

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمار تليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية العلوم
FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT Sciences de la Matière



Mémoire de Master

Domaine : Sciences de la matière

Filière : Physique

Option : physique médicale

Présenté Par :

HOUARI Imane

THEME

Cancers du col de l'utérus et de la prostate: Etude dosimétrique comparative

Soutenu publiquement devant le jury composé de :

Mr. YAGOUB Amer	M.C.B	Président
Mr. MAABED Said	M.A.A	Examineur
Mr. BENGHIA Ali	M.C.B	Examineur
Mr. ZERGUINI Hocine	M.A.A	Rapporteur

Année Universitaire 2018- 2019

Remerciement

Tout d'abord remerçons Dieu tout puissant qui j'ai permis de réaliser ce travail.

Je remercie très sincèrement et profondément Monsieur **Zerguini Hocine** pour avoir dirigé ce travail. J'ai beaucoup apprécié son aide et sa disponibilité.

Je voudrais remercier aussi tous les membres de notre jury Mr.

YAGOUB Amer, Mr. **MAABED Saïd** et Mr. **BENGHIA Ali**.

Je tiens à remercier tous les enseignants qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Je remercie le physicien médical Mme Ghoula Soumia, du Centre Anti Cancer (CAC) Ouargla.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur support moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Je remercie dieu de m'avoir donné la force et la volonté pour mener à terme ce travail de recherche, et enfin une pensée bien particulière pour toute ma famille pour leur patience et leur tolérance.

Dédicace

Tout d'abord Merci à Allah le tout puissant, qui a guidé mes pas depuis l'aube de ma vie.

Je dédie ce mémoire:

Mes parents :

Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.

Mon père, qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.

A mes chères sœurs: Nadia, Abir, Malak

A mes chers frères : Abd elraouf, Abd elhadi, Haroun

A toute ma famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire

A tous les membres de ma promotion.

A tous mes enseignants depuis mes premières années d'études.

A tous mes amis et tous ceux qui me sont chers et que j'ai omis de citer.

A toutes les personnes qui ont servis pour ma formation, mon éducation et mon enseignement.

SOMMAIRE

SOMMAIRE

Table des matières.....	VI
Liste des figures	VIII
Liste des tableaux	IX
Liste des abréviations.....	X
Introduction générale	1

CHAPITRE I

Interaction rayonnement matière

Introduction.....	3
I.1 Classification des rayonnements.....	3
I.1.1 Les rayonnements non ionisants.....	3
I.1.2 Les rayonnements ionisants.....	3
I.2 Les différents types de rayonnements ionisants.....	4
I.2.1 Les rayonnements directement ionisants.....	4
I.2.2 Les rayonnements indirectement ionisants.....	4
I.3 Interaction rayonnement matière.....	4
I.3.1 Interaction électrons matière	4
I.3.1.1 Phénomène d'excitation et d'ionisation	4
I.3.1.2 Rayonnement de freinage	5
I.3.2 Interaction photon matière.....	6
I.3.2.1 Effet photoélectrique.....	6
I.3.2.2 L'effet Compton.....	7
I.3.2.3 Création de paires.....	8
I.4 Effet biologique des rayonnements sur l'organisme.....	8
I.5 Dosimétrie.....	10
I.5.1 Grandeurs dosimétriques.....	10
I.5.1.1 Exposition.....	10
I.5.1.2 Kerma.....	10
I.5.1.3 Dose absorbée	11
I.5.1.4 Débit de dose absorbée.....	11
I.5.1.5 Dose équivalente.....	11
I.5.1.6 Dose efficace.....	11

Conclusion.....	12
-----------------	----

CHAPITRE II

La cancérologie: prostate et col de l'utérus

Introduction.....	13
II.1 Définition du cancer.....	13
II.2 Col de L'utérus.....	13
II.2.1 Anatomie du col de l'utérus.....	13
II.2.2 Cancer du col de l'utérus.....	15
II.2.3 Histoire naturelle du cancer du col utérin.....	15
II.2.4 Classification de FIGO 2009	16
II.2.5 Le diagnostic.....	17
II.3 La Prostate.....	18
II.3.1 Anatomie de la prostate.....	18
II.3.2 Anatomie zonale.....	18
II.3.3 Cancer La Prostate.....	19
II.3.4 Classification du cancer de la prostate:.....	19
II.3.4.1 Le Score de Gleason.....	19
II.3.4.2 Classification TNM.....	20
II.3.4.3 Stadification multicritères AJCC.....	20
II.3.5 Diagnostic.....	21
Conclusion.....	21

CHAPITRE III

La radiothérapie et planification de traitement

Introduction.....	22
III.1 Définition de la radiothérapie.....	22
III.1.1 La radiothérapie interne ou La curiethérapie.....	22
III.1.2 La radiothérapie externe.....	22
III.2 Techniques de traitement de radiothérapie.....	23
III.2.1 Radiothérapie conformationnelle.....	23
III.2.2 La radiothérapie conformationnelle à modulation d'intensité.....	23
III.3 Les équipements en radiothérapie.....	24
III.3.1 Imagerie médicale.....	24

III.3.1.1 Le scanner.....	24
III.3.2 Machines de traitement.....	25
III.3.2.1 L'accélérateur linéaire.....	25
III.4. Chaîne de traitement en radiothérapie.....	26
III.4.1 La consultation.....	26
III.4.2 La simulation.....	27
III.4.3 Planification de traitement.....	28
III.4.3.1 Choix des volumes et des doses.....	28
III.4.3.1. a Définition des volumes à irradier.....	28
III.4.3.1. b Détermine les organes à risque (OAR) et leurs contraintes de dose.....	30
III.4.4 Le traitement.....	31
III.4.5 Compte rendu de fin de traitement.....	31
III.5. Rôle du physicien médical.....	31
Conclusion.....	32

CHAPITRE IV

Comparaison de deux types de cancer en radiothérapie externe: cancer du col utérin et cancer de la prostate

Introduction.....	33
IV.1 Matériel et méthode.....	33
IV.2 Acquisition des données anatomique.....	33
IV.3 Planification du traitement.....	33
IV.4 les résultats.....	34
IV.4.1 Cas du cancer du col de l'utérus.....	34
IV.4.1 Cas du cancer de la prostate	37
Conclusion.....	42
Conclusion générale	44
Annexe.....	45
Référence.....	48
Résumé	

