de travail, c'est-à-dire des expositions.

- Pour des situations existantes, sur lesquelles il existe des risques d'exposition externe ou de décontamination, il est indispensable dépasser également par cette phase d'évaluation et de quantification du risque, et de vérifier que les mesures de radioprotection sont bien appliquées. Dans un premier temps, après avoir localisé et inventorié toutes les sources utilisées, il est notamment primordial de vérifier que :
 - Le repérage et la signalisation du risque sont bien effectués ;
 - Les doses d'exposition ne dépassent pas les valeurs réglementaires établies (INRS, 2009).

4.1.1.1 Délimitation des Zones Réglementées (Contrôlées et Surveillées :

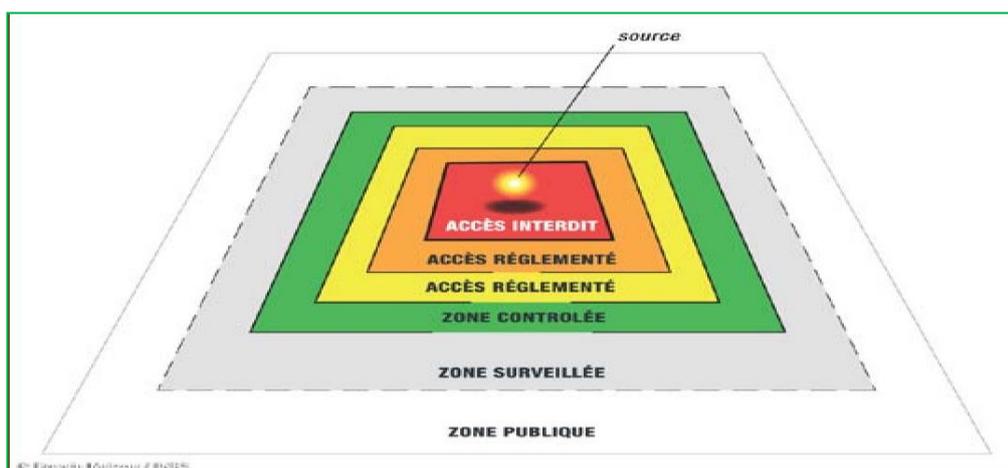


Figure 18. Exemple d'Organisation des Zones de Travail en Radioprotection (Modalités de Délimitation Devant Être Définies dans un Arrêté à Paraître)

(INRS, 2009)

La réglementation française précise un certain nombre de règles concernant ces zones de travail. Signalons notamment les points suivants :

- La délimitation de zones de travail autour de toute source de rayonnement ionisant est obligatoire. Cette délimitation peut être modifiée en cas de besoin, en fonction de résultats de contrôle, à la suite d'une modification de l'installation, ou après un incident ou un accident.
- Les conditions d'accès en zones réglementées sont nombreuses (formation, suivi

dosimétrique...). Signalons notamment que l'accès à la zone contrôlée est réservé aux personnes qui ont reçu du chef d'établissement la notice rappelant les risques particuliers liés au poste occupé ou à l'intervention à effectuer, les règles de sécurité applicables et les instructions à suivre en cas de situation anormale.

- Les limites de la zone contrôlée ou de la zone surveillée doivent être correctement matérialisées et signalisées.
- A l'intérieur des zones surveillées comme des zones contrôlées, les sources utilisées doivent être signalées. L'affichage doit être remis à jour périodiquement : il rappelle notamment les risques d'exposition externe, et éventuellement interne, les consignes de travail adaptées à la nature de l'exposition et aux opérations envisagées.
- A l'intérieur de la zone contrôlée, il peut y avoir des zones spécialement réglementées, soumises à d'autres règles d'accès, et des interdictions d'accès (par risque d'exposition croissant, zone jaune, zone orange et zone rouge).
- L'étiquetage des substances radioactives pendant leur transport est obligatoire. (INRS, 2009).

Tableau 5. Signalisation du Risque Radioactif : Pictogramme, Panneaux et Autres Eléments

<p>Pictogramme d'Avertissement</p>	<p>Matières Radioactives / Radiations Ionisantes</p> 						
<p>Panneaux de Signalisation de Zone ne sont donnés ici à titre d'exemple que 6 panneaux. En fonction de la nature du risque à signaler, les messages accompagnant le pictogramme, ainsi que les couleurs, peuvent être intervertis.</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="938 1375 1158 1525"> <p>ZONE CONTROLÉE</p>  <p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ</p> </td> <td data-bbox="1158 1375 1378 1525"> <p>ZONE SURVEILLÉE</p>  <p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="938 1536 1158 1686"> <p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ ZONE ORANGE</p>  <p>DANGER DE CONTAMINATION</p> </td> <td data-bbox="1158 1536 1378 1686"> <p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ ZONE JAUNE</p>  <p>RISQUE D'IRRADIATION</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="938 1697 1158 1848"> <p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ ZONE ROUGE</p>  <p>DANGER D'IRRADIATION ET DE CONTAMINATION</p> </td> <td data-bbox="1158 1697 1378 1848"> <p>A PROTÉGER</p>  <p>DE TOUTE IRRADIATION ET CONTAMINATION</p> </td> </tr> </table>	<p>ZONE CONTROLÉE</p>  <p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ</p>	<p>ZONE SURVEILLÉE</p>  <p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ</p>	<p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ ZONE ORANGE</p>  <p>DANGER DE CONTAMINATION</p>	<p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ ZONE JAUNE</p>  <p>RISQUE D'IRRADIATION</p>	<p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ ZONE ROUGE</p>  <p>DANGER D'IRRADIATION ET DE CONTAMINATION</p>	<p>A PROTÉGER</p>  <p>DE TOUTE IRRADIATION ET CONTAMINATION</p>
<p>ZONE CONTROLÉE</p>  <p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ</p>	<p>ZONE SURVEILLÉE</p>  <p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ</p>						
<p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ ZONE ORANGE</p>  <p>DANGER DE CONTAMINATION</p>	<p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ ZONE JAUNE</p>  <p>RISQUE D'IRRADIATION</p>						
<p>ACCÈS RÉGLEMENTÉ ZONE ROUGE</p>  <p>DANGER D'IRRADIATION ET DE CONTAMINATION</p>	<p>A PROTÉGER</p>  <p>DE TOUTE IRRADIATION ET CONTAMINATION</p>						

<p align="center">Bandes de Balisage</p>	
<p>Affichage Réglementaire d'Information Protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants</p>	<p>Cet affichage remis à jour régulièrement, doit comporter notamment les consignes de travail et de sécurité adaptées à la nature de l'exposition et aux opérations envisagées. Des exemples existent et sont commercialisés par des entreprises de signalétique.</p>

Le zonage doit être matérialisé selon les grandeurs suivantes (art. R4451-22 et 23 du Code du travail (INRS, 2009):



Figure 19. Exposition Externe et Interne de l'Organisme Entier



Figure 20. Exposition des Extrémités (mains, pieds, cheville et avant-bras)

9.1.1.1 Classement du Personnel en Catégories A et B :

Le classement est défini par l'employeur après avis du médecin du travail. Il sera apprécié avec la PCR selon les études de poste et les spécificités propres à chaque service.

À titre indicatif : (INRS, 2007).

Tableau 6. Classement du Personnel

Personnel concerné	Classement proposé
Manipulateur	Catégorie B si exclusivement affecté à des accélérateurs
Médecin	Catégorie B
Personnel chargé du contrôle ou de la maintenance de l'accélérateur	Catégorie A
Stagiaire	A ou B selon le poste d'affectation Note : Pas de poste d'affectation impliquant un classement en catégorie A pour un stagiaire de moins de 18 ans.
Secrétaire, personnel d'accueil	N'ont pas à être présents dans la salle de commande pendant le fonctionnement de l'accélérateur. Ne sont donc pas concernés par le classement.
Brancardier, ambulancier	En principe non concerné par le classement Sauf appréciation au cas par cas par le PCR
Personnel n'intervenant pas sur l'accélérateur : ménage, services techniques.	Ne doivent intervenir que pendant les périodes de mise à l'arrêt de l'accélérateur. Ne sont pas concernés par le classement

9.1.1.2 Dosimétrie :

a. *Dosimétrie Passive :*

La dosimétrie passive consiste en une mesure en temps diffère de l'exposition externe. Elle est obligatoire pour tout intervenant dans une zone surveillée ou contrôlée, dans le cas d'un risque d'irradiation externe du a des rayonnements :

- Des rayons X émis par un générateur fonctionnant sous une tension supérieure à 30 kV ;
- Des rayonnements gamma d'énergie supérieure à 15 keV ;
- Des rayonnements neutrons ;
- Les rayonnements beta si l'énergie moyenne est supérieure à 100 keV.

Elle doit être adaptée aux rayonnements ainsi qu'au type d'exposition (organisme entier, extrémité ou cristallin). Les mesures de l'exposition externe sont effectuées par un organisme agréé ou l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire.

La dose évaluée à partir du dosimètre est considérée comme reçue par le travailleur concerne tant que la preuve du contraire n'a pas été apportée. Seul le médecin du travail peut, après enquête, proposer la modification ou l'annulation d'une dose qui n'aurait pas été reçue par le travailleur, dans le cas notamment où le dosimètre aurait été exposé sans être porté. En cas de perte ou de détérioration du dosimètre passif, le médecin du travail peut éventuellement s'appuyer sur les résultats de la dosimétrie active pour évaluer la dose reçue par le travailleur.

En cas de contentieux, seule la dosimétrie passive fait référence (Jimonet & Métivier, 2007).

a. *Dosimétrie Opérationnelle :*

La dosimétrie opérationnelle (dite aussi dosimétrie active) consiste en une mesure en temps réel de la dose reçue ou à défaut à chaque sortie de la zone de travail à l'aide d'un dosimètre à lecture directe. Le port est obligatoire pendant toute la durée de l'intervention en zone contrôlée.

L'identification du porteur doit être sans équivoque pendant la période de port même brève. Les résultats sont individuels et nominatifs.

Les caractéristiques des dosimètres doivent être évaluées en fonction du poste de travail. Il peut être nécessaire de porter plusieurs dosimètres s'il existe des rayonnements différents.

Le seuil de mesure ne peut être supérieur à 0,01 mSv et le pas d'enregistrement à 0,001 mSv. Il doit être étalonné dans la grandeur opérationnelle appropriée comme le dosimètre passif. Les rayonnements et leur gamme d'énergie sont les mêmes que pour la dosimétrie passive.

Le dosimètre peut comporter des seuils d'alarme en débit et en dose règle début d'intervention en fonction des contraintes de dose fixées.

La dosimétrie opérationnelle a pour but, d'une part, de faciliter l'optimisation en suivant en temps réel les prévisions de doses effectuées préalablement aux opérations et, d'autre part, d'alerter le travailleur en cas de dépassement de seuils préalablement établis au regard des évaluations prévisionnelles de dose, tant en termes de débit de dose que de dose intégrée.

La lecture et l'exploitation de la dosimétrie opérationnelle sont effectuées par la personne compétente en radioprotection sous la responsabilité du chef d'établissement (Jimonet & Métivier, 2007).

9.1.2 Stratégie de Maitrise de Risque :

9.1.2.1 Réduction du Risque :

Mise en œuvre des installations par des professionnels formés et qualifiés.

a) Règles générales :

- Connaître et respecter les consignes et procédures d'irradiation élaborées pour assurer la sécurité des opérateurs et des patients.
- Connaître l'emplacement et savoir utiliser les dispositifs de sécurité (arrêts d'urgence type coup de poing, signalisation lumineuse, interphone, surveillance vidéo...).
- S'assurer par visualisation directe et vidéo de l'absence de toute personne, en dehors du patient, dans la salle de traitement avant l'irradiation.

b) Maintenance, contrôle de qualité :

- L'activation de certaines pièces métalliques de la tête de l'accélérateur (photons d'énergie > 10 MeV) n'est à prendre en compte qu'à la suite des irradiations de longue durée.

c) Incidents, accidents :

- Prévoir les protocoles écrits précisant les conduites à tenir en cas de risque d'irradiation suite à des dysfonctionnements de la machine ou au non-respect des consignes de sécurité ou des procédures d'irradiation. Ces protocoles devront préciser notamment les modalités de mise en sécurité de l'installation et de ses conditions d'accès après avoir retiré si nécessaire le patient de la salle.
- Incidents ou dysfonctionnements susceptibles d'entraîner une exposition anormale du personnel :
 - Mettre en œuvre le protocole adapté ;
 - Prévenir le chef de service, la PCR, le médecin du travail et si nécessaire la PSRPM qui prendront toutes dispositions pour maîtriser cet incident, en connaître les causes et en tirer les enseignements ;
 - Prévenir le CHSCT (ou à défaut les délégués du personnel) ;
 - Si nécessaire, prévoir une déclaration au référent de la matériovigilance ;
 - Information dans les meilleurs délais de la Division territoriale compétente de l'ASN (Autorité de sûreté nucléaire) ou sur le serveur de l'ASN par le chef d'établissement.
- En cas d'exposition anormale avérée du personnel « Prises en charge des anomalies, incidents et accidents sur le personnel » :
 - Contacter le plus vite possible l'IRSN
 - Pour apprécier la conduite à tenir (évaluation dosimétrique, prise en charge médicale...);
 - Information sans délai de la Division territoriale compétente de l'ASN (Autorité de sûreté nucléaire) ou sur le serveur de l'ASN par le chef d'établissement ;
 - En cas de dépassement d'une limite de dose professionnelle, l'inspecteur du travail doit également être prévenu (INRS, Radiothérapie Externe Accélérateur de Particules, 2007).

d) Protection collective : Reposit sur 5 principes de base :

- *Le temps* : réduire au minimum les temps d'exposition permet d'abaisser au mieux les doses.
- *La distance* : s'éloigner de la source permet très rapidement de réduire considérablement le niveau d'exposition.
- *Les écrans* : utiliser au maximum les moyens de radioprotection adaptés est essentiel pour diminuer les niveaux d'exposition.
- *La justification* : tout acte radiologique doit être justifié.
- *L'optimisation* : les niveaux d'exposition doivent être maintenus au plus bas. (Fiche Pratique Les Rayonnements Ionisants La Radioprotection, 2018).

9.1.2.2 Protection Individuelle :

Les principaux Equipements de Protection Individuelle (EPI) (Fiche Pratique Les Rayonnements Ionisants La Radioprotection, 2018) :

			
Le tablier plombé	Le cache thyroïde	Les gants avec manchette plombés	Les lunettes de protection plombées

Figure 21. Les Moyens de Protection Individuelle

9.1.2.3 Formation et Information

- Remise par l'employeur à chaque personne susceptible d'intervenir dans la zone contrôlée d'une notice d'information spécifique au poste occupé et d'une fiche d'information relative au suivi dosimétrique (SISERI : système d'information de la surveillance de l'exposition aux rayonnements ionisants).
- Affichage, et diffusion, du règlement intérieur comportant en particulier les consignes de radioprotection, les noms et les coordonnées de la PCR et du médecin du travail.
- Affichage précisant, si nécessaire, la présence d'une zone contrôlée intermittente.

- Diffusion, si besoin est, auprès des personnels et des services concernés des consignes de sécurité spécifiques à l'installation comme par exemple l'accès à des locaux attenants ou à des toits terrasses nécessitant impérativement l'arrêt de l'accélérateur. (INRS, Radiothérapie Externe Accélérateur de Particules, 2007)

9.1.3 Surveillance et Suivi Médical :

9.1.3.1 La Personne Compétente en Radioprotection (PCR) :

La PCR est désignée par l'employeur, qui doit lui donner les moyens nécessaires à l'exécution de ses missions (temps, moyens de contrôle...).

La PCR est titulaire d'un certificat délivré à l'issue d'une formation à la radioprotection dispensée par des personnes dont la qualification est certifiée par des organismes accrédités.

- Elle définit les objectifs collectifs et individuels de dose pour les opérations prévues sous la responsabilité de l'employeur ;
- Elle effectue les contrôles techniques de radioprotection ;
- Elle réalise un suivi des résultats des dosimétries actives ;
- Elle participe à la gestion des situations d'urgences ;
- Elle participe à la formation des travailleurs. (ANAP, 2021)

9.1.3.2 Suivi Médical :

Le personnel exposé aux rayonnements ionisants est soumis à une surveillance médicale particulière. Elle a pour but de déceler toute contre-indication à l'affectation ou au maintien à un poste exposant aux rayonnements ionisants, et de prévenir et dépister toute affection susceptible d'être en relation avec cette exposition. La surveillance médicale s'effectue :

- Avant l'affectation au poste de travail
- Périodiquement, et au moins une fois par an pour les travailleurs de catégories A ou B relevant de la fonction publique d'Etat ;
- Occasionnellement, en cas d'exposition inhabituelle ;
- Après une absence pour cause de maladie professionnelle ou d'accident de service, un congé de maternité, un congé pour cause de maladie ou d'accident non professionnel, en cas d'absences répétées pour raison de santé... ;
- A la demande de l'agent, notamment en cas de grossesse ;

- Après la fin de l'exposition au risque, pour les travailleurs de catégorie A (sur médicale post-professionnelle).

La surveillance médicale consiste en :

- Un bilan de l'exposition ;
- Un examen clinique orienté selon le type d'exposition :
 - Exposition externe : recherche d'atteinte d'ordre hématologique, ophtalmologique ou cutané.
 - Exposition interne : recherche d'une pathologie pouvant entraîner une rétention des radionucléides ou facilitant leur pénétration dans l'organisme ;
- Un ou plusieurs examens complémentaires, en fonction de l'exposition et de l'état de santé de l'agent :
 - examen hématologique (numération– formule sanguine, plaquettes),
 - examen ophtalmologique (contrôle des cristallins),
 - radiographie pulmonaire en cas de risque d'exposition interne,
 - examen O.R.L. en cas de risque d'exposition interne,
 - examen dermatologique en cas de risque de contamination cutanée ou d'exposition externe,
 - bilan biologique hépatique et rénal, - examen radiotoxicologique des urines et/ou des selles en cas d'exposition interne, - anthroporadiométrie (couramment appelée anthropogammamétrie) en cas d'exposition interne (CNRS, 2018).

9.1.3.3 Rôle de Médecin de Travail :

Les actions du médecin du travail sont multiples :

- Il collabore étroitement avec la personne compétente en radioprotection. Il peut conseiller le chef d'établissement en tant que besoin pour établir et actualiser la fiche d'exposition individuelle (cette fiche est officiellement établie par l'employeur qui délègue en général cette tâche à la PCR et /ou au médecin du travail).
- Il participe à l'information des travailleurs sur les risques des rayonnements ionisants et sur les autres risques susceptibles d'aggraver les risques des rayonnements ionisants.
- Il participe à l'élaboration des informations à la radioprotection des travailleurs qui interviennent en zone contrôlée et en zone surveillée.
- Il conseille lors de l'achat d'équipements de protection individuels.

- Il explique aux intéressés les modalités d'utilisation des équipements de protection individuels.
- En cas de résultat individuel de dosimétrie jugé anormal, il réalise une enquête (en général avec la PCR). Il doit informer l'IRSN du déclenchement et des résultats de l'enquête.
- Il prend toute disposition qu'il juge utile en cas de dépassement des doses limites autorisées.
- Il donne son avis avant toute nouvelle exposition du travailleur ayant subi un dépassement de dose.
- Il donne son avis pour l'aménagement de poste des manipulatrices enceintes. Son avis est prioritaire.

En pratique, il possède donc deux rôles :

- Un rôle de conseiller où il se doit de visiter les lieux de travail, pour vérifier les conditions de travail et la protection des salariés contre l'ensemble des nuisances, les risques d'accidents ou l'utilisation de produits dangereux. Il doit travailler en coopération avec la PCR, notamment pour avoir une parfaite connaissance des sources de rayonnements présentes dans l'établissement.
- Un rôle de surveillance médicale pour chaque travailleur de catégorie A ou B : prescription de certains examens médicaux, élaboration du dossier médical, de la fiche d'aptitude et de la carte individuelle de suivi médical (Henri & Martine, 2012).

9.1.3.4 Dossier Médical :

Les résultats des examens cliniques et des examens complémentaires sont consignés dans un dossier médical propre à chaque agent. Le médecin de prévention établit un dossier médical individuel pour les agents exposés. Ce dossier doit contenir:

- Une fiche d'exposition mentionnant les dates et les résultats des contrôles des doses équivalentes ;
- Les dates et les résultats du suivi dosimétrique d'exposition individuelle ;
- Les dates et les résultats des examens médicaux prescrits et réalisés.

Les dossiers médicaux doivent être conservés pendant la durée de vie de l'agent, et, en tout cas, au moins 50 ans après la fin de la période d'exposition aux rayonnements ionisants (CNRS, 2018).

9.1.3.5 Grossesse :

Il est nécessaire que le personnel féminin informe le plus tôt possible le médecin du travail de sa grossesse. Les postes compatibles avec la poursuite de l'activité d'une femme enceinte sont définis par le médecin du travail en concertation avec la PCR. En cas de maintien au poste, la dosimétrie opérationnelle est recommandée.

Le changement d'affectation est laissé à l'entière appréciation du médecin du travail après concertation avec l'intéressée (INRS, 2007).

9.1.4 La Conduite à Tenir en cas d'Irradiation Accidentelle du Personnel :

La PCR, le chef d'établissement, le GHSCT ou à défaut les délégués du personnel, le médecin du travail et la PSRPM doivent être immédiatement prévenus. Ils prendront les mesures nécessaires pour faire cesser l'incident, en connaître les causes, en tirer les enseignements et évaluer le risque encouru par la personne irradiée.

C'est ainsi que la PSRPM et la PCR, vont, dans la mesure du possible, faire une estimation de l'ampleur de l'irradiation (totale ou locale), et une estimation par calcul de la dose reçue par la personne irradiée en fonction des indications qu'elle fournit.

S'il y a eu utilisation d'un dosimètre opérationnel, la PCR vérifie si le seuil de dose a été ou non dépassé. En l'absence de dosimètre opérationnel, le dosimètre individuel de la personne accidentée est envoyé immédiatement au service compétent (IRSN par exemple) pour y être lu dans les délais les plus brefs. La personne est interdite de zone contrôlée jusqu'à connaissance de la dose reçue.

Si les résultats dosimétriques attestent d'une exposition anormale, l'IRSN est contacté le plus rapidement possible, il pourra indiquer la conduite à tenir, et le chef d'établissement avertit sans délais l'ASN. En cas de dépassement d'une limite de dose, l'inspecteur du travail doit également être prévenu.

La personne irradiée est prise en charge par le service de médecine du travail pour bilan clinique et si besoin (fonction de la dose reçue) examens complémentaires, puis dirigée, si son cas nécessite, vers un service de soins spécialisés. Une déclaration d'accident du travail sera faite si nécessaire (Robert & Denis-Jean, 2007).

10. Notion De Document Unique d'Evaluation -Déclaration des Risques

Professionnels :

L'évaluation des risques professionnels (EvRP) constitue une étape cruciale de la démarche de prévention. Elle en est le point de départ : l'identification, l'analyse et le classement des risques permettent de définir les actions de prévention les plus appropriées couvrant les dimensions techniques, humaines et organisationnelles.

EvRP consiste à identifier les risques auxquels sont soumis les salariés d'un établissement. C'est l'étape initiale de toute démarche de prévention en santé et sécurité au travail dont les résultats sont formalisés dans un **document unique**.

Le document unique est mis à la disposition des salariés, délégués de personnel, du médecin du travail, de l'inspecteur du travail et des agents des services de prévention des organismes de sécurité sociale ainsi les inspecteurs de la radioprotection. Il contient :

- *le cadre de l'évaluation
- *méthode de l'analyse des risques choisie ainsi que les outils mise en œuvre
- *La méthode de classement choisie
- *L'inventaire des risques identifiés et évalués
- * Les actions à mettre en place

L'employeur doit annexer au document unique les **données collectives** utiles à l'évaluation des expositions aux facteurs de pénibilité de nature à faciliter la déclaration, le cas échéant à partir de l'identification des postes, métiers ou situations de travail figurant dans un accord collectif. Ainsi **la proportion de salariés** exposés à ces facteurs au-delà des seuils. Il est essentiel de conserver ces éléments pour assurer :

- La cohérence dans la démarche d'évaluation qui est dynamique et évolutive
- Le suivi et la pérennité de l'action d'évaluation des risques dans le service lors de la mise à jour du document permettant de faire un bilan des actions réalisées, d'améliorer de façon régulière la prise en compte des risques ; de prendre en compte l'évolution des règles relatives à et la santé et sécurité au travail et la survenue d'accidents ou d'incidents ...
- Le document unique est élaboré et il doit satisfaire aux besoins du service ; INRS donne quelques repères pour l'élaborer tel que : la forme du document ; modalités de réalisation ; son contenu et le suivi de la mise à jour dans des conditions fixées par

décret en Conseil d'Etat après avis des organisations professionnelles concernée (CCIP, 2021)

Voici un exemplaire du document unique fourni par (CCIP, 2021) :

DOCUMENT UNIQUE

(résultats de l'évaluation des risques pour la sécurité et la santé des travailleurs)
Décret n° 2001-1016 du 5 novembre 2001

Dénomination sociale :

Unité de travail (activité / poste) :

Fiche	Identification des risques	Evaluation du risque			
		Sans Objet	Faible	Moyen	Elevé
ENVIRONNEMENT PHYSIQUE					
P1	Ambiances climatiques				
P2	Bruit				
P3	Eclairage				
P4	Vibrations				
P5	Rayonnements ionisants				
CHIMIQUE					
C6	Produits chimiques				
C7	Incendie et explosion				
C25	Evacuation des déchets				
SITUATIONS DE TRAVAIL					
S8	Manutention manuelle				
S9	Circulations et déplacements				
S10	Utilisation d'écran				
S11	Manque de formation				
S12	Organisation et relations de travail				
S13	Troubles musculo-squelettiques				
S26	Risques psychosociaux				
ACCIDENTS PREPONDERANTS					
A14	Chute de plain pied				
A15	Chute de hauteur				
A16	Chute d'objets				
A17	Machines outils				
A18	Electricité				
A19	Manutention mécanique				
AUTRES					
20	Hygiène générale				
21	Entreprises extérieures				
22	Risques biologiques				
23	Travail isolé				
24	Organisation des secours				
27	Travail de nuit				

Date d'évaluation : Effectuée par :

Signature de l'employeur :

Figure 22. Exemplaire du Document Unique

11. Les Maladies Professionnelles Provoquées par les Rayonnements

Ionisants :

Mentionnées dans la version du tableau n° 6, annexé à la loi du le janvier 1931 (INRS, 2021) :

DÉSIGNATION DES MALADIES	DÉLAI DE PRISE EN CHARGE	LISTE INDICATIVE DES PRINCIPAUX TRAVAUX SUSCEPTIBLES DE PROVOQUER CES MALADIES
Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation aiguë.	30 jours	Tous travaux exposant à l'action des rayons X ou des substances radioactives naturelles ou artificielles, ou à toute autre source d'émission corpusculaire, notamment : Extraction et traitement des minerais radioactifs ; Préparation des substances radioactives ;
Anémie, leucopénie, thrombopénie ou syndrome hémorragique consécutifs à une irradiation chronique.	1 an	Préparation de produits chimiques et pharmaceutiques radioactifs ; Préparation et application de produits luminescents radifères ; Recherches ou mesures sur les substances radioactives et les rayons X dans les laboratoires ; Fabrication d'appareils pour radiothérapie et d'appareils à rayons X ;
Blépharite ou conjonctivite.	7 jours	Travaux exposant les travailleurs au rayonnement dans les hôpitaux, les sanatoriums, les cliniques, les dispensaires, les cabinets médicaux, les cabinets dentaires et radiologiques, dans les maisons de santé et les centres anticancéreux ;
Kératite.	1 an	Travaux dans toutes les industries ou commerces utilisant les rayons X, les substances radioactives, les substances ou dispositifs émettant les rayonnements indiqués ci-dessus.
Cataracte.	10 ans	
Radiodermites aiguës.	60 jours	
Radiodermites chroniques.	10 ans	
Radio-épithélite aiguë des muqueuses.	60 jours	
Radiolésions chroniques des muqueuses.	5 ans	
Radionécrose osseuse.	30 ans	
Leucémies.	30 ans	
Cancer broncho-pulmonaire primitif par inhalation.	30 ans	
Sarcome osseux.	50 ans	

Figure 23. Tableau des Affections Provoquées par les Rayonnements Ionisants

12. Responsabilité du Chef d'Établissement en Matière de

Radioprotection :

La réglementation en radioprotection évolue ; les décrets transposant la directive européenne 2013 /59 Euratom sont parus au Journal Officiel le 4 juin 2018 dernier. Elle renforce la cohésion et l'efficacité des équipes à trois niveaux et propose une approche graduée et plus adaptée aux nombreuses situations d'exposition des personnes ou de l'environnement aux rayons ionisants donc l'employeur ou le chef d'établissement reste le responsable de la protection des travailleurs contre tous les risques professionnels.

Pour l'administration hospitalière, la direction et l'employeur désormais le chef d'établissement ; il s'agit de mieux intégrer le risque d'irradiation dans une démarche générale de prévention pour optimiser les moyens mis en œuvre en termes de radioprotection. Si la stricte conformité réglementaire est une obligation ; comprenant l'organisation du travail , l'évaluation des risques , l'analyse des postes de travail et zonage des locaux vis-à-vis du risque lié aux rayonnements ionisants ; elle n'est pas une fin en soi pour autant , ce qui compte véritablement est l'amélioration continue pour arriver à la maîtrise des risques ce qui est confirmé par le nouvel article du code du travail qui stipule que : " l'employeur prend des mesures de prévention visant à supprimer ou réduire au minimum les risques résultant de l'exposition aux rayonnements ionisants en tenant compte du progrès technique et de la disponibilité de mesures de maîtrise du risque à la source ". Donc il doit faire avec l'aide et la personne compétente en radioprotection PCR devenue conseiller en radioprotection.

L'employeur est également tenu de fournir aux travailleurs du service les moyens de radioprotection individuels et collectifs et les moyens de suivi dosimétrique donc il reste chargé de leur protection contre les risques professionnels (Benna & Belaid, 2018).