Liste des figures

Figure(I.1): Classification des rayonnements.....	3
Figure(I.2): Phénomène d'ionisation.....	5
Figure (I.3): Phénomène d'excitation.....	5
Figure (I.4): Phénomène de freinage.....	6
Figure (I.5) : Effet Photoélectrique.....	7
Figure (I.6) : Cinématique de l'effet Compton.....	8
Figure (I.7): Phénomène de matérialisation et d'annihilation.....	8
Figure (I.8): Action direct.....	9
Figure (I.9): Action indirect.....	10
Figure (II.1): L'appareil reproducteur féminin.....	14
Figure (II.2): Le col de l'utérus et sa muqueuse.....	15
Figure (II.3): Histoire naturelle de l'infection à HPV.....	16
Figure (II.4): développement histologique du cancer du col.....	16
Figure (II.5): Classification FIGO.....	17
Figure (II.6): Anatomie zonale de la prostate.....	18
Figure (II.7): Schémas des différents grades de Gleason.....	20
Figure (III.1): Illustration des effets de la modulation de l'intensité sur la distribution de dose et la protection des OAR	24
Figure (III.2): Tomodensitométrie.....	25
Figure (III.3): Schéma d'un accélérateur.....	26
Figure (III.4) : Patient en position de traitement au scanner-simulateur.....	27
Figure (III.5): Représentation graphique des volumes d'intérêt, tels que définis par les rapports 50 et 62 de l'ICRU	29
Figure (IV.1) : HDV patient n°1 en cas du col de l'utérus CAC de Ouargla.....	34
Figure (IV.2) : HDV patient n°2 en cas du col de l'utérus CAC Ouargla.....	35
Figure (IV.3) : HDV patient n°1en cas de cancer de prostate CAC Constantine.....	37
Figure (IV.4) : HDV patient n°2 en cas de cancer de prostate CAC Constantine.....	38
Figure (IV.5) : HDV patient n°3 en cas de cancer de prostate CAC Constantine.....	39
Figure (IV.6): HDV patient n°4 en cas de cancer de prostate CAC Constantine.....	40

Liste de tableaux

Tableau (IV.1) : HDV patient n°1 en cas du col de l'utérus CAC de Ouargla.....	34
Tableau (IV.2) : HDV patient n°2 en cas du col de l'utérus CAC Ouargla.....	35
Tableau (IV.3) : Comparaison entre les doses moyennes des deux cas du col de l'utérus : PTV et aux organes à risque.....	36
Tableau (IV.4) : Comparaison entre les doses Max des deux cas du col de l'utérus : PTV et aux organes à risque.....	36
Tableau (IV.5) : HDV patient n°1 en cas de cancer de prostate CAC Constantine.....	37
Tableau (IV.6) : HDV patient n°2 en cas de cancer de prostate CAC Constantine.....	38
Tableau (IV.7) : HDV patient n°3 en cas de cancer de prostate CAC Constantine.....	39
Tableau (IV.8) : HDV patient n°4 en cas de cancer de prostate CAC Constantine.....	40
Tableau (IV.9) : Comparaison entre les doses moyennes des quatre cas de la prostate : PTV et aux organes à risque.....	41
Tableau (IV.10) : Comparaison entre les doses maximale des quatre cas de la prostate : PTV et aux organes à risque.....	41
Tableau (IV.11) : Comparaison entre les doses moyennes pour tout les cas : PTV et aux organes à risque.....	41
Tableau (IV.12) : Comparaison entre les doses Max pour tout les cas : PTV et aux organes à risque.....	42
Tableau (IV.13) : Contraintes de dose par organe à risque.....	42

Liste d'abréviations

ADP : Adénopathie

BEV : c'est-à-dire que la prise de vue se fait à partir de la tête de l'appareil

BGS : Biopsie du Ganglion Sentinelle

CIN: Cervical Intraépithéliale Néoplasie

Dmax : Dose Maximale ponctuelle dans un volume

Dmin : Dose Minimale ponctuelle dans un volume

Dmoy : Dose Moyenne dans un volume

FIGO : Fédération Internationale de Gynécologie Obstétrique

FSC : Formule Sanguine Complète

GG: Ganglion

Gy: Gray

HDV: Histogramme Dose Volume

HPV: Human Papilloma Virus

ICRU : Définition des volumes en radiothérapie externe

MeV: Méga Electron Volt

MV: Méga Volt

N+ : Envahissement Ganglionnaire

N0 : Pas de signes d'envahissement des ganglions lymphatiques régionaux

OAR : Organe A Risque

RC3D : Radiothérapie Conformationnelle en 3 Dimensions

RCMI : Radiothérapie conformationnelle avec modulation d'intensité (en anglais « IMRT »)

TDM : TomoDensitoMétrie avec scanner, ou CT (en anglais « Computend Tomograhpy »)

TEP : Tomographie à Emission de Positons

TNM : classification « Tumeur, Ganglion, Métastase » (en anglais « Tumor, Node, Metastasis »)

TPS : Logiciel de Planification de Traitement (en anglais : « Treatment Planning System »)

VIH : virus de l'immunodéficience humaine

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

La radiothérapie joue un rôle très important dans le traitement des cancers et spécialement des tumeurs du système de reproduction humain. Globalement la radiothérapie consiste à diriger, avec la plus grande précision possible, des rayonnements (appelés aussi rayons ou radiations) sur les cellules cancéreuses, tout en préservant le mieux possible les tissus sains et les organes avoisinants, dits organes à risque. La radiothérapie du cancer du col de l'utérus et de la prostate, sont deux exemples qui entrent dans le cadre du traitement des tumeurs du système reproducteur humain. Pour ces organes, cette radiothérapie peut être de deux types : la radiothérapie externe et la curiethérapie. Elles peuvent être utilisées seules, mais souvent, elles sont associées. Le choix de ces types de cancers a pour but de comparer la dosimétrie au niveau des OAR car la majorité de ces derniers sont communs aux deux sexes [26].

Le processus de mise en œuvre des traitements comporte plusieurs étapes dont l'acquisition des données anatomiques du patient, la détermination des cibles à traiter et des organes à éviter, la définition des faisceaux de traitement, le calcul prévisionnel de la distribution de dose, l'évaluation et la mise en application du plan de traitement. L'étape de calcul prévisionnel de la distribution de dose à l'aide d'un système de planification des traitements ou TPS est une étape cruciale de la préparation du traitement.

Le cancer du col est essentiellement dû à des infections sexuellement transmissibles (infections à HPV). C'est le 2ème cancer chez la femme (après le cancer du sein), son incidence augmente progressivement à partir de l'âge de 30 ans et l'âge moyen au moment du diagnostic est de 55 ans [17].

Le cancer de la prostate est de plus en plus répandu chez les hommes de plus de 50 ans et représente un taux de mortalité assez élevé. Pour remédier à cela, l'application de la physique en médecine a été l'un des moyens les plus prometteurs quant au traitement de ce type de cancer.

La radiothérapie consiste à détruire les tissus cancéreux et protéger au mieux les tissus sains. La prostate et le col de l'utérus sont localisés dans des régions anatomiques ayant beaucoup d'organes communs entre l'homme et la femme.

La problématique est de voir si les organes communs subissent les mêmes doses ou non et pourquoi ?

L'objectif de ce travail est présenter la radiothérapie de ces cancers et de faire une comparaison dosimétrique au niveau des OAR entre les deux cas.

Pour répondre à notre objectif, notre travail est réparti comme suit:

- Chapitre I : Rappel des notions fondamentales de la physique médicale dans le domaine de la radiothérapie, dans le cadre de l'utilisation des rayonnements dans le traitement des tumeurs.
- Chapitre II: Une synthèse bibliographique concernant le cancer en général, et en particulier le cancer de la prostate et le cancer de col.
- Chapitre III : Planification des traitements (TPS) en radiothérapie
- Chapitre IV: Etude comparative des résultats de TPS dans les cas du cancer du col de l'utérus et celui de la prostate par la comparaison des HDV (Histogramme Dose Volume).

Chapitre I:

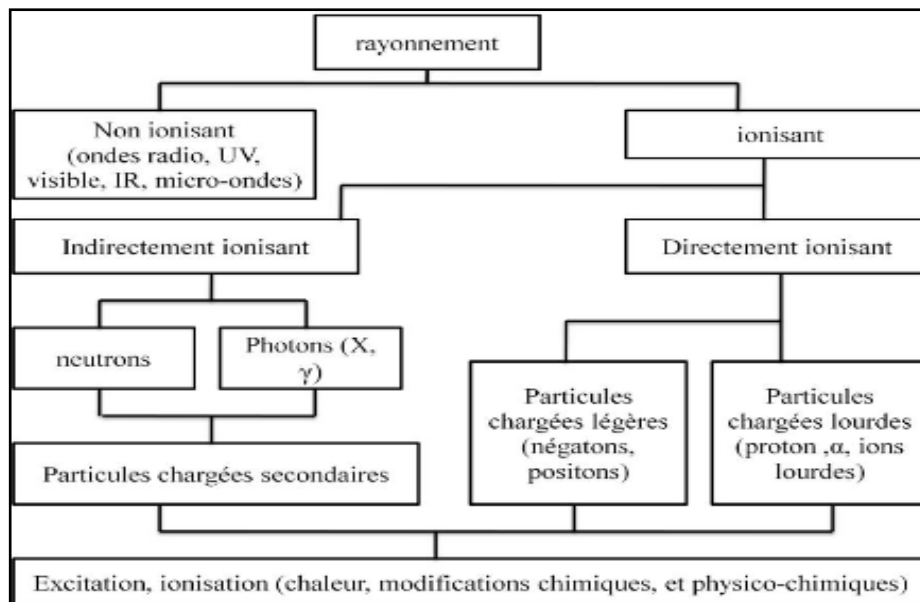
Interaction rayonnement matière

Introduction

Un rayonnement est dit ionisant s'il transporte une énergie suffisante pour ioniser un atome ou une molécule. Cette énergie minimale est d'environ 10 eV. Ces rayonnements, en cédant leur énergie, ont la propriété de provoquer des ionisations et des excitations atomiques dans le milieu matériel qu'ils pénètrent. Mais on peut également observer des phénomènes de diffusions des rayonnements par les atomes ou les molécules sans pour cela assister à aucune ionisation [28].

I.1 Classification des rayonnements

On peut classer les rayonnements en deux catégories selon leur nature et selon leurs effets sur la matière. La figure (I.1) ci-dessous résume les différents types de rayonnements.



Figure(I.1): Classification des rayonnements [19].

I.1.1 Les rayonnements non ionisants

Sont les ondes électromagnétiques n'ayant pas une énergie suffisante pour ioniser les atomes.

I.1.2 Les rayonnements ionisants

Ils correspondent aux rayonnements dont l'énergie est suffisante pour arracher un électron aux atomes du milieu absorbant et les transformer en ions positifs [21].

I.2 Les différents types de rayonnements ionisants

I.2.1 Les rayonnements directement ionisants

Sont des particules chargées qui délivrent leur énergie directement à la matière, par le jeu des forces coulombiennes s'exerçant avec les atomes du milieu. Les transferts d'énergie dépendent des masses des particules en mouvements et il y a lieu de distinguer les particules chargées lourdes (proton, deuton, alpha, ions lourds) des électrons [21].

I.2.2 Les rayonnements indirectement ionisants: Sont susceptibles de transférer une fraction ou la totalité de leur énergie en une seule interaction à des particules chargées. Ce sont ensuite ces particules secondaires qui ionisent le milieu. Dans ce cas, l'ionisation se fait en deux étapes. Les rayonnements électromagnétiques (X et γ) et les neutrons entrent dans cette catégorie, mais leurs modes d'interactions sont différents [1].

I.3 Interaction rayonnement matière

I.3.1 Interaction particules béta-matière

Les particules béta sont des particules légères porteuses d'une charge électrique élémentaire, négative pour les «négatons» et positive pour les «positons».

Un électron traversant un milieu matériel perd de l'énergie par :

Collisions, c'est-à-dire interactions coulombiennes avec les électrons des atomes du milieu traversé, ce qui conduit à l'ionisation ou à l'excitation de ces atomes. Deux situations de (**figure (I.2)** et **figure (I.3)**) peuvent se présenter : les électrons interagissent soit avec les électrons des atomes constituant le milieu, soit avec leur noyau **figure (I.4)**.

Dans le cas d'une interaction «électron-électron», on parlera de collision. Il en existe deux types : l'ionisation et l'excitation ; dans le cas d'une interaction «électron-noyau», on parlera de sur les rayonnements de freinage [29].

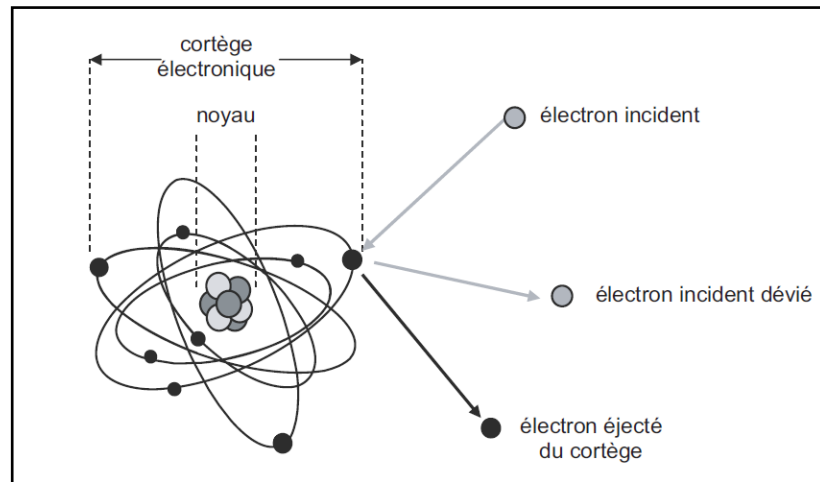
I.3.1.1 Phénomène d'excitation et d'ionisation

Ces interactions sont les plus probables. L'électron incident transfère une partie de son énergie cinétique à l'électron atomique ; selon la valeur de la quantité d'énergie transférée, l'une ou l'autre de ces réactions aura lieu:

Notons ΔE l'énergie cinétique de l'électron incident et W_L l'énergie de liaison de l'électron de l'atome cible.

Selon que ΔE est suffisante ou non pour éjecter l'électron de son orbite, deux phénomènes peuvent se produire :

Si $\Delta E \geq W_L$: l' e^- de la cible est éjecté de son orbite avec une énergie cinétique $(\Delta E - W_L)$, et il se produit une ionisation de l'atome cible. L'électron éjecté, dit électron secondaire, peut à son tour créer d'autres ionisations si son énergie cinétique est suffisante [29].



Figure(I.2): Phénomène d'ionisation [29].

Si $\Delta E < W_L$: le transfert d'énergie ΔE ne peut produire aucune ionisation mais, peut porter l'électron cible à un niveau énergétique supérieur, avec excitation de l'atome cible.