Mis à part l'autorisation et la déclaration auprès de l'ASN d'un équipement émetteur de rayons ionisants ; le chef doit réaliser et renforcer la relation entre ses employés avec le médecin du travail pour accorder à ce dernier le droit d'accès à la dosimétrie liée à l'exposition interne d'un travailleur donc l'employeur se montre vigilant la désignation d'un conseil en radioprotection ne les exonère pas de leur responsabilité pénale en cas de faute personnelle.

Le chef d'établissement est responsable de la sécurité de son service de la radiothérapie en termes de procédure d'autorisation d'activité, la démarche de la gestion de risques en obérant les exigences de la conception et de contrôle en exploitation ainsi le lancement d'enquête en cas de survenue des accidents de travail améliorant une approche plus collective de la sécurité (IRSN, 2011).

Chapitre V :

Partie Pratique

Chapitre V : Partie Pratique :

1. Matériels et Méthodes :

1.1 Problématique :

La radioactivité est un phénomène caractérisé par la désintégration spontanée des atomes sous forme d'ondes et de particules de type énergie libérée. Ces derniers ont de nombreuses applications bénéfiques notamment en médecine. La radiothérapie est l'un des principales méthodes de diagnostic et de traitement utilisé depuis des décennies où mettant en jeu l'être humain face aux rayonnements ionisants. Cette exposition provenant des installations produisant de l'énergie nucléaire aux usages médicaux se trouve la source la plus courante d'irradiation ionisante (Carelinois, 2004).

Les personnels soignants affectés dans les services de la radiothérapie se trouve dans une situation demeure critique à cause de risques liés aux rayonnements ionisants qui au-delà de certains seuils les rayonnements peuvent altérer le fonctionnement des tissus ou des organes et produire des effets aigue ; ces effets deviennent plus sévères lorsque la dose et le débit de dose augmente et si la dose est faible et ou diffusée sur longue durée le risque est considérablement faible mais toujours existé sous forme d'effet à long terme comme le cancer qui peut apparaitre des années voire des dizaines plus tard.

Ce qui fait l'intérêt des programmes créés par les autorités de l'ASN, IRSN et CIPR pour protéger les travailleurs et le grand public contre les risques de santé et les situations d'urgence que présente l'exposition prévue en mettant en jeu les aspects de la radioprotection qui relèvent de la santé publique regroupant les activités d'évaluation et de gestion du risque et adopter des normes pour faciliter l'application des mesures de la radioprotection conformément aux normes de surveillance (Hausmann, 2018).

L'étude des risques de rayonnements ionisants dont le personnel soignant est exposé fait l'objet de plusieurs études épidémiologiques à travers le monde vu les effets biologiques et sanitaires dangereux de ces derniers.

En termes d'évaluation concernant principalement celui des effets induits lors d'exposition à faible niveau et lors d'exposition aigue (accident) d'où l'intérêt de la formation des agents hospitaliers en matière de radioprotection et l'application rigoureuse de son concept. Par ailleurs, l'insuffisance des informations et le manque de sensibilisation

à la radioprotection au sein du personnel soignant représente une problématique importante dans de nombreuses études.

C'est pour cela, on s'intéressait élaborer notre étude auprès de personnels soignants au niveau de service de la radiothérapie de centre de lutte contre le cancer CLCC de CHU Tlemcen ; donc les questions qui se posent :

1. Quels sont les risques dont le personnel soignant est exposé au niveau du service de la radiothérapie et quels sont les effets rencontrés chez eux ?
2. Quelles stratégies doit promouvoir l'établissement pour surveiller ces risques et de protéger ses employés ?

1.2 Objectif :

1.2.1 Objectifs Principales :

- L'identification des différents risques liés à l'exposition aux rayonnements ionisants (effet déterministe accidentelle et effet stochastique) chez les personnels de CLCC-Tlemcen).
- Optimisation des normes de la radioprotection individuelle ou collective et adopter des mesures adaptées ainsi que la stratégie de maîtrise de risque (formation/information).

1.2.2 Objectifs Secondaires:

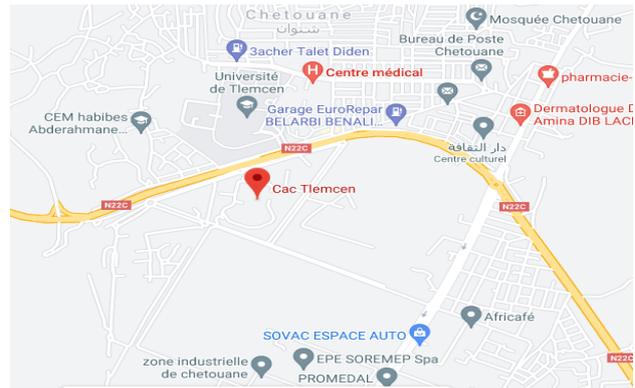
- Produire des informations de bonne qualité documentées et archivées sous forme d'un dépliant.

1.3 Type d'Etude :

Il s'agit d'une étude épidémiologique descriptive transversale allant de [15 Décembre 2020 -14 Mars 2021] portant sur la population de personnels de centre de lutte contre le cancer du CHU-Tlemcen, service de la radiothérapie.

1.4 Lieu d'Etude :

Notre étude est effectuée au niveau de service de la radiothérapie de Centre de Lutte Contre le Cancer Universitaire de la wilaya de Tlemcen (CLCC-Tlemcen) du Centre Hospitalo-Universitaire Dr Tidjani Damerji de Tlemcen (CHU Tlemcen) implanté à Chetouane occupe une superficie générale de 27.374,43 m² et comprend 150 lits.



1.5 Population Etudiée :

Personnels travaillant dans le service de la radiothérapie du centre de lutte contre le cancer-Tlemcen.

- **Critères d'Inclusion :**

Tout le personnel travaillant dans le service de la radiothérapie de centre de lutte contre le cancer de Tlemcen

- **Critères d'Exclusion :**

Les sujets refusant de participer à l'étude

Les sujets qui ont été en congé de maladie, congé de désintoxication

Les sujets suspendus pendant une longue durée

Les sujets détachés

1.6 Matériels :

On a choisi un questionnaire (voir les annexes) parce que c'est un outil d'observation qui permet de quantifier et comparer des informations et d'obtenir des résultats qui valideront ou non notre but.

Par ailleurs, cet outil est le plus adopté à obtenir un état détaillé de connaissance et à collecter des données en matière de risques dont le personnel soignant est exposé et de matière de radioprotection auprès notre échantillon.

On a construit notre questionnaire à l'aide des informations sur le risque des rayonnement ionisants prises auprès les autorités de IRSN et ASN.

Une fois le questionnaire élaboré, le questionnaire a été diffusé aux personnels soignants au niveau du service de la radiothérapie centre de lutte contre le cancer CLCC-Tlemcen.

1.7 Description du Questionnaire :

Notre questionnaire comporte 41 questions divisé en trois parties :

- Données sociodémographiques (nom, âge, sexe, poste, antécédent professionnelle, ancienneté, maladie, médication)
- Exposition aux risques de rayonnement ionisants et suivi médical (type de rayonnement utilisé, malaise, vertige, fatigue, atteinte cutanée et effets CMR)
- Quantification de niveau de connaissance des travailleurs en matière de radioprotection (connaissance des codes internationaux de la manipulation en radiothérapie, formation en radioprotection et application des informations acquises)

On a alterné des questions fermées et ouvertes ; les questions fermées pour obtenir des renseignements factuels sur les connaissances et de juger un accord ou non avec les propositions et des questions ouvertes pour permettre l'expression et le positionnement de notre échantillon.

1.8 Difficultés Rencontrées :

On était obligé de passé au niveau de service de la radiothérapie doc on a déposé une demande auprès de la directrice pour avoir l'accès au service et pouvoir entamer notre étude mais l'avis favorable était accordé qu'après une semaine de dépôt de la lettre administrative.

Après avoir expliqué notre travail aux personnes concernée ; on a diffusé et remplie nous-même certains questionnaires d'autre le fait eux-mêmes et on les a relus tous et les analysés pour la saisie sur Excel.

Parfois, on n'a pas rencontré les personnels ce qui a retardé l'avancement de l'étude.

Perte de questionnaires de la part des informas très souvent résultant d'excès de dépenses en ce qui concerne l'impression et le déplacement mobilier.

On note aussi que les personnels hésitent parfois de divulguer les informations demandées dans le formulaire souvent des informations qu'ils considèrent personnelles ou bien touché de sujet sensible (fumeur, alcool, cancer).

On a obtenu 78 réponses parmi 80 questionnaires diffusés auprès du service de la radiothérapie durant une période de trois mois de durée.

1.9 Analyses Statistiques :

1. L'étude a été saisie sur Microsoft EXEL version 2019.
2. L'analyse a été fait par le biais de **IBM SPSS Statistics 23**.
3. **Adobe Photoshop** : pour construire le dépliant on a obtenu 78 réponses.

Résultat d'Etude

2. Résultat d'Etude :

2.1 Répartition de la Population selon le Sexe :

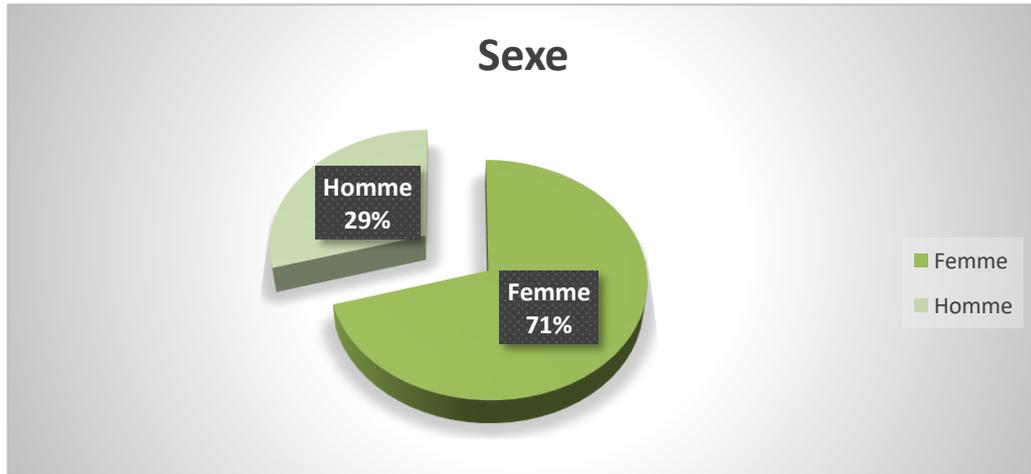


Figure 24. Répartition de la Population selon le Sexe

Sur 78 agents hospitaliers, 71% soit 55 des participants sont des femmes donc il y a une nette prédominance féminine avec un *sex-ratio* de 2.4.

2.2 Description de la Population selon la Tranche d'Age :

Notre étude a porté sur 78 agents hospitaliers du corps médical travaillant au niveau du centre de lutte contre le cancer CLCC service de la radiothérapie de CHU-Tlemcen. La tranche d'âge majoritaire se situe surtout entre [20-40] ans dont l'âge moyen de notre population est de 33ans \pm 0.14.

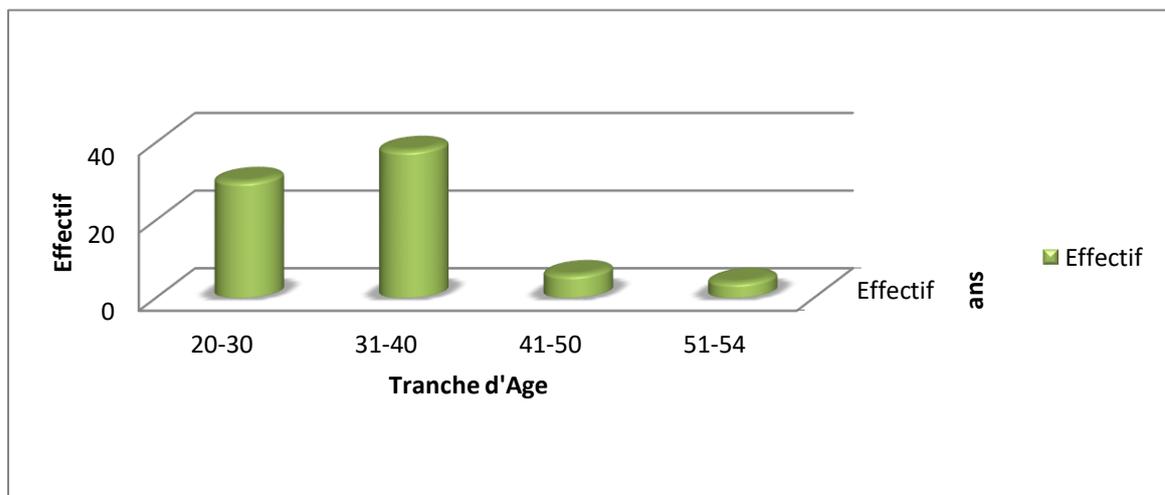


Figure 25. Répartition de la Population selon la Tranche d'Age

La tranche d'âge majoritaire se situe entre [20-40] ans avec un effectif de 68 ; donc notre population est jeune.

2.3 Répartition de la Population selon la Catégorie Professionnelle :

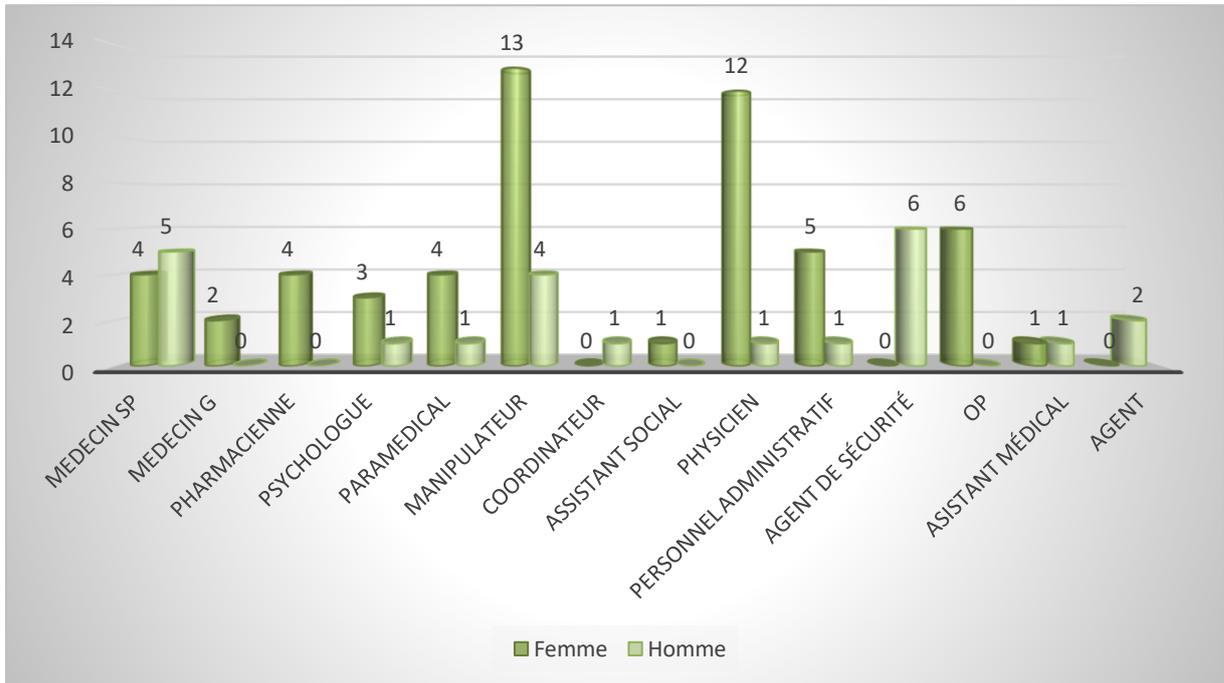


Figure 26. Répartition de la Population selon Sexe et Poste

La figure montre que les manipulateurs sont le plus représentés avec un effectif de 17 (22%) suivi de physiciens avec un effectif de 13 (16%) suivi des médecins spécialistes et agents de sécurités et les ouvriers polyvalents avec un effectif de 9 ,6 ,6 soit (11%,8%,8%) par ordre.