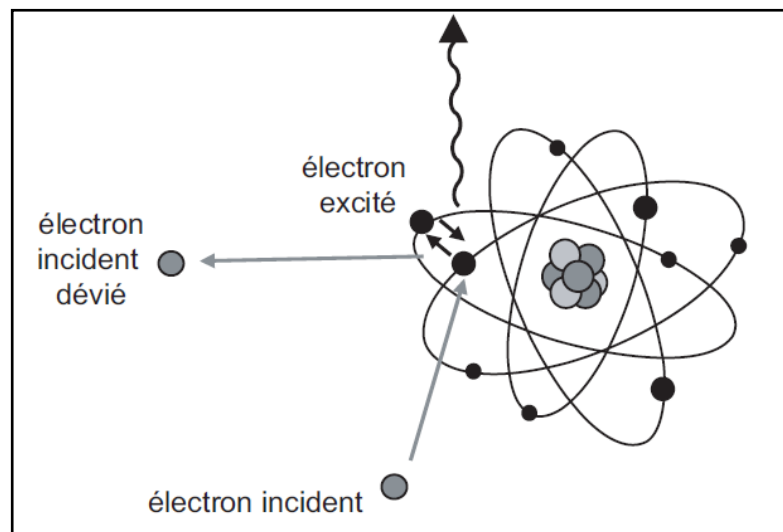


Figure (I.3): Phénomène d'excitation [29].

Si $\Delta E \ll W_L$: cette excitation aboutit à une dissipation thermique (par augmentation de l'énergie de translation, de rotation ou de vibration des molécules cibles).

I.3.1.2 Rayonnement de freinage

Plus rarement, les électrons incidents peuvent interagir avec les noyaux des atomes de la substance traversée. Ils subissent l'influence du champ coulombien du noyau : ils sont alors déviés et cèdent une partie de leur énergie au noyau. Cela se manifeste par un ralentissement ou

freinage. L'énergie perdue est émise sous la forme de rayonnements X, dits de « freinage ou bremsstrahlung ».

Ce phénomène n'est important que dans le cas d'électrons de forte énergie (supérieure à 1 MeV) traversant une matière constituée d'atomes lourds (numéro atomique Z élevé) [29].

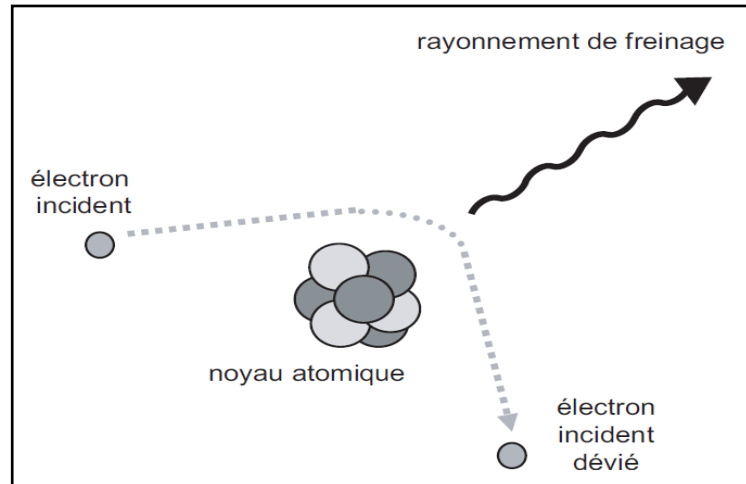


Figure (I.4): Phénomène de freinage [29].

I.3.2 Interaction photon matière

Le terme « photon » s'applique aux particules des rayonnements électromagnétiques émis soit dans les transitions nucléaires « rayons γ », soit dans les transitions atomiques « rayons X » et rayons moins énergétiques. Lors de la traversée d'un milieu matériel quelconque, tout photon a une certaine probabilité d'interagir avec ce milieu.

L'interaction d'un photon avec la matière est supposée indépendante de son mode de formation. Les interactions peuvent avoir lieu avec les électrons atomiques, les nucléons, le champ électrique des noyaux et des électrons. Les effets de l'interaction peuvent être une absorption totale, une diffusion élastique ou inélastique [21].

I.3.2.1 Effet photoélectrique

Au cours de l'effet photoélectrique, le photon interagit avec un électron du cortège de l'atome, il lui cède totalement son énergie $E = h\nu$ et disparaît **figure (I.5)**. L'électron cible quitte donc sa couche avec une énergie égale à l'énergie du photon diminuée de son énergie de liaison W_L équation (I-1) [8].

Après cet événement, l'atome subit un réarrangement au cours duquel, soit un photon de fluorescence est émis, soit un électron est éjecté avec une énergie cinétique T (cet électron est appelé électron Auger). Cet effet ne se produit que si $h\nu \geq W_L$ (effet à seuil).

$$T = E - W_L \quad (I-1)$$

W_L : est l'énergie de liaison de l'électron éjecté de son orbite [21].

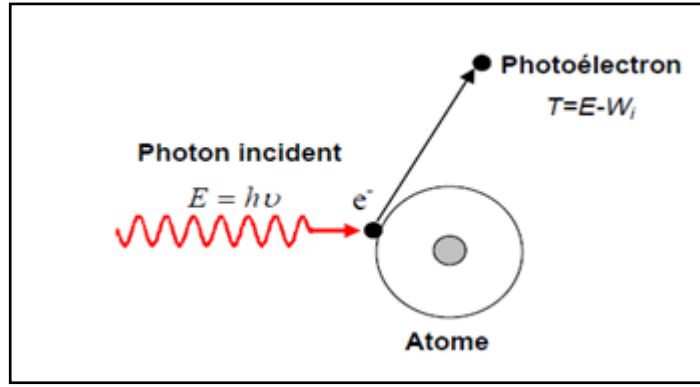


Figure (I.5) : Effet Photoélectrique [21].

I.3.2.2 L'effet Compton

Lors de l'effet Compton, un photon incident d'énergie $E = h\nu$, entre en collision avec un électron libre ou peu lié du milieu, il projette cet électron (électron Compton) dans une direction faisant un angle θ **figure(I.6)**, compris entre 0 et 90 degrés par rapport à la direction du photon incident et avec une énergie cinétique T .

Le photon incident est diffusé dans une direction faisant un angle θ , compris entre 0 et 180 degrés par rapport à la direction du photon incident et avec une énergie $E' = h\nu'$ inférieure à celle du photon incident [21].

La conservation de l'énergie donne :

$$E = E' + T \quad (I-2)$$

Dans ce processus, la part de l'énergie initiale transmise à l'électron est absorbée au voisinage du point d'interaction. L'énergie diffusée E' pourra donner lieu à d'autres diffusions Compton [1]. C'est un point capital en dosimétrie ; la part de l'énergie diffusée dépend de l'énergie du photon et du numéro atomique du milieu traversé.

La conservation de la quantité de mouvement donne :

$$p = p' \cos \theta + p_e \cos \phi \quad (I-3)$$

$$0 = -p' \sin \theta + p_e \sin \phi \quad (I-4)$$

L'énergie du photon diffusé est alors :

$$E' = \frac{E_0}{1 + \epsilon(1 - \cos \theta)} \quad (I-5)$$

Avec $\epsilon = \frac{E}{E_0}$, $E_0 = 0.511$ MeV étant l'énergie au repos de l'électron.

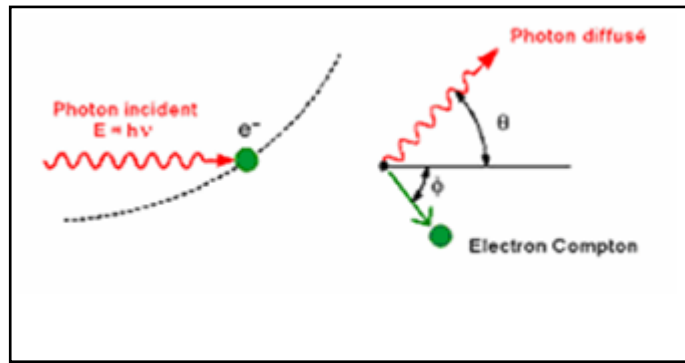


Figure (I.6) : Cinématique de l'effet Compton [21].

I.3.2.3 Création de paires

Lorsque un photon a une énergie supérieure à $2m_e c^2$, donc environ 1.022 MeV, il peut se matérialiser par la création d'une paire électron-positron **figure (I.7)**. Le surplus d'énergie se transforme en énergie cinétique pour les particules créées. Ce processus ne peut se produire qu'en présence du champ d'une particule chargée (le noyau par exemple), qui absorbe une partie de l'impulsion du photon. En effet, la paire ne peut pas à la fois prendre en charge toute l'énergie et toute l'impulsion du photon, même dans le cas où les deux particules sont émises vers l'avant.

A la fin de son parcours, le positron interagit avec un électron et s'annihile ce qui engendre l'émission de deux photons de 511 keV. Les lois de conservation du moment cinétique font que ces deux photons sont émis dans des directions opposées.

La conservation de l'énergie s'écrit :

$$E = 2E_0 + E_{e^-} + E_{e^+} \quad (\text{I-6})$$

E_{e^-} et E_{e^+} sont respectivement les énergies cinétiques de l'électron et du positron [21].

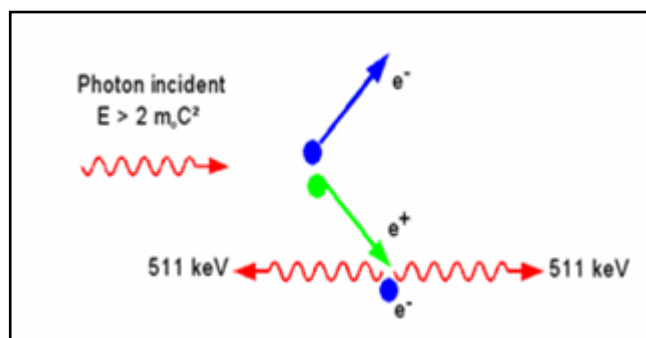


Figure (I.7): Phénomène de matérialisation et d'annihilation [21].

I.4 Effet biologique des rayonnements sur l'organisme

Les effets des rayonnements sur les tissus humains sont le résultat d'une chaîne de phénomènes tout d'abord physiques (interactions entre les rayonnements et les atomes ou les molécules des cellules du tissu) puis physico-chimique pour aboutir à des dommages

biologiques cellulaires tels que l'aberration chromosomique, l'altération de fonction, ou la mort cellulaire. Les effets biologiques des radiations résultent principalement des dommages causés sur l'ADN (acide désoxyribonucléique), laquelle est la cible la plus critique dans la cellule. Lorsqu'un rayonnement ionisant est directement absorbé par les cellules, les effets peuvent se présenter sous l'un des deux schémas : direct ou indirect [19].

1. Effet directe : dans l'effet directe, le rayonnement interagit directement avec une cible critique dans la cellule : molécule ou structure intracellulaire de faible démentions (gènes, chromosome, etc...). Les atomes de ces structures ou de ces molécules critiques peuvent s'ioniser ou « être excités » à partir d'une interaction coulombienne, conduisant à un dommage biologique [1].

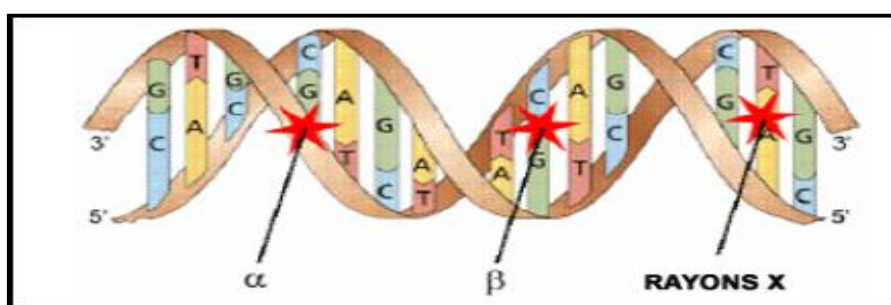


Figure (I.8): Action direct.

2. Effet indirecte : dans l'effet indirecte, le rayonnement interagit avec d'autres molécules et atomes (principalement l'eau, compte tenu de la richesse en eau des organismes vivants environ 80%) de la cellule pour produire des radicaux libres, lesquels peuvent en diffusant créer des dommages sur les cibles critiques à l'intérieur de la cellule. L'interaction du rayonnement avec les électrons des molécules d'eau produit les radicaux libres H^+ et OH^- , chimiquement très actifs [19].

Si ces radicaux, très réactifs produisent des phénomènes de réduction et d'oxydation qui modifient la structure cellulaire : mutation de la molécule d'ADN, blocage de sa synthèse, blocage du cycle cellulaire à la phase précédant la mitose, voire la mort cellulaire. Le risque n'est cependant pas uniforme et dépend de la radiosensibilité de l'organe irradié. C'est ainsi que l'on définit une dose efficace qui tient compte de ces différences de sensibilité d'organe et définit pour le long terme, le risque d'apparition d'un cancer ou d'une leucémie dans l'organisme [20].

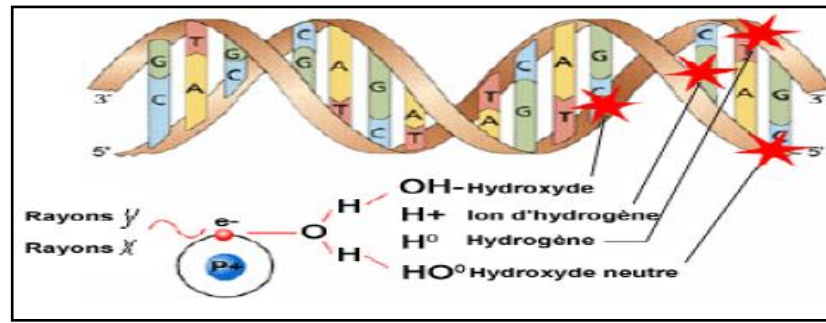


Figure (I.9):Action indirect.

I.5 Dosimétrie

La dosimétrie est un moyen de qualification et de quantification de la dose des rayonnements absorbée par la matière et de contrôle du bon fonctionnement de l'installation. Comme elle représente un moyen d'évaluation de résultats du traitement et donc de la qualité de ce dernier [29].