2.4 Répartition de la Population selon l'Ancienneté à l'Hôpital :

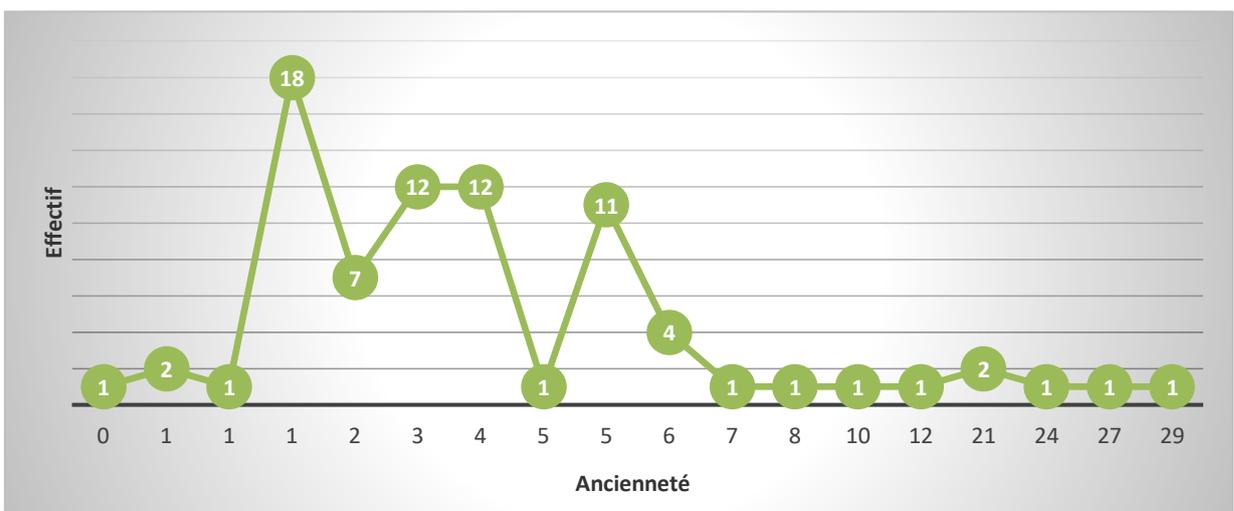


Figure 27. Répartition de la Population selon l'Ancienneté

Notre population est très jeune avec une ancienneté moyenne d'une année ou moins d'un an soit un tous de 22 personnes, suivi de 24 personnes ont 3 à 4 ans de travail.

2.5 Répartition de la Population selon l'Antécédant Médical :

Tableau 7. Maladies Rencontrées chez les Agents Hospitaliers

Maladie	Homme	Femme
Dysthyroïdie	0	6
Séquelle neurologique	1	3
Hernie	1	0
Rhumatisme	0	1
HTA	0	2
Carence en Vitamine D	0	1
Névrite	1	0
Diabète	2	0
Asthme	0	2
Anémie	0	2

Nous avons observé que moins de la moitié de notre population (23%) est malade. La dysthyroïdie est la plus fréquente exclusivement de sexe féminin soit 6 personnes (27%) suivi de séquelle neurologique avec un pourcentage de 18% soit 4 personnes touchées ; Diabète, Anémie, Asthme et HTA arrivent en 3eme position avec un effectif de deux personnes pour chacun d'eux (9%).

2.6 Répartition de la Population selon la Notion de Prise

Médicamenteuse :

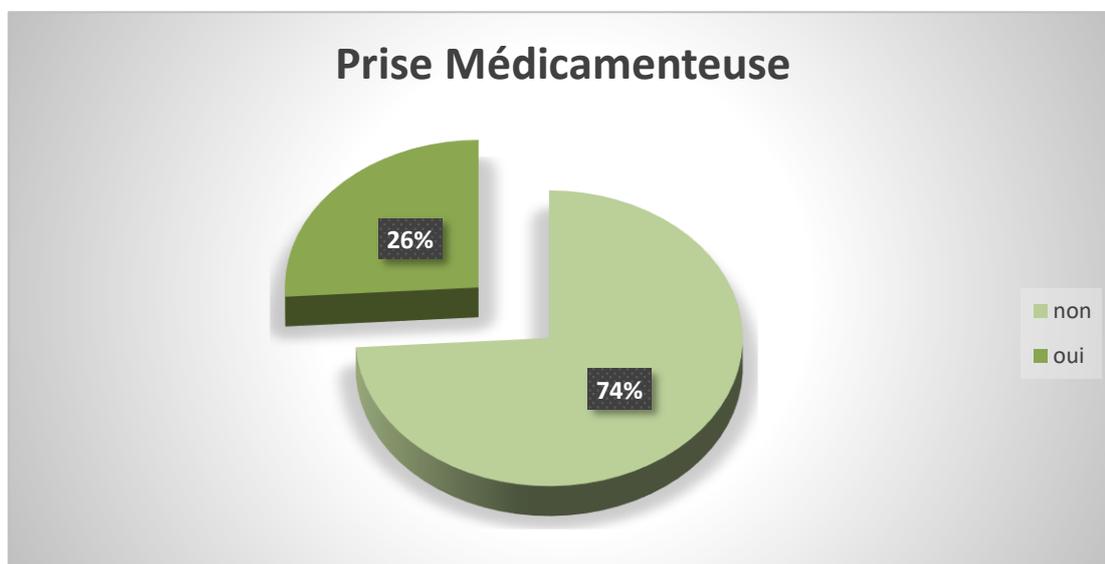


Figure 29. Répartition de la Population Selon la Prise Médicamenteuse

26% des participants prennent des médicaments ;

Ces médicaments sont : Levothyrox, les antidiabétiques oraux, les antidépresseurs, une supplémentation de fer et de vitamine D3 et les contraceptifs.

2.7 Répartition de la Population selon la Consommation du Tabac :

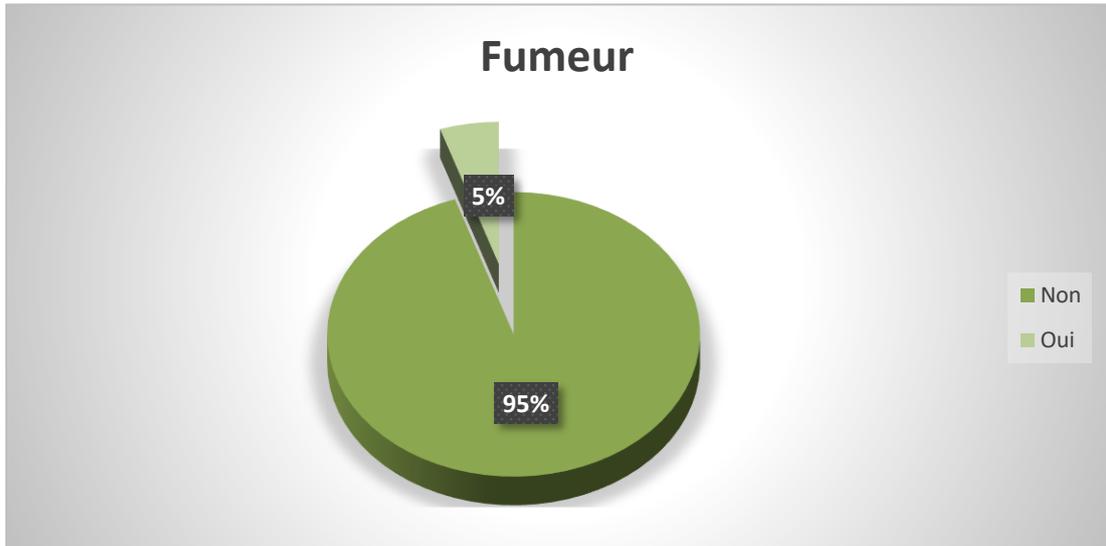


Figure 30. Répartition de la Population Fumeur/Non-fumeur

5% des participants sont des fumeurs qui correspond à 4 hommes ; il paraît que les personnels de santé ne fument pas.

2.8 Répartition de la Population selon la Consommation de l'Alcool :

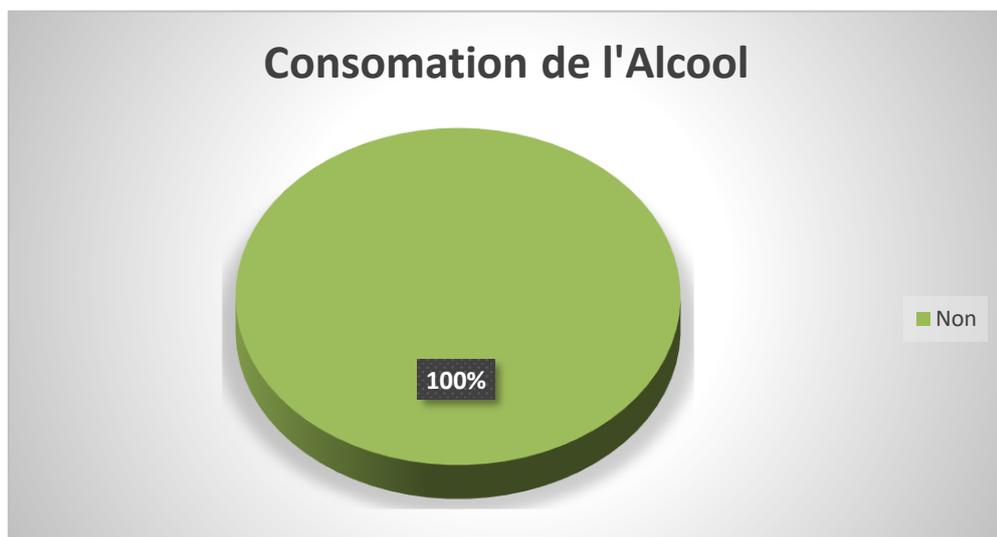


Figure 31. Répartition de la Population selon la Consommation de l'Alcool

Tous les participants ne boivent pas d'alcool.

2.9 Notion d'Avortement chez les Femmes Pendant la Grossesse :

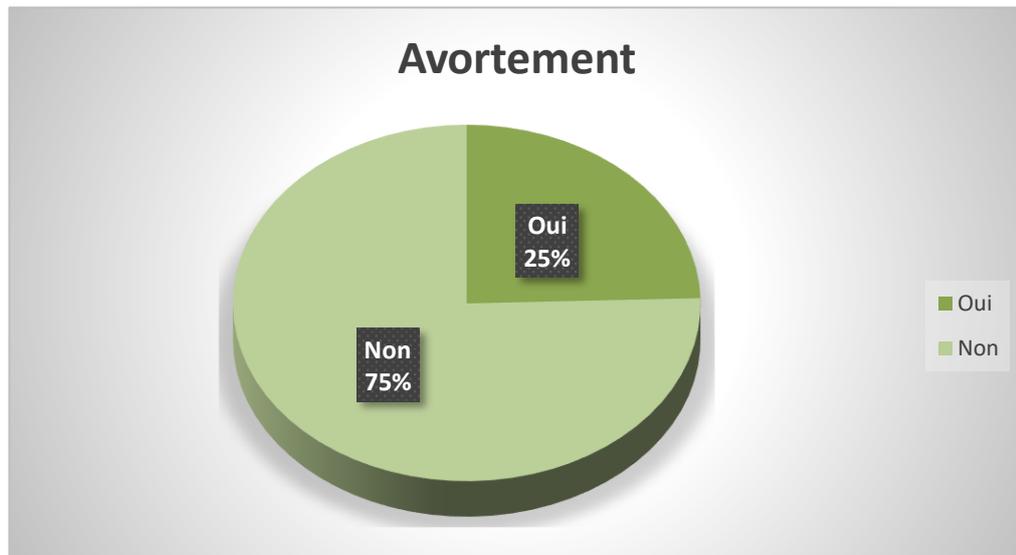


Figure 32. Avortement chez les Femmes et Exposition aux Rayonnements

25% des femmes ont eu un avortement pendant son travail au niveau du service qui correspond à 13 participantes parmi 55 femmes de la population.

2.10 Notion de Malformation chez les Femmes Exposées aux Rayonnements Ionisants :

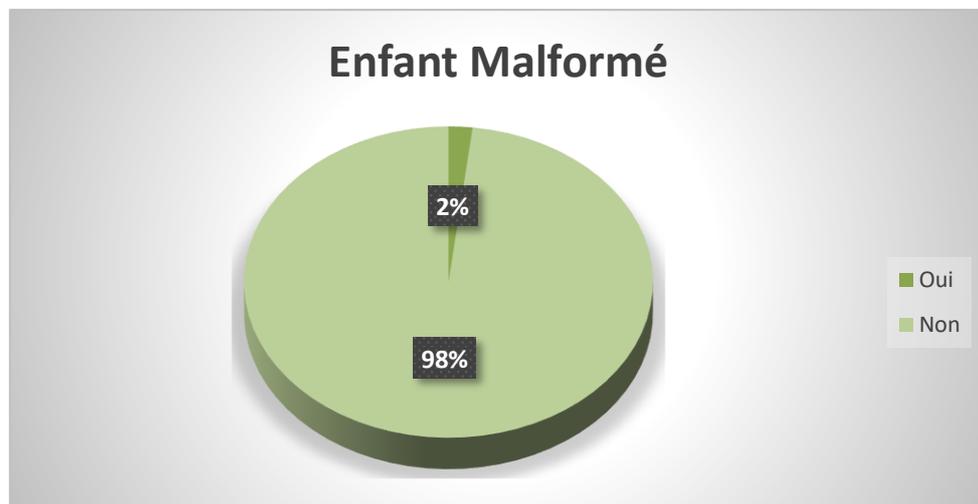


Figure 33. Répartition de la Population s'ils ont un Enfant Malformé

Une femme sur 55 a eu un bébé ayant une malformation cardiaque.