I.5.1 Grandeurs dosimétriques

I.5.1.1 Exposition

On ne mesure pas la radiation directement, on mesure ces effets. Dans le cas du rayonnement ionisant, on mesure le nombre d'ions produits. L'appareil de mesure utilisé à cette fin est principalement la chambre à ionisation [2]. Cet appareil mesure la quantité d'ions (ou d'électrons) produits dans l'air contenu dans une chambre de faibles dimensions située à l'intérieur de l'appareil. Il permet de calculer une première quantité dosimétrique : l'exposition.

L'exposition est définie comme la quantité de charges Q (d'un seul signe) produites dans un volume d'air divisé par la masse m de ce volume d'air [4]:

$$X = \frac{Q}{m} \quad (I-7)$$

I.5.1.2 Kerma

Pour définir clairement et quantitativement le transfert d'énergie de rayonnements indirectement ionisants à des particules directement ionisantes dans un matériau irradié, on a défini le kerma. Ce mot est une acronyme signifiant " kinetic energy released in the medium". Le kerma est défini comme le rapport de l'énergie cinétique transmise au milieu (plus précisément à des particules chargées par des particules non chargées) sur la masse m du milieu :

$$K = \frac{\Delta \epsilon_{tr}}{\Delta m} \quad (I-8)$$

Le kerma possède les mêmes dimensions et les mêmes unités que la dose [21].

I.5.1.3 Dose absorbée

La dose absorbée est le rapport de l'énergie communiquée par les rayonnements ionisants à la matière irradiée, dans un élément de volume, sur la masse de matière contenue dans cet élément de volume [10].

La dose absorbée s'exprime en Gray (Gy) dans le système international (S.I.).

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

En fait, l'unité la plus commode est le Rad de "radiation absorbed dose "

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J. Kg}^{-1}$$

I.5.1.4 Débit de dose absorbée

Le débit de dose absorbée est la dose absorbée par unité de temps. Il s'exprime en Gray par seconde Gy/s ou plus pratiquement en Rad par heure Gy/h [10].

I.5.1.5 Dose équivalente

La dose équivalente (notée H) est une grandeur physique mesurant l'impact sur les tissus biologiques d'une exposition à un rayonnement ionisant. Elle se définit comme la dose absorbée, à savoir l'énergie reçue par unité de masse, corrigée d'un facteur de pondération du rayonnement sans dimension, qui prend en compte la dangerosité relative du rayonnement considéré.

L'unité de dose équivalente est le sievert (symbole : Sv), qui équivaut à un joule par kilogramme (J/kg). Connaissant les doses D_R délivrées par différents types de rayonnements, la dose équivalente H est :

$$H = \sum_R W_R D_R \quad (\text{I-9})$$

Où les W_R sont les facteurs de pondération liés à la nature du rayonnement R [28].

I.5.1.6 Dose efficace

C'est la dose équivalente mesurée pour déterminer la sensibilité de différents tissus aux rayonnements (Sv). La dose efficace est la somme des doses équivalentes pour chaque organe ou tissu de l'organisme pondérées par un facteur dépendant de la sensibilité aux effets stochastiques du tissu irradié W_T . La dose efficace s'exprime par :

$$E = \sum W_T H_T = \sum W_T \sum W_R D_{T,R} \quad (\text{I-10})$$

Où W_T est le facteur de pondération pour les tissus définis pour le tissu T et $\sum W_T = 1$. La somme est calculée sur l'ensemble des organes et tissus du corps humain, considérés comme sensibles à l'induction d'effets stochastiques [28].

Conclusion

Les électrons et les photons sont, par leurs modes d'interaction avec la matière, agissent sur cette dernière par transfert d'énergie. Ceci est à l'origine de transformations au niveau de cette matière. C'est propriété qui est exploitée dans le cadre des applications médicales de ces rayonnements et en particulier la radiothérapie.

Chapitre II:

La cancérologie: prostate et col de l'utérus

Introduction

Le cancer du col de l'utérus en Algérie est le plus fréquent des cancers femmes, constituant ainsi la deuxième cause de mortalité chez la femme après le cancer du sein, son incidence augmente progressivement à partir de l'âge de 30 ans et l'âge moyen au moment du diagnostic est de 55 ans. Le cancer du col est considéré comme une maladie sexuellement transmissible (infection à HPV) [11].

Le cancer de la prostate est le plus fréquent des cancers masculins. En Algérie, 30000 nouveaux cas de cancer prostatique, dont après d'un millier sont décelés chaque année, constituant ainsi la deuxième cause de mortalité chez l'homme après le cancer du poumon, il survient chez l'homme de plus de 45 ans généralement. Sa fréquence augmente avec l'âge. Ce cancer fait partie du vieillissement normal de la prostate [23].

II.1 Définition du cancer

Le cancer est une maladie caractérisée par une prolifération cellulaire anormale et anémique au sein d'un tissu normal de l'organisme, engendrant le développement de tumeurs qui échappent aux règles de fonctionnement du corps. Ces cellules dérivent toutes d'un même clone, cellule initiatrice du cancer qui a acquis certaines caractéristiques lui permettant de se diviser indéfiniment. Au cours de l'évolution de la maladie, certaines cellules peuvent migrer de leur lieu de production et former des métastases [24].

II.2 Col de L'utérus

II.2.1 Anatomie du col de l'utérus

Partie centrale de l'appareil reproducteur de la femme **figure (II.1)**, l'utérus est un muscle creux en forme d'entonnoir dont la partie haute et large constitue le corps de l'utérus et la partie basse et étroite, le col de l'utérus [11].

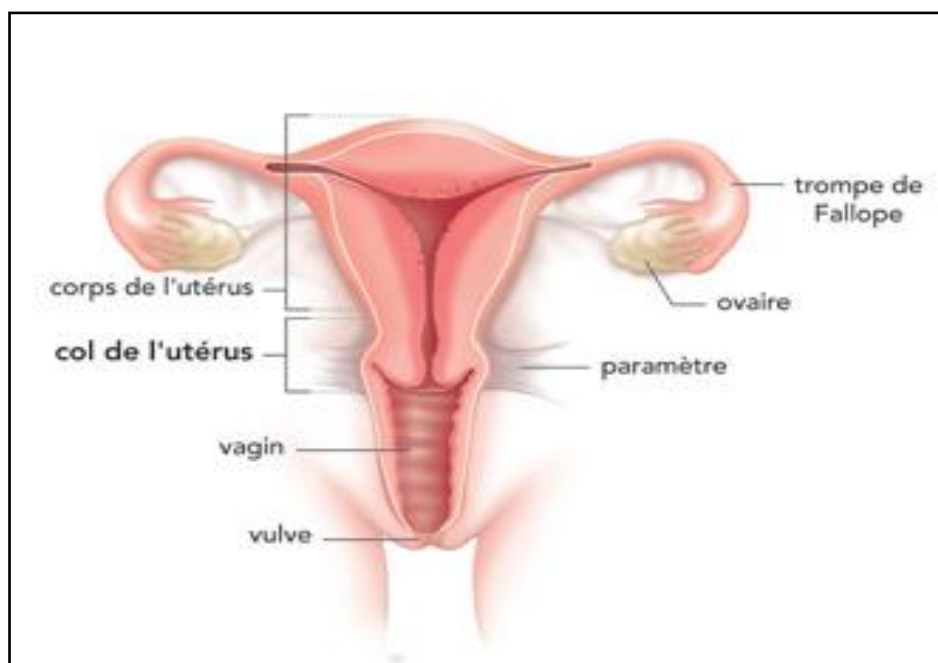


Figure (II.1): L'appareil reproducteur féminin [11].