2.11 Population Féminine Ayant Pu Bénéficier d'un Avis d'Aptitude Durant leur Activité :

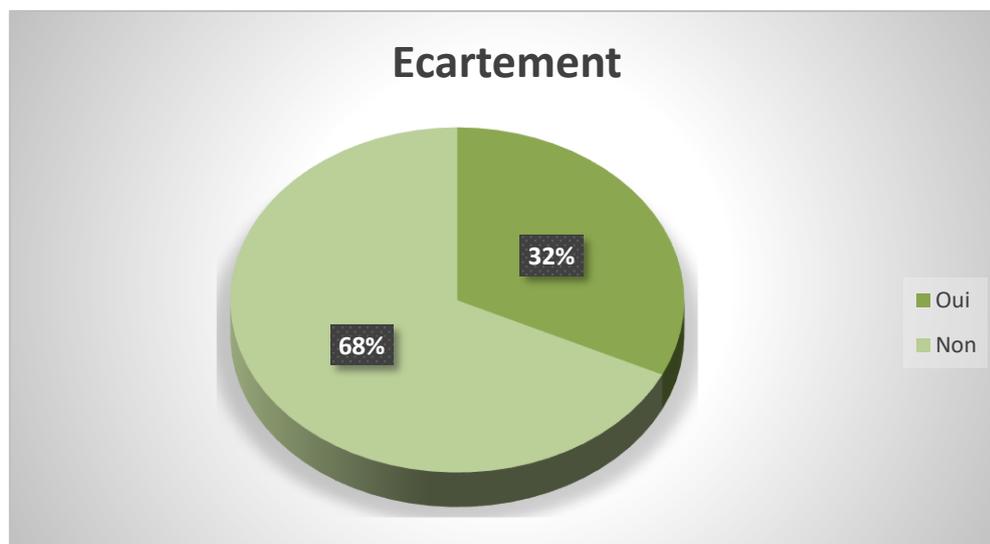


Figure 34. Répartition de la Population selon l'Aptitude du Travail

23% des participantes ont été écarté qui correspond à 17 agents de santé

68% n'ont pas pu bénéficier de l'avis de l'écartement pendant la grossesse.

2.12 Répartition de la Population selon les Symptômes Liés à l'Exposition aux Rayonnements Ionisants :

Tableau 8. Symptômes Rencontrés chez les Agents Hospitaliers

Symptômes	OUI	NON
Malaise	79%	21%
Vertige	80%	20%
Fatigue	80%	20%
Atteinte cutanée	15%	85%

La quasi-totalité de la population souffre de malaise, vertige et fatigue avec un pourcentage élevé environ 80% ; et seulement 15% ont développé une atteinte cutanée.

2.13 Répartition de la Population selon l'Effet CMR :

Tableau 9. Cancer, Malformation Fœtale, Problème de Fertilité

Effet CMR	OUI	NON
Fertilité	2%	98%
Cancer	3%	97%
Malformation fœtale	2%	98%

L'effet CMR perceptible dans notre échantillon est le cancer, soit deux médecins spécialistes (3%) ayant cancer de cavum et lymphome.

2.14 Répartition de la Population selon le Risque de Survenue de l'Accident de Travail :

Tableau 10. Notion d'Accident de Travail

Accident	Effectif
Traumatisme	6
Accident exposant au sang	2
COVID 19	5

Presque le tiers de la population a eu un accident de travail au niveau du service (22%) principalement les traumatismes.

2.15 Répartition des Personnels selon leur Niveau de Connaissance des Codes Internationaux de la Manipulation en Radiothérapie :

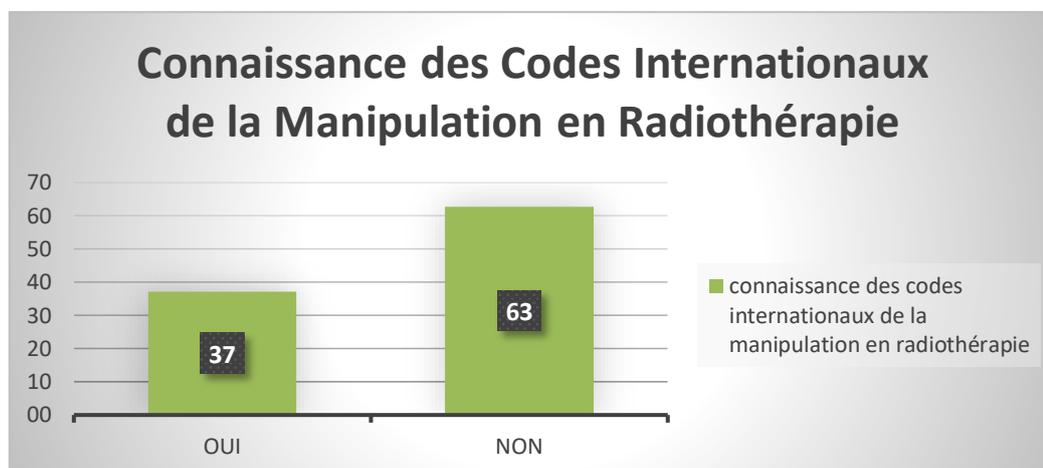


Figure 35. Jugement de Connaissance des Codes Internationaux de la Manipulation en Radiothérapie

Que 37% de personnels connaissent les codes de manipulation en radiothérapie.

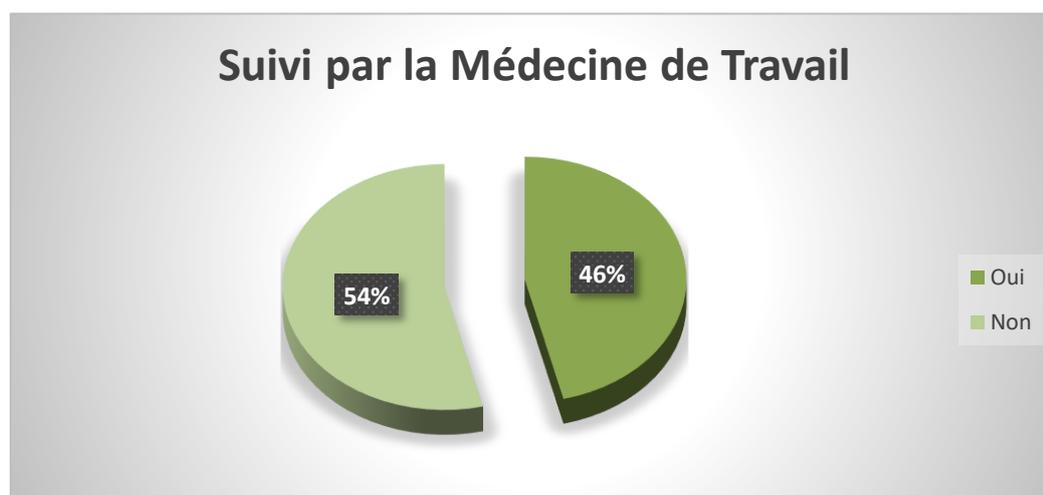


Figure 36. Pourcentage de Suivi des Personnels par la Médecine de Travail

2.16 Suivi par la Médecine de Travail :

D'après les résultats obtenus, nous remarquons que plus de la moitié de notre échantillon 54% n'a pas été suivi par la médecine de travail.

2.17 Répartition de la Population Selon le Port de la Dosimétrie :

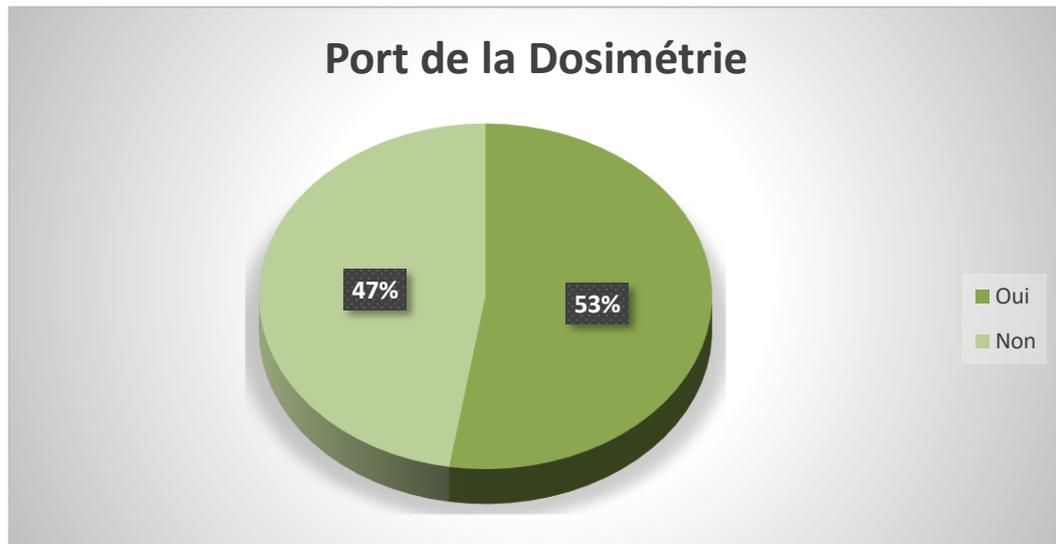


Figure 37. Répartition des Personnels selon le Port de Dosimètre

Plus que la moitié de personnel porte de dosimètre comme moyen de détection (53%)

2.18 Répartition de la Population selon le Suivi de la Formule de Numération Sanguine FNS :

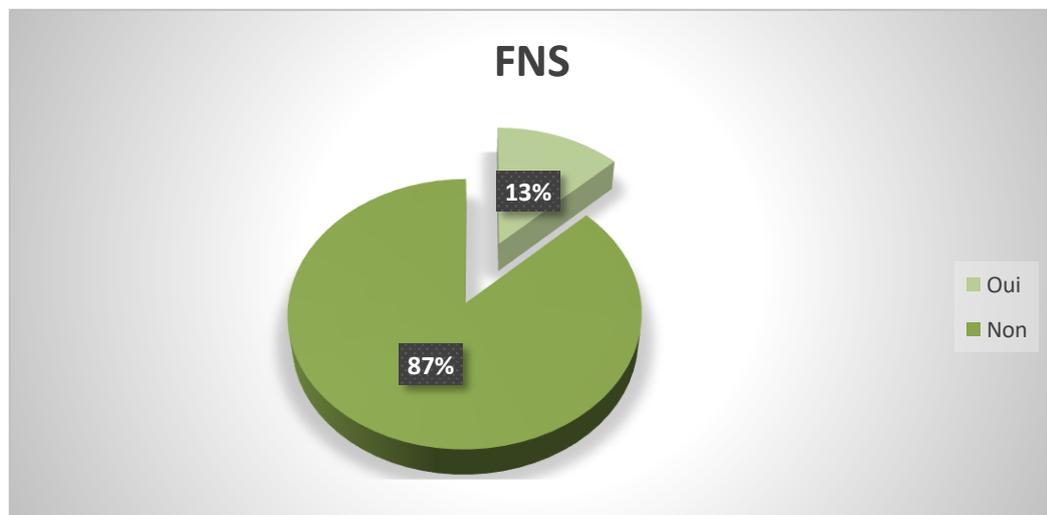


Figure 38. Répartition des Personnels selon le Suivi FNS

Selon la figure il est clairement que La minorité (13%) de notre échantillon a fait un FNS comme bilan biologique périodique systématiques.

2.19 Population Exposée aux Rayonnements Ionisants et Congé de Désintoxication :



Figure 39. Fréquence de la Prise de Congé de Désintoxication

La majorité du personnel 70% ont bénéficié d'un congé de désintoxication alors que 30% ne prennent pas de congé.

2.20 Description de la Population selon leur Compétence en Radioprotection :

Tableau 11. Connaissance et Formation en Radioprotection

	OUI	NON
Définition de radioprotection	62%	38%
Formation en radioprotection	31%	69%
Application des informations enseignées	24%	76%

38% de la population étudiée n'arrive pas à définir la radioprotection ; tandis qu'une minorité de 13% peut le faire. On observe qu'une minorité de 31% des travailleurs a bénéficié d'une formation sur la radioprotection et les risques de rayonnements ionisants. Il y a que 19 parmi 78 de personnels qui ont appliqué les informations enseignées ; alors que le reste les négligents.

2.21 Répartition de Population selon le Port des Equipements de Protection Individuelle :

Tableau 12. Les Equipements de Protection Individuelle

Les Equipements de Protection	OUI	NON
Blouse	71%	29%
Casaque	6%	94%
Tablier plombé	8%	92%
Lunettes plombées	5%	95%
Gants plombés	5%	95%
Protège gonade	0%	100%
Cache thyroïde	0%	100%

La majorité de population porte la blouse (71%), mais ne porte pas de casaque.

La quasi-totalité des agents hospitaliers ne porte pas de tablier, ni lunettes ni de gants plombés au cours de leurs activités et on remarque l'absence totale de cache thyroïde et protège gonade.

2.22 Classification de Personnels en Catégorie A/B selon la Réglementation Algérienne :

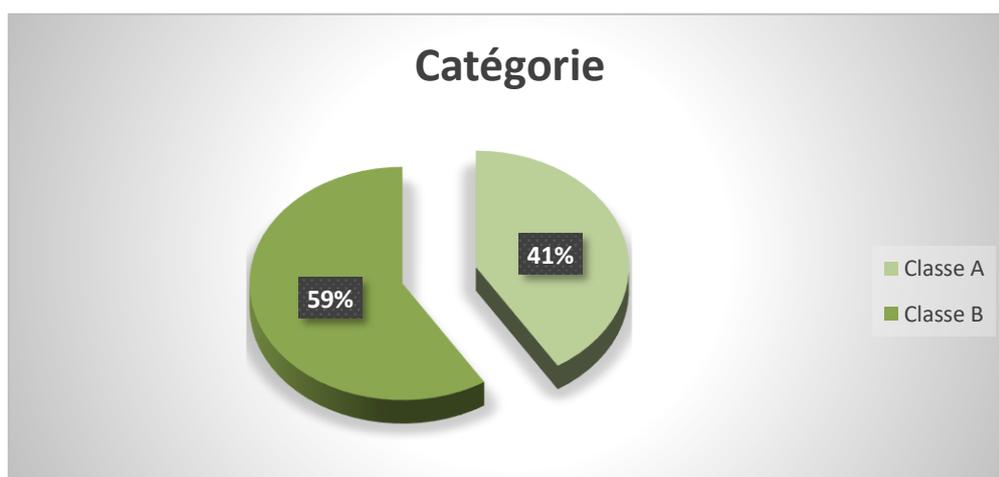


Figure 40. Répartition des Personnels selon la Catégorie A /B

Les résultats de notre étude figurés dans ce diagramme montrent que : 41% de notre échantillon est classé en catégorie A tandis que le reste est classé catégorie B.

2.23 Relation entre Ancienneté et Cancer :

Tableau 13. Analyse du Lien entre l'Ancienneté et Survenue du Cancer

		Cancer		Test de Khi2
		Oui	Non	
Ancienneté à l'Hôpital (Ans)	0	0	1	P=10⁻³
	1	0	2	
	1	0	1	
	1	0	18	
	2	0	7	
	3	0	12	
	4	0	12	
	5	0	1	
	5	0	11	
	6	0	4	
	7	0	1	
	8	0	1	
	10	0	1	
	12	0	1	
	21	1	1	
	24	1	0	
27	0	1		
29	0	1		
Total		2	76	

On remarque une relation significative $P < 0.05$ entre l'ancienneté et le développement d'un cancer, donc plus la durée d'exposition aux rayonnements augmente plus la probabilité d'attraper un cancer est élevée.

2.24 Relation entre l'Avortement et la Classification de Personnels en Catégorie A/B :

Tableau 14. Analyse de la Relation entre la Classification de Personnels et le Risque d'Avortement

		Avortement Pendant la Période de Travail au Niveau de Service			Test de Khi2
		Non concerné	Oui	Non	
Selon la Réglementation Algérienne	Classe A	12	6	14	P=0.53
	Classe B	13	7	26	
Total		25	13	40	78

$P > 0.05$ cela exprime qu'il n'y a pas de relation entre le classement en catégorie A ou B et la probabilité d'avortement ; autrement dit les femmes classées soient en catégorie A ou B sont exposées en même pourcentage au risque d'avortement.