Point de communication entre l'utérus et le vagin, le col de l'utérus mesure environ 2 centimètres de long et comprend deux parties :

- Une partie haute, appelée endocol ou canal endocervical, située du côté du corps de l'utérus ;
- Une partie basse, appelée exocol. Situé du côté du vagin, l'exocol est visible à l'œil nu lors de l'examen gynécologique.

À la limite de l'endocol et de l'exocol, se trouve la zone de jonction. C'est ici que prennent naissance la plupart des cancers. Le col de l'utérus est entièrement recouvert d'une muqueuse **figure (II.2)**, composée d'un tissu de surface appelé épithélium et d'un tissu conjonctif en profondeur. La frontière entre les deux tissus est appelée membrane basale.

Au niveau de l'endocol, l'épithélium contient des glandes qui produisent un mucus (épithélium glandulaire). Au niveau de l'exocol, l'épithélium est semblable à celui de l'épiderme de la peau (épithélium malpighien). La quasi-totalité des cancers du col de l'utérus sont des carcinomes, c'est-à-dire des tumeurs qui naissent au niveau de l'épithélium. Environ 15 % sont des adénocarcinomes qui se développent à partir de l'épithélium de l'endocol. Pour 85 % d'entre eux, ce sont des carcinomes épidermoïdes : ils se développent à partir de l'épithélium de l'exocol [11].

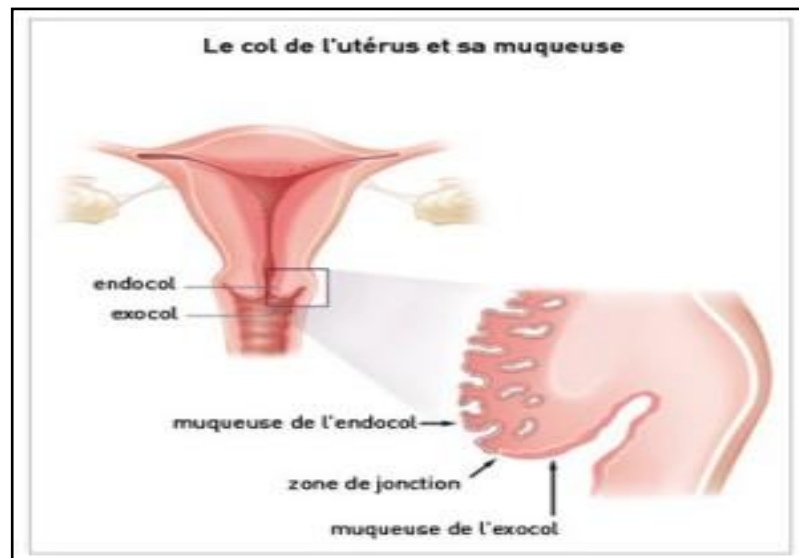


Figure (II.2): Le col de l'utérus et sa muqueuse [11].

I.2.2 Cancer du col de l'utérus

Le **cancer du col de l'utérus** prend naissance dans les cellules qui tapissent la partie inférieure et étroite de l'utérus (le cervix) qui relie l'utérus au vagin. Le cancer du col de l'utérus est dû à une infection sexuellement transmissible (IST) causée par les virus du papillome humain (HPV en anglais). Le cancer du col de l'utérus se développe progressivement, à partir des lésions dites précancéreuses. Ces lésions peuvent disparaître spontanément, persistent ou évoluent progressivement, d'abord vers une forme précoce de cancer, appelée cancer in situ, puis vers une forme plus avancée appelée cancer invasif [22].

II.2.3 Histoire naturelle du cancer du col utérin

Le cancer du col utérin se développe très lentement **figure (II.4)**, sur une quinzaine d'années. Au niveau histologique **figure (II.3)**, la progression se traduit par la perte de la différenciation cellulaire, donnant l'aspect d'un néoplasie cervical intraépithéliale (CIN). Cette dernière évolue de CIN 1 vers CIN 3, puis vers le cancer infiltrant. Une proportion de 10 à 15% des CIN 1 non traitées passeront au stade CIN 2-3, tandis que les autres régresseront spontanément dans les deux années suivant le diagnostic initial. Le risque d'évolution d'un CIN1 vers un CIN 3 ou une lésion plus grave a été évalué à 1% par an, tandis que le risque de progression d'un CIN 2 vers les stades plus sévères serait de 16% en 2 ans à 25% en 5 ans [22].

La hauteur de prolifération de ces cellules dans l'épithélium cervical définit le grade;

- Grade 1(CIN 1) ou dysplasie légère: hauteur de prolifération inférieure au tiers de l'épithélium
- Grade 2(CIN 2) ou dysplasie modérée: la prolifération ne dépasse pas les deux tiers;
- Grade 3(CIN 3) ou dysplasie sévère ou carcinome in situ: la totalité de la hauteur de l'épithélium est concernée par la prolifération.

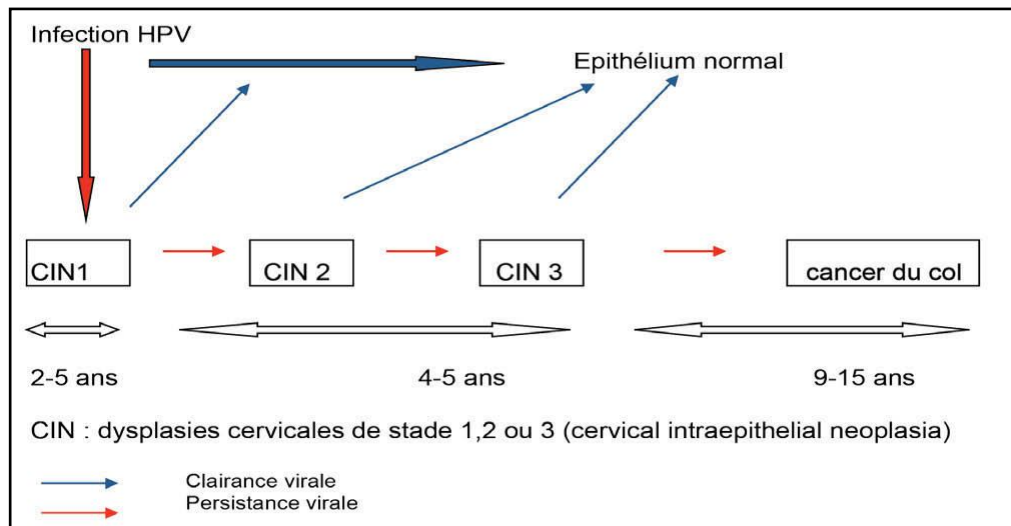


Figure (II.3): Histoire naturelle de l'infection à HPV [22].