2.25 Relation entre le Niveau Formel en Matière de Radioprotection et Antécédent d'Avortement :

Tableau 15. Analyse de l'Antécédent d'Avortement et Formation en Radioprotection

		Formé ou Non		Test de Khi2
		Oui	Non	
Avortement pendant la période de travail au niveau de service	Non concerné	6	19	P=0.136
	Oui	7	6	
	Non	11	29	
Total		24	54	78

La formation en matière de radioprotection n'a rien avoir avec le statut d'antécédent d'avortement donc il n'y a pas de relation significative entre les deux paramètres $p > 0.05$.

2.26 Relation entre le Port de de Tablier Plombé et l'Avortement :

Tableau 16. Analyse de Relation de Port de Tablier Plombé et la Survenue d'Avortement chez les Femmes Travailleuses dans le Service de la Radiothérapie

		Tablier Plombée		Test de Khi2
		Oui	Non	
Avortement Pendant la Période de Travail au Niveau de Service	Non Concerné	0	25	P=0.46
	Oui	0	13	
	Non	6	34	
Total		6	72	78

Il y a une relation significative $P > 0.05$ entre le port de tablier plombé et la survenue d'avortement chez les femmes qui travaillent en contact avec les rayonnements ionisants donc le port de tablier plombé protège la femme enceinte et préserve sa grossesse.

2.27 Relation entre l'Avortement et le Poste Occupé :

Tableau 17. L'Analyse de l'Influence de Poste Occupé et l'Antécédent d'Avortement

		Avortement Pendant la Période de Travail au Niveau de Service			Test de Khi2
		Non concerné	Oui	Non	
POSTE	Médecin SP	5	2	2	P=0.05
	Médecin G	0	1	1	
	Pharmacienne	0	1	3	
	Psychologue	1	0	3	
	Paramédical	1	0	4	
	Manipulateur	6	3	8	
	Coordinateur	1	0	0	
	Assistant social	0	0	1	
	Physicien	1	3	9	
	Personnel Administratif	1	1	4	
	Agent de sécurité	6	0	0	
	OP	0	2	4	
	Assistant médical	1	0	1	
	Agent	2	0	0	
Total	25	13	40	78	

Le *P* est significatif montrant une relation directe entre le poste occupé par la femme et la probabilité de subir un avortement dont les physiciennes et les manipulatrices sont les plus touchées puisqu'elles sont directement exposées aux rayonnements ionisants lors de parcours de prise en charge des malades.

2.28 Relation entre le Poste et la Survenue des Symptômes Liés aux Rayonnements Ionisants :

Tableau 18. L'Analyse de Lien entre Symptômes et Poste Occupé par le Personnel

		Malaise / Vertige		Fatigue		Atteinte Cutanée	
		Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
POSTE	Médecin SP	7	2	7	2	2	7
	Médecin G	2	0	2	0	1	1
	Pharmacienne	4	0	4	0	0	4
	Psychologue	4	0	0	4	1	3
	Paramédical	4	1	3	2	0	5
	Manipulateur	14	3	15	2	4	13
	Coordinateur	1	0	0	1	0	1
	Assistant social	1	0	0	1	0	1
	Physicien	9	4	10	3	0	1
	Personnel Administratif	3	3	2	4	0	13
	Agent de sécurité	4	2	3	3	1	6
	OP	6	0	6	0	3	5
	Assistant médical	1	1	1	1	0	2
Agent	2	0	1	1	0	2	
Total		62	16	53	24	12	66
Test de Khi2		P=0.61		P=0.53		P=0.30	

On remarque qu'il n'y a pas de relation entre le poste et les symptômes sentis par le personnel soignant car le test de khi2 est non significatif $p > 0.05$.

2.29 Relation entre le Poste et le Port de la Dosimétrie :

Tableau 19. Analyse de Relation entre le Port de Dosimétrie et le Poste Occupé

		Dosimétrie		Test de Khi2
		Oui	Non	
POSTE	Médecin SP	6	3	P=10⁻³
	Médecin G	1	1	
	Pharmacienne	0	4	
	Psychologue	1	3	
	Paramédical	0	5	
	Manipulateur	1	1	
	Coordinateur	1	0	
	Physicien	7	0	
	Agent de sécurité	0	6	
	OP	0	6	
	Agent	0	2	
Total		17	31	48

Le test est significatif $p < 0.05$, donc les agents hospitaliers occupants un poste directement exposé aux rayonnements tel que médecins spécialistes, physiciens et manipulateurs sont censés porter une dosimétrie pour quantifier la dose de rayonnements ionisants dont ils sont exposés.

2.30 Relation entre le Poste Occupé et la Connaissance du Risque de la Manipulation en Radiothérapie :

Tableau 20. Analyse de Niveau de Connaissance du Risque Lié à la Manipulation en Radiothérapie

		Connaissance de Codes Internationaux de Risques de la Manipulation en Radiothérapie		Test de Khi2
		Oui	Non	
POSTE	Médecin SP	5	4	P=0.7
	Médecin G	1	1	
	Pharmacienne	1	3	
	Psychologue	0	4	
	Paramédical	1	4	
	Manipulateur	9	8	
	Coordinateur	1	0	
	Assistant social	1	0	
	Physicien	8	5	
	Personnel Administratif	1	5	
	Agent de sécurité	0	6	
	OP	1	5	
	Assistant médical	0	2	
	Agent	0	2	
Total	29	49	78	

On constate que quoique le poste occupé le personnel soignant néglige le risque de manipulation en radiothérapie puisque la différence est significative.

Discussion

3. Discussion :

Notre étude a porté sur 78 agents hospitaliers de Centre de Lutte Contre le Cancer CLCC de l'unité de la radiothérapie exposés aux rayonnement ionisants soit un effectif de 55 femmes (71%) et 23 hommes (29%) avec prédominance féminine de sexe ratio de 2.4 ; ces résultats sont similaires à ceux d'une étude tunisienne (Kamounc, Attiad, Hammoue, & Kamouns, 2015) qui relève un *sex-ratio* de 0.51. Une autre étude réalisée à Tunis (Kraiem, Mzoughi, Besbes, & Brahmi, 2021) montre une ressemblance avec les résultats précédents d'un sexe-ratio de 1.45.

L'enquête a inclus toutes les catégories professionnelles tout corps confondu, les manipulateurs de radiologie sont le plus représentés avec un effectif de 17 (22%) suivi de médecins avec un effectif de 13 (16%) puis les médecins spécialistes, agents de sécurités et les ouvriers polyvalents avec un effectif de 9,6,6 soit (11%,8%,8%) respectivement.

Notre population est jeune, vu que la tranche d'âge majoritaire se situe entre [20-40] ans dont l'âge moyen est de 33 ans ± 0.14 .

L'immense majorité 80% des agents hospitaliers se plaignent des symptômes liés à l'exposition aux rayonnements ionisants marqués par malaise, vertige voire asthénie semblable à une étude française portée sur « l'aspect pratique de la radioprotection en radiopharmacie (Aupée, et al., 2009).

Les employés les plus touchés sont surtout les médecins spécialistes soit 5(7%) identique à l'étude concrétisée par l'INRS aux hôpitaux universitaires de Paris sous le titre « Exposition des praticiens en radiologie interventionnelle » (Garron, et al., 2013) qui a relevée principalement l'atteinte chez les médecins classés avec un rapport de 1 à 3 significatif. L'essor des procédures de la radiothérapie de l'interrogatoire, préparation des malades jusqu'au suivi médical a rendu l'exposition de personnel soignant aux rayonnements ionisants plus importante.

Les produits radioactifs les plus utilisés lors de la préparation sont essentiellement les photons γ , χ et le Cobalt qui sont pourvus d'un pouvoir d'ionisation élevé.

Les symptômes cliniques relatés chez les personnels hospitaliers sont l'anémie et la dysthyroïdie ; le nombre d'avortement était également très élevé avec un effectif de 13 femmes parmi 55. Cela paraît en relation avec le poste occupé et surtout la méconnaissance de l'inaptitude à l'exposition aux rayonnements ionisants des femmes enceintes, elle varie

DISCUSSION

significativement en fonction du test de Khi-deux ($p=0.05$) ainsi expliquée par la négligence du port de tablier plombé avec une différence significative $p=0.046$.

L'arrêt de grossesse d'un médecin spécialiste en 18^{ème} semaine peut être en rapport entre exposition aux rayonnements ionisants et la probabilité de survenue des avortements.

On s'est arrêté sur un autre cas impressionnant représenté par une malformation fœtale de type cardiaque (malformation septale).

Les rayonnements ionisants ont été révélés comme l'un des facteurs influençant et ça rend notre étude intéressante après la mise en lumière de ces cas particuliers.

Le cancer est retrouvé chez deux médecins spécialistes (Cavum, Lymphome) exerçants leur travail depuis plus de 21ans avec une différence significative de $p=10^{-3}$. Ces résultats rejoignent ce qui a été rapporté dans l'étude française « étude comparée de la durée de vie des radiologues et des médecins spécialistes » (Doyon-Godiniaum, Lombardo, & Pamentier, 1969) en 1969 conclut également que les médecins radiologues datant d'une longue expérience sont le plus touchés par le cancer, malgré qu'aucune étude n'a retrouvé une relation entre le cancer du cavum et l'exposition aux rayonnements ionisants.

Passant aux équipements de protection individuelle et en comparant avec une étude algérienne menée au niveau des blocs opératoires au CHU-Tlemcen intitulée « l'exposition aux rayonnements ionisants dans les blocs opératoires de Tlemcen » (Meziane, Chabni, & Taleb, 2020) on a constaté un manque terrible dans le service de la radiothérapie et même si les équipements sont retrouvés, ces derniers ne sont pas portés par le personnel de santé vu la négligence et le manque de formation en matière de radioprotection.

La dosimétrie est portée par 53% des personnels sous le suivi de control dosimétrique par la médecine de travail qui se déplace sur lieu pour assurer un suivi médical, biologique et dosimétrique.

On a mis en lumière les lacunes que rencontrent le personnel médical en matière de radioprotection et le manque d'informations liés aux rayonnements ionisants. Il est à noter que les personnes interrogées expriment leur ignorance sur les mesures standards de la radioprotection. Beaucoup n'arrivent même pas à définir la radioprotection complètement.

Conclusion

Conclusion

Les résultats acquis déterminent que parmi 78 agents hospitaliers, 80% des cas se plaignaient des symptômes liés à l'exposition aux rayonnements ionisants, deux cas de cancer (3%) et 13 cas d'avortement demeure important.

La sonnette d'alarme pour que ces personnels peuvent bénéficier d'un éventuel suivi médical auprès de la médecine du Travail de très près. Donc la mise en place d'une culture de radioprotection au service de la radiothérapie paraît impérative ; la formation continue en radioprotection est l'un des piliers indispensables

De ce fait un motif l'organisation des séances de sensibilisations et de formation répétées et un suivi assez renforcé pour les personnels de la santé exposés aux rayonnements ionisants, des agents cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques reste fortement recommandée.

Ce travail est un document qui fait l'état de lieu à propos de la situation sanitaire et épidémiologique des agents hospitaliers exposés aux rayonnements ionisants, mais d'autres études plus détaillées serait souhaitable sur la relation entre l'exposition-dose-effets engendrés.

Références

- CDG. (1999). *Medical Management of Radiological Casualties*. Bethesda, Maryland, Armed Forces Radiobiology Research Institute.
- (2016). *Journal Officiel de La République Algérienne*(4), 20-24.
- AIEA. (1994). AIEA Bulletin 4.
- Alain Durand, J.-M. E. (2004). *Biophysique*. Paris: Ellipses, Éditions Marketing S.A.
- ANAP. (2021, Février). *Radioprotection Services Utilisant les RX Guide Pratique*. Récupéré sur ANAP: <https://ressources.anap.fr>
- Arnaud, P. (2001). *Chimie Physique Cours et Exercices Corrigés*. Paris, Denard; Paris.
- Aupée, O., Rizzo-Padoin, N., Le Garlantezec, P., Bohand, X., Foehrenbach, H., & Larochee, P. (2009). *Aspect Pratique de Radioprotection en Radiopharmacie*. France.
- Aupée, O., Rizzo-Padoin, N., Le Garlantezec, P., Bohand, X., Foehrenbach, H., & Larochee, P. (2009). *Aspects Pratiques de Radioprotection en Radiopharmacie*.
- Ben Rais, A. (2011). Radiobiologie et Radiopathologie.
- Benna, F., & Belaid, A. (2018). Radioprotection des Travailleurs en Radiothérapie dans un Etablissement Hospitalier. *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 79(3), 475-476.
- Benson, H. (1991). *Physique Ondes Optique et Physique Moderne* (éd. 3ème Edition copyright). Cannada.
- Bernard, L. (1999). *Rayonnements ionisants*. (France, Producteur) Récupéré sur Institut Universitaire de Medecine de Travail de Rennes: <http://www.med.univ-rennes.fr>
- Bertrand, A., Ducassou, D., Cheyly, J., & Robert, J. (1980, Paris;Newyork;Milan;Barcelone). *Utilisation Médicale des Rayonnements Vision/Audition* (Vol. 2). Masson, Médeteranie: Editions Masson.
- Bey, P., Carrie, C., Beckendorf, V., Ginestet, C., Alletti, P., & Madelis, G. (2000). *Dose Escalation With 3D-CRT In Prostate Cancer French Study Of Dose Escalation With Conformal 3D Radiotherapy In Prostate Cancer-Preliminary Results*. France.
- Boissière, A. (2004). Contribution « K » à l'Effet Biologique des Rayonnements Ionisants. Université Paris VI.
- Boucher, D., & Averbek, D. (2005). *La Face Cachée des Effets Biologiques des Faibles Débits de Dose de Rayonnement Ionisant*. Institut Curie-Section de Recherche, UMR 2027 CNRS/IC, Centre Universitaire d'Orsay. Orsay Cedex: CEA.
- Brahme, A. (1998). *Aspects On The Development Of Radiation Therapy And Radiation Biology Since The Early Work of Rolf Wideroe*.
- Cadet, J. (1999). *Hydroxyl Radicals and DNA Base Damage Mutation Research*.
- Carelinois, O. (2004). *Evaluation des Risques Associés aux Rayonnements Ionisants Cancer du Poumon apres Exposition Domestique au Radon et Cancer de la Thyroïde apres Exposition Accidentelle aux Iodes Radioactif*. Paris: Faculté de Médecine Paris Sud.
- Carrie, C., & Ginestet, C. (2001). *Techniques et Méthodes Nouvelles en Radiothérapie Transcutanée*.

REFERENCES

- Carrie, C., Ginestet, C., Bey, P., Aletti, H.-M. P., & Briot, C. (1995). *Radiothérapie Conformationnelle*. Fédération Nationale des Centres de lutte Contre le Cancer FNCLCC.
- CCIP. (2021). *Modèle Document Unique d'Evaluation des Risques*. Récupéré sur Coordination Sud Rassembler & Agir Pour la Solidarité Internationale: <https://www.coordinationsud.org/document-ressource/modele-document-unique-devaluation-des-risques/>
- CEA. (2000). *Les Rayonnements, l'ADN et la Cellule*. Direction des Sciences du Vivant.
- CEA. (2002). *L'Homme et les Rayonnements*. France, Commissariat à l'Energie Atomique Cedex.
- CEA., L. c. (2000). Les clés du CEA. 43.
- Cervený, T., MacVittie, T., & Young, R. (1989). *Acute Radiation Syndrome in Humans Medical Consequences of Nuclear Warfare*. Bethesda, Maryland, Armed Forces Radiobiology Research Institute: Textbook of Military Medicine.
- Charles, L. (2006). Mémoire M. SC. *Planification Inverse Avec Approches Anatomique et Non Anatomiques En Radiothérapie Externe appliqué à l'ORL*. Faculté des sciences et de Génie Université Laval Québec.
- Chetioui, A., Boissiere, A., Eschennbrenner, A., Herve, M. A., Politis, M. F., & Touati, A. (2004). *Les Rayonnement et le Vivant*. Université Pierre et Marie Curie, Campus Boucicaut, Paris: 15.
- CNRS. (2018). *Les Cahiers de Prévention Guide Risques Radioactifs et Radioprotection Surveillance Médicale des Travailleurs Exposés aux Rayonnements Ionisants CHAPITRE5*. Récupéré sur Centre Nationale de la Recherche Scientifique: <http://www.dgdr.cnrs.fr>
- Cordoliani, Y. (2002). *Effets Pathologiques des Rayonnements Ionisants: Les Effets Déterministes* (Vol. Chapitre V). (F. d. radiologie, Éd.)
- Cosset, J. M. (1997). *Cancers Radio-induits: Le Point en 1997 Cancer/Radiother.*
- Cusstre, L. A. (2005). *Rayonnement Ionisante. Commission Universitaire de Sécurité et de Santé au Travail*.
- DABURAND, F. (1997). *Irradiations aiguës Localisées Bases Radiobiologiques du Diagnostique et de Traitement*. les éditions de physique .
- Damen, E., Brugmans, M., Van Der Horst, A., Bos, L., Lebesque, J., & Mijnheer, B. (2001). *Planning Computer Optimization and Dosimetric Verification of Segmented Irradiation Technique for Prostate Cancer*.
- Daubie, E. (2016, Septembre). Information et Formation en Radioprotection. *Service Physique et Physique des Particules UMH*. Mons.
- De Meerleer, G., Vakaet, L., De Gerssem, W., De Wagter, C., De Naey, B., & De Neve, W. (2000). *Radiotherapy of Prostate Cancer with or without Intensity Modulated Beams a Planning Comparison*.
- Doyon-Godinaum, F., Lombardo, & Pamentier, E. (1969). *Comparée de la Durée de vie des Radiologues et de Médecins Spécialistes*. France, Etude Annale de Radiologie.
- Eggermont, G., De Saint-Georges, L., & Vanmarcke, H. (2006). *Les Effets sur la Santé de Faibles Doses de Radiations Ionisantes*. (H. NEWSLETTER, Éd.)
- Epstein, J., Robertson, M., & Emerton, S. (2001). *Quality Of Life Andoral Function In Patients Treated With Radiation Therapy For Head And Neck Cancer*.

REFERENCES

- Européen, C. d. (2002). Euratom. *Décret*. Europe.
- Fiche Pratique Les Rayonnements Ionisants La Radioprotection*. (2018). Récupéré sur Association Santé Travail: www.ast35.fr
- FUTURA. (2021). *Santé*. Récupéré sur <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/medecine-qi-241/>
- Garron, C., Wild, P., Grzebyk, M., Derock, C., Champion, K., Cohn, P., . . . Pennorola, R. (2013). *Exposition des Praticiens en Radiologie Interventionnelle Apport de la Capillaroscopie*. Institut national de Recherche et Sécurité, Assistance Public-Hopitaux de CHU. Paris: INRS. Consulté le Septembre 27, 2013, sur <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TF%20209>
- Gault, N. (2004). *Réponse Précoce aux Rayonnements Ionisants : Effets Moléculaires et Cellulaires*.
- Giancoli, D. C. (2004). *Physique Generale*. (D. Boeck, Éd.) Canada: Centre Educatif et Culturel Inc.
- Gobert, G. M., Lamoureux, M., Hervé, A., Penhoat, M., & Ricoul, A. (2004). *Radiat Biol*.
- Gonzalez, A. (2012). *Effets Biologiques des Faibles Doses de Rayonnements Ionisants: on en Sait Plus*. UNSCEAR. New York: Comité scientifique des Nations Unies pour l'Etude des Effets des Rayonnements Ionisants.
- Granier, D.-J., & Gambini, R. (2007). *manuel de la radioprotection 3 ème édition*. FRANCE: TECH & DOC.
- Gustavson, K., Jajell, S., & Blomquist, H. (1981). Microcephaly Mental Retardation and Chromosomal Aberrations In a Girl Following Radiation Therapy During Late Fetal Life. 209-212.
- Haas, J., & Schotanfold, D. (1979). *Risks to the Offspring from Parental Occupational Exposures*. J. Occup. Med.
- HAS, ASN, INCa, IRSN, & AFSSAPS. (2007). *Guide des Procédures de Radiothérapie Externe*.
- Hausmann, E. (2018). *Pour une Meilleure Radioprotection une Coopération entre Manipulateurs en Electroradiologie et Infermiers de Bloc Operatoire*. France: Université de Lorraine.
- Henri, L., & Martine, M. (2012). *Guide Pratique de Radioprotection en Radiologie Médicale - 100 Fiches Techniques Pour Comprendre Et Agir*. (S. MEDICAL, Éd.) Montpellier [France].
- Herve du Penhoat, M., Fayard, B., Touati, A., & Chetioui, A. (1998, Avril). Ionisation en Couche K et Effet Biologique. *J. Chim. Phys.*, 95(4), 812-815.
- INRS. (2007). *Radiothérapie Externe Accélérateur de Particules*. Récupéré sur [inrs: https://www.inrs.fr](https://www.inrs.fr)
- INRS. (2007). *Textes Applicables Rappel de Textes Concernant la Radioprotection dans le Domaine Médicale*. Récupéré sur [inrs: https://www.inrs.fr](https://www.inrs.fr)
- INRS. (2009). *Rayonnements Ionisants*. Récupéré sur INRS: www.inrs.fr
- INRS. (2021). *Tableau des Maladies Professionnelles*. Récupéré sur INRS: <https://www.inrs.fr>
- IRSN. (2004). *Rayonnement Ionisants et Santé*.

REFERENCES

- IRSN. (2011). *Les Professionnels de la Radiothérapie Face à l'Obligation d'Améliorer la Sécurité des Traitements*. Fontenay-aux-Roses.
- IRSN. (2021). Récupéré sur Institut de la Radioprotection et de Sureté Nucleaire: <https://www.data.gouv.fr/en/organizations/institut-de-radioprotection-et-de-surete-nucleaire-irsn/>
- Jimonet, C., & Métivier, H. (2007). *Principes de Radioprotection Réglementation*. France: EDP Sciences; INSTN.
- Kamounc, N., Attiad, A., Hammoue, H., & Kamouns, A. (2015). *Staff knowledge of Radiation Potection*. Faculté de Médecine de Tunis, Unité de Radioprotection des Travailleurs au Centre National de Radioprotection, Unité de Radioprotection des Travailleurs. Tunis, Tunisie: Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement. Consulté le Janvier 4, 2015, sur <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352802821000107>
- Keith, S., Murray, E., & Spoo, W. (1999). Toxicological Profile for Ionizing Radiation. Agency For Toxic Substances and Desease Registry (ATSDR). Récupéré sur <http://www.atsdr.cdc.gov>
- Kesminiene, A., & Zablotska. (2014). *Lessons Learned from Chernobyl and Fukushima on*. Environment International.
- Kraiem, K., Mzoughi, B., Besbes, O., & Brahmi, S. (2021). *Evaluation of Radiation Protection Knowledge and Practice in Interventional Cardiology Nurses in Tunis*. Médical, Revue Francophone Internationale de Recherche Infirmière, Faculté de médecine de Tunis, université de Tunis El Manar, 15, rue Djebel-Lakhdhar, La Rabta 1007, Tunis, Tunisie. Récupéré sur <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352802821000107>
- Lallemand, J. (1983, Septembre 27). Effets des Rayonnements Ionisants sur le Développement in Utero.
- Lalpen, E. (2005). *Radiations Biophysiques*. (2. Edition, Éd.) Academic Press.
- Laval, C. d. (2019). *Manuel de Radioprotection Comité de Radioprotection Université Laval*. Récupéré sur Service de Sécurité et de Prévention Université Laval: <https://www.ssp.ulaval.ca>
- Lawrence, M. (1999). *Lipid Peroxydation DNA Damage by Malondialdehyde Mutation Recherch*.
- Lefkopoulos, J., Foulquier, N., Petegnief, Y., & Touboul, E. (2001). *Aspects Physiques Et Méthodologiques De l'imagerie Multimodalités et Principes De Planification Dosimétrique Pour La Radiothérapie Conformationnelle Tridimensionnelle*.
- Les Utilisations Médicales des Rayonnements Ionisants. (2012). Récupéré sur asn: <https://www.asn.fr>
- Ling, C., Burman, C., Chui, C., Kutcher, G., Leibel, S., & LoSasso, T. (1996). *Conformal Radiation Treatment Of Prostate Cancer Using Inversely-Planned Intensity-Modulated Photon Beams Produced With dynamic Multileaf Collimation*.
- Maccia, C., Benedittini, M., Lefaure, C., & Fagnani, F. (1988). *Doses to Patients from Diagnostic Radiology in France*. France.
- Madoux, H. L.-M. (2012). *Guide pratique de radioprotection en radiologie médicale*. 11, boulevard Henri IV 34000 Montpellier: Sauramps medicat. Récupéré sur www.livres-medicaux.com

REFERENCES

- Maingon, P., Truc, G., Peignaux, K., & Crehange, G. (2007). *Un Accélérateur Linéaire Peut Il Faire Aussi Bien Qu'un Appareil De Tomothérapie Ou Un Cyberknife™?*
- Métivier, C. J. (2007). *Personne compétente Principes de radioprotection – réglementation*. France: EDP Sciences, INSTN - Institut national des sciences et techniques nucléaires.
- Meziane, Z., Chabni, N., & Taleb, A. (2020). *L'Exposition aux Rayonnements Ionisants dans les Blocs Opératoires de Tlemcen*. Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement, Tlemcen, Algeria. Consulté le October 2020, sur <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352802821000107>
- Miallier, D., Pilleyre, T., Sanzelle, S., & Scovronec, S. (2006, Septembre). Mesures de Faibles Radioactivités Datation par Thermoluminescence. technicien 1/2temps.
- Mole, R. (1974). *Antenatal Irradiation and Childhood Cancer : Causation Br J. Cancer*.
- Mole, R. (1982). *Microcéphalies et Retards Mentaux Observés chez les Survivants Japonais Irradiés in Utero*. EULEP Symposium, Bordeaux.
- Moustacchi, E. (2000). *DNA Damage and Repair Consequences on Dose-Responses. Mutatation Reserch*.
- Nias, A. H. (1998). *An Introduction to Radiobiology* (éd. 2). John Wiley & Sons.
- Noël, G., Schumacher, C., Niederst, C., Beneyton, V., Meyer, P., & Karamanoukian, D. (2007). *Techniques innovantes en radiothérapie des cancers bronchopulmonaires*.
- Pouget, J. (2000). *Effet du Rayonnement Ionisant sur l'ADN Cellulaire Mesure des Bases Puriques et Pyrimidiques Modifiées*. Paris: Thèse de troisième cycle, Université Paris XI.
- PROUILLAC, C. (16 octobre 2006). *Synthèse et évaluation de nouveaux composés organiques et phosphorés contre les effets des rayonnements ionisants*. l'Université Paul Sabatier de TOULOUSE III.
- Robert, G., & Denis-Jean, G. (2007). *Manuel Pratique de Radioprotection* (éd. 3). France: TEC & DOC.
- Rosenwald, J., Gaboriaud, G., & Pontvert, D. (1999). *La Radiothérapie Conformationnelle: Principes et Classification. Cancer et radiothérapie*.
- Schlegel, W., & Mahr, A. (2001). *3D Conformal Radiotherapy: Introduction To Methods and Techniques*. Springer, Berlin Heidelberg, New York.
- Schlegel, W., Bortfeld, T., & Grosu, L. (2008). *New Technologies In Radiation Oncology*. Springer Belin Heidelberg New York.
- Scholz, M., & Kraft, G. (1992). *Biophysical Modelling of Radiation Effects*.
- SFRO; SFPM; ASN; HAS; INC. (2007). *Guide des Procédures de Radiothérapie Externe*. Récupéré sur Haute Autorité de Santé.
- Surmont. (2005). *Prévention des Risques Liés à l'Exposition Professionnelle aux Rayonnements Ionisants*.
- Tubiana, M., Dutreix, J., & Wambersie, A. (1986). *Radiobiologie*. Hermann, Paris, France: Hermann.
- Tubiana, M., Dutreix, J., & Wambersie, A. (1997). *Radiobiologie Science et Pratique Médicale*. Hermann, Paris.
- Tubina, M. (1979). *Problèmes Posés par l'Irradiation des Femmes Enceintes Bull Cancer*.
- Tubina, M., & Bertin, M. (1989). *Radiobiologie Radioprotection*.

REFERENCES

- UNSCEAR. (2000). *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. New York.
- UNSCEAR. (2010). Sources and Effects of Ionizing Radiation UNSCEAR Report to the General Assembly with Scientific Annexes. *United Nations Committee on the Effects of Atomic Radiation*. New York.
- Webb, S., Mould, R., Orton, C., Spaan, J., & Webster, J. (1997). The Physics Of Conformal Radiotherapy. *Advances in Technology*, 13.
- Zelesky, M., Leibel, S., Gaudin, P., Kutcher, G., Fleshner, N., Venkatramen, E., & al., e. (1998). *La Dose Escalation With Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy Affects The Outcome In Prostate Cancer*.

Annexe

Annexe 1 : Arrêté Relatif à la Surveillance Médicale des Travailleurs Exposés aux Rayonnements Ionisants

16 Rajab 1437 24 avril 2016	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 24	21	
<p>Art. 12. — L'examen clinique a pour objet de dépister des affections aiguës ou chroniques et d'apprécier l'importance de leurs répercussions en fonction des risques dus à l'exposition aux rayonnements ionisants.</p> <p>En cas de risque d'irradiation externe, l'examen est orienté vers la recherche notamment des atteintes d'ordre hématologique, ophtalmologique et dermatologique.</p> <p>En cas de risque de contamination interne, l'examen est orienté vers la recherche des affections pouvant entraîner notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> — soit une rétention importante du ou des radionucléides au niveau des voies respiratoires ; — soit une pénétration plus importante des contaminants au niveau de la peau et des voies digestives ; — soit un ralentissement de l'élimination du ou des radionucléides absorbés au niveau du foie ou du rein ; — soit des difficultés de décontamination de la peau ou des oreilles. <p style="text-align: center;">CHAPITRE 3</p> <p style="text-align: center;">EXAMENS COMPLEMENTAIRES</p> <p>Art. 13. — Il est procédé avant l'affectation au poste de travail à des examens complémentaires suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> — un hémogramme complété, si besoin, par un bilan hépatique et rénal ; — une radiographie standard pour les travailleurs soumis à un risque de contamination interne complété par des épreuves fonctionnelles respiratoires. <p>Art. 14. — A l'issue de chaque examen médical, le médecin du travail peut prescrire tout examen complémentaire qu'il juge nécessaire pour établir ses conclusions médicales.</p>	<p style="text-align: center;">CHAPITRE 4</p> <p style="text-align: center;">MESURES A PRENDRE EN CAS DE SUREXPOSITION AUX RAYONNEMENTS IONISANTS</p> <p>Art. 15. — Devant tout incident ou accident susceptible d'entraîner une surexposition aux rayonnements ionisants, le médecin du travail procède à l'examen médical du travailleur concerné et prodigue des soins si nécessaire.</p> <p>En outre, le médecin du travail prescrit tout examen complémentaire qu'il juge nécessaire.</p> <p>Art. 16. — La dose reçue par le travailleur est évaluée par le service de dosimétrie compétent.</p> <p>Art. 17. — A l'issue des investigations menées, le médecin du travail jugera de l'aptitude médicale du travailleur et des modalités de la surveillance médicale à laquelle il sera soumis.</p> <p>Art. 18. — Le travailleur ne peut être affecté à des travaux l'exposant aux rayonnements ionisants tant que la dose reçue demeure supérieure à l'une des valeurs limites de la période considérée.</p> <p>Art. 19. — Le médecin du travail participe avec la personne compétente en radioprotection à l'enquête diligentée par l'employeur pour déterminer les causes et les circonstances ayant été à l'origine de la surexposition afin que celle-ci cesse dans les plus brefs délais.</p> <p>Art. 20. — Le présent arrêté sera publié au <i>Journal officiel</i> de la République algérienne démocratique et populaire.</p> <p>Fait à Alger, le 27 Moharram 1437 correspondant au 10 novembre 2015.</p> <p style="text-align: right;">Abdelmalek BOUDIAF.</p>		
ANNEXE			
DOSSIER MEDICAL SPECIAL DU TRAVAILLEUR EXPOSE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS			
1- Dates et résultats des examens médicaux.			
DATE	NATURE DE LA VISITE MEDICALE	OBSERVATION ET CONCLUSION	MEDECIN DU TRAVAIL

22		JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 24			16 Rajab 1437 24 avril 2016	
2- Fiche de poste de travail du travailleur exposé aux rayonnements ionisants						
Cette fiche de poste est établie par le médecin du travail avec le concours de la personne compétente en radioprotection et du supérieur hiérarchique de l'intéressé.						
INFORMATIONS PERSONNELLES CONCERNANT LE TRAVAILLEUR						
Nom et Prénom :			Sexe : M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/>			
Date de naissance :			N° Dossier Médical :			
Organisme employeur :			Poste de travail :			
LIEU(X) - NATURE ET DUREE DU TRAVAIL EXPOSANT AUX RAYONNEMENTS IONISANTS						
Lieu(x) 1 :		2 :		3 :		
Nature du travail 1 :		2 :		3 :		
Durée d'exposition annuelle :				Catégorie A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>		
CARACTERISTIQUES DES SOURCES AUXQUELLES LE TRAVAILLEUR EST EXPOSE						
Source non scellée <input type="checkbox"/>		Source scellée <input type="checkbox"/>		Appareil électrique générateur <input type="checkbox"/> de rayonnements ionisants RX		
Accélérateur <input type="checkbox"/>		Réacteur de recherche <input type="checkbox"/>		Autres installations (préciser) <input type="checkbox"/>		
NATURE DES RAYONNEMENTS IONISANTS						
Rayonnement	X <input type="checkbox"/>	γ <input type="checkbox"/>	α <input type="checkbox"/>	β <input type="checkbox"/>	Neutrons <input type="checkbox"/>	
Energie	KeV ou HT en kV	KeV (maximum)	MeV	KeV (maximum)	MeV ou thermiques <input type="checkbox"/> intermédiaires <input type="checkbox"/> rapides <input type="checkbox"/>	

16 Rajab 1437 24 avril 2016	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 24	23		
IDENTIFICATION DES RADIOUCLEIDES UTILISES PAR LE TRAVAILLEUR				
³ H hydrogène <input type="checkbox"/>	¹²⁵ I iode 125 <input type="checkbox"/>	³⁵ S soufre 35 <input type="checkbox"/>	²⁴¹ Am américium 241 <input type="checkbox"/>	U(nat) uranium naturel <input type="checkbox"/>
¹⁴ C carbone <input type="checkbox"/>	¹³¹ I iode 131 <input type="checkbox"/>	¹³⁷ Cs césium 137 <input type="checkbox"/>	²⁵² Cf californium 252 <input type="checkbox"/>	Autres <input type="checkbox"/>
³² P phosphore <input type="checkbox"/>	⁶⁰ Co cobalt 60 <input type="checkbox"/>	⁹⁹ Tc technétium 99 <input type="checkbox"/>	¹⁹² Ir iridium 192 <input type="checkbox"/>	Autres <input type="checkbox"/>
AUTRES RISQUES SUR LE POSTE				
Physique : Thermique <input type="checkbox"/> Bruit <input type="checkbox"/> Rayonnements non ionisants <input type="checkbox"/> Poussières/Vibrations <input type="checkbox"/> Autres : <input type="checkbox"/>				
Chimique <input type="checkbox"/> Biologique <input type="checkbox"/> Organisationnel <input type="checkbox"/> Espace confiné <input type="checkbox"/>				
EQUIPEMENTS DE PROTECTION ET LOCAUX				
Gants <input type="checkbox"/> Blouse <input type="checkbox"/> Autres vêtements spécifiques <input type="checkbox"/> Lunettes/Visières <input type="checkbox"/> Masque filtrant <input type="checkbox"/>				
Appareil respiratoire isolant <input type="checkbox"/> Autres : <input type="checkbox"/>				
Locaux : Atmosphère contrôlée <input type="checkbox"/> Locaux en surpression <input type="checkbox"/> Locaux en dépression <input type="checkbox"/>				
Commentaire :				
VISAS ET SIGNATURES				
Le médecin du travail	La personne compétente en radiothérapie	Le Responsable hiérarchique	L'intéressé(e)	
Date :				

24	JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE N° 24						16 Rajab 1437 24 avril 2016		
3- FICHE DE SUIVI DOSIMETRIQUE DU TRAVAILLEUR EXPOSE AUX RAYONNEMENTS IONISANTS									
- Année : - Nom et prénom du travailleur exposé : - Catégorie A ou B : - N° du registre dosimétrique national :									
PÉRIODE	EXPOSITION EXTERNE					CONTAMINATION INTERNE			
	Doses reçues en millisievert					Nature radio-isotope	Niveau de contamination en becquerel	Dose résultante en millisievert	Observation
	X	β	γ	Neutron	Observation				
Janvier									
Février									
Mars									
Cumul 1er trimestre									
Avril									
Mai									
Juin									
Cumul 2ème trimestre									
juillet									
Août									
Septembre									
Cumul 3ème trimestre									
Octobre									
Novembre									
Décembre									
Cumul 4ème trimestre									
Observation									

ANNEXE

Buvez-vous de l'alcool ? Oui Non

Combien de verres ?

Prenez-vous un médicament ? Oui Non

Si oui, précisez-le :

Si vous êtes une femme, avez-vous subi un avortement Oui Non

Avez-vous des bébés malformés ?

Oui Non

Est-ce que vous avez été écarte pendant la période de grossesse / Allaitement ?

Oui Non

Avez-vous déjà eu les symptômes suivants ?

Fatigue /malaise Oui Non

Atteinte cutanée Oui Non

Problème de fertilité Oui Non

Cancer Oui Non

Quel type de cancer ?

Avez-vous vécu un accident au travail ?

Oui Non

Si oui, mentionnez-le /les :

Connaissez-vous les codes internationaux de risques de la manipulation en

radiothérapie ? Oui Non

Suivi Médical

Etes-vous suivis de la part du service de médecine de travail ? Oui Non

Avez-vous un dossier médical au niveau du service ? Oui Non

Bénéficiez-vous de tests de contrôle ? Oui Non

Lesquels ?

Est-ce que vous bénéficiez de congé de désintoxication ? Oui Non

Combien de temps ?

Comment ?

Protection:

Quels sont les produits radioactifs que vous utilisez ?

.....

Quelles sont les mesures de radioprotection que vous avez au niveau du service ?

.....

Pouvez-vous en une seule phrase définir la radioprotection ?

.....

Avez-vous déjà bénéficié d'une formation en radioprotection ? Oui Non

Si oui, appliquez-vous les informations enseignées ? Oui Non

Quelles sont les précautions que vous prenez pour lutter contre la contamination

La blouse Oui Non

Casque Oui Non

Tablier plombé Oui Non

ANNEXE

Paravent plombé Oui Non

Lunette plombée Oui Non

Gants plombés Oui Non

Conclusion :

Classe d'exposition au rayonnement : Classe A Classe B

Annexe 3 : Dépliant

Centre Hospitalo-universitaire Tlemcen
Service de Médecine de Travail
Unité de Suivi du personnel Hospitalier
Centre de lutte contre le cancer
Service de la radiothérapie CLCC-TLEMEN



Radioprotection

**Avoid the Worst
Put Safety First**

Préparée par:
**Benrezkallah Chaimaa
Bentahar Djihad
Internes en Pharmacie**

Risque sur la santé
Limite d'Exposition :

Catégorie	Limite d'exposition en mSv /an		
	Corps entier	peau	Mains avant-bras pied
Travailleur	20	500	500
Jeune travailleur	6	150	500
Femme enceinte	< 1mSv de la déclaration de grossesse		
Femme allaitante	Interdiction de maintenir ou être affectée à un poste entraînant un risque d'exposition		

Effet

Déterministe	stochastique
Court	tardive
Effet seuil	Pas de seuil
Obligatoire	Aléatoire
Sévérité prop à la dose	Sévérité non liée à la dose
Lésion caractéristique	Lésion non caractéristique

.....>>> **Cancer**

Radioprotection
Temps/Ecran/Distance

Limiter le temps d'exposition 

S'Eloigner de source de RI 

Utiliser des Ecrans de protection de plomb 

Pour plus d'informations consultez :

- ✉ ASN : <https://www.asn.fr/>
- ✉ IRSN : <https://www.irsn.fr/>
- ✉ CIPR : <https://www.icrp.org/>
- ✉ Service de médecine de travail
Unité de Suivi de Personnel Hospitalier

Le port des équipements de protection individuelle

Fournit 90% de PROTECTION



Vous devez porter !!

Cache thyroïde, Protège gonade, Dosimétrie, Tablier plombé, Lunette plombée

Suivi de la médecine de travail

- * Tous les 06 mois
- * Suivi dosimétrique
- * Suivi médical
- * Examens supplémentaires si nécessaire



Femme enceinte

- * Surveillance médicale particulière par la médecine de travail
- * Inaptitude à l'exposition aux rayonnements ionisants en cas de grossesse pour éviter tout risque **tératogène !!!**





**Déclarer tout accident de travail
auprès le service de médecine de travail**



Résumé

L'étude de risque de rayonnements ionisants en milieu médical de service de la radiothérapie avait comme objectif de mettre en place une surveillance épidémiologique des personnels soignants exposés aux rayonnements ionisants destiné à mieux suivre les risques sanitaires spécifique à cette population.

L'étude pilote présentée a pour but principal de décrire les différents risques affectants les personnels soignants et d'adopter des mesures pour la lutte contre eux et d'établir une stratégie de maîtrise et de mise en place d'un système de surveillance et de développer une relation entre la radioprotection et la bioéthique.

En plus, de construire un dépliant résumant les mesures de radioprotection et de le mettre en disposition de tous les personnels comme moyen de formation et d'information.

Notre étude descriptive transversale a constaté que 80% des personnels se plaignaient des symptômes liés à l'exposition aux rayonnements ionisants, deux cas de cancers (3%) et 13 avortements (25%). Le taux de réponses aux questions évaluant les connaissances en radioprotection a été faible 37.2%, la relation entre la qualification professionnelle des travailleurs et leurs connaissances en radioprotection a été analysée et trouvée non significative $p=0.7$

On conclut que la mise en place de de formation continue en matière de radioprotection et un suivi médicale renforcé paraît impérative auprès des personnels soignants de service de la radiothérapie CLCC-Tlemcen.

Mots Clés : Rayonnements ionisants ; Radiothérapie ; Radioprotection ; Personnel Médical

Abstract

The objective of the study of the risk of ionizing radiation in the medical environment of radiotherapy departments was to set up epidemiological surveillance of medical staff exposed to ionizing radiation in order to better monitor the health risks specific to this population.

The main purpose of the pilot study presented is to describe the various risks affecting healthcare workers and to adopt measures to combat them and to establish a strategy for mastering and setting up a monitoring and control system. develop a relationship between radiation protection and bioethics.

In addition, to build a leaflet summarizing radiation protection measures and make it available to all staff as a means of training and information.

Our descriptive cross-sectional study found that 80% of staff complained of symptoms related to exposure to ionizing radiation, two cases of cancer (3%) and 13 abortions (25%). The response rate to questions assessing knowledge in radiation protection was low 37.2%, the relationship between the professional qualification of workers and their knowledge in radiation protection was analysed and found not significant $p = 0.7$.

It is concluded that the establishment of continuous training in radiation protection and reinforced medical monitoring appears imperative for the medical staff of the CLCC-Tlemcen radiotherapy department.

Key Words: Ionizing Radiation; Radiotherapy; Radiation Protection; Medical Staff

الملخص

كان الهدف من دراسة مخاطر الإشعاع المؤين في البيئة الطبية لقسم العلاج الإشعاعي هو إنشاء مراقبة وبائية لموظفي التمريض المعرضين للإشعاع المؤين من أجل مراقبة المخاطر الصحية الخاصة بهذه الفئة من السكان بشكل أفضل.

الغرض الرئيسي من الدراسة التجريبية المقدمة هو وصف المخاطر المختلفة التي تؤثر على العاملين في مجال الرعاية الصحية واعتماد تدابير لمكافحتها ووضع استراتيجيات لإتقان وإنشاء نظام للمراقبة والتحكم. تطوير علاقة بين الحماية من الإشعاع وأخلاقيات علم الأحياء.

بالإضافة إلى إعداد نشرة تلخص تدابير الحماية من الإشعاع وإتاحتها لجميع الموظفين كوسيلة للتدريب والمعلومات.

وجدت دراستنا الوصفية المقطعية أن 80% من الموظفين اشتكوا من الأعراض المتعلقة بالتعرض للإشعاع المؤين، وحالتان من السرطان (3%) و13 عملية إجهاض (25%) كان معدل الاستجابة للأسئلة التي تقيم المعرفة في مجال الحماية من الإشعاع منخفضًا بنسبة 37.2%، وتم تحليل العلاقة بين المؤهلات المهنية للعاملين ومعرفتهم في مجال الحماية من الإشعاع ووجدت أنها غير معنوية ($P = 0.7$).

وخلص إلى أن إنشاء تدريب مستمر في مجال الحماية من الإشعاع والمراقبة الطبية المعززة يبدو أمرًا ضروريًا للكادر الطبي في قسم العلاج الإشعاعي - تلمسان.

كلمات مفتاحية: الإشعاع المؤين، العلاج الإشعاعي، الحماية من الإشعاع، الطاقم الطبي