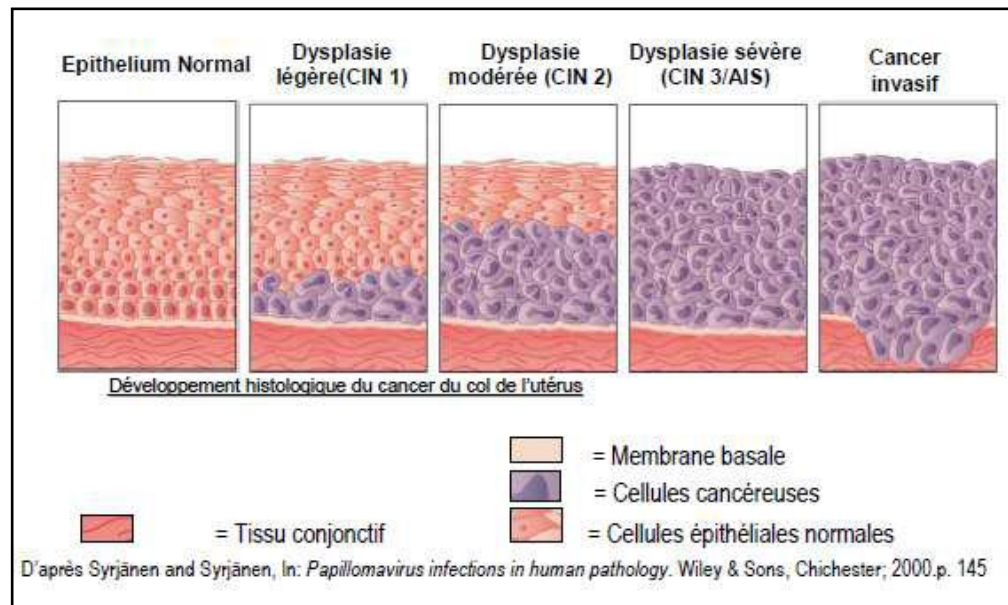


Figure (II.4): Développement histologique du cancer du col [22].

II.2.4 Classification de FIGO 2009

L'ensemble du bilan réalisé permet de classer les cancers du col selon leur extension locale tumorale (T), locorégionale ganglionnaire (N) et métastatique à distance (M), permettant de réaliser la stadification selon la classification FIGO-TNM [3]. La classification TNM est présentée dans le tableau N°1 (annexe 1)

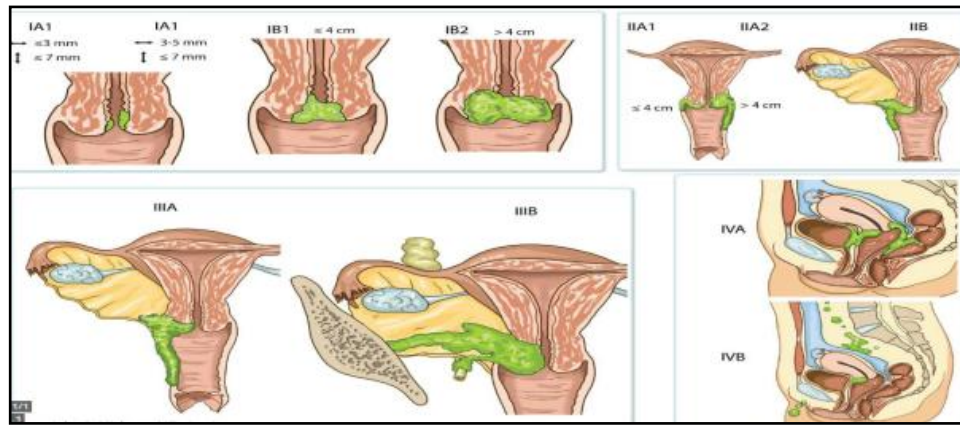


Figure (II.5): Classification FIGO [3].

II.2.5 Le diagnostic

Si l'examen clinique du col de l'utérus révèle des zones anormales, il prélève un petit échantillon de tissu pour le faire analyser au microscope. Toutefois, lorsque l'examen clinique n'a rien révélé d'anormal alors que le résultat d'un frottis indique la présence de cellules précancéreuses ou cancéreuses, le médecin peut alors pratiquer une colposcopie, qui permet une observation précise des zones suspectes et facilite la biopsie du col utérin : il applique alors au niveau de la muqueuse du col utérin des réactifs colorés qui « révèlent » les éventuelles lésions de la muqueuse. Ainsi mises en évidence, ces zones lésées peuvent alors plus aisément faire l'objet d'une biopsie.

Les tissus prélevés sont envoyés à un anatomopathologiste, médecin spécialiste de l'observation des cellules au microscope. Il examine les échantillons prélevés et détermine si leur aspect indique une dysplasie (qui n'est pas un cancer, mais une lésion qui peut devenir cancéreuse), un carcinome in situ (une lésion précancéreuse, localisée au niveau d'une zone très superficielle du col utérin) ou un cancer du col de l'utérus.

Si l'analyse indique la présence d'un cancer du col utérin, il est possible d'estimer son degré d'extension par l'examen clinique et en pratiquant une IRM, éventuellement associée à un PET-scan. En cas de dysplasie, cette lésion fera l'objet d'une surveillance et son évolution sera suivie par colposcopie [12].

II.3. La Prostate

II.3.1 Anatomie de la prostate

La prostate est une glande de l'appareil génital masculin. Elle est de la forme et de la taille d'une châtaigne chez l'homme jeune ; son volume augmente avec l'âge. Elle est située sous la vessie et en avant du rectum. Elle entoure le début de l'urètre, canal qui permet d'évacuer

l'urine et le sperme. Tout autour de l'urètre, un ensemble de fibres musculaires sont regroupées au niveau du col vésical et sous la prostate et forment le sphincter urinaire, qui contrôle le passage de l'urine en se contractant ou se relâchant et permet ainsi de gérer la continence. La prostate est entourée d'une capsule, qui la sépare du reste des autres organes du pelvis. La prostate joue un rôle dans la production du sperme en produisant un liquide qu'on appelle liquide prostatique [13].

II.3.2 Anatomie zonale

L'anatomie prostatite zonale se différencie au sein du parenchyme prostatique en 4 zones distinctes **figure (II.6)**:

❖ Une zone périphérique :

Il s'agit de la région de la prostate la plus proche du rectum, c'est pourquoi le médecin peut facilement la palper au cours d'un toucher rectal (TR). Elle forme la plus grande zone de la prostate. La majorité des tumeurs de la prostate (environ 75 %) surviennent dans la zone périphérique.

❖ Une zone transitionnelle :

Il s'agit de la zone située dans le milieu de la prostate, entre les zones périphérique et centrale. Elle entoure la partie de l'urètre qui traverse la prostate.

Cette zone constitue environ 20 % de la prostate jusqu'à l'âge de 40 ans.

Avec le vieillissement, la zone transitionnelle augmente de taille jusqu'à ce qu'elle devienne la plus grosse portion de la prostate. C'est ce qu'on appelle l'hyperplasie bénigne de la prostate (HBP). L'augmentation de taille de la zone transitionnelle a pour effet de pousser la zone périphérique vers le rectum.

❖ Une zone centrale :

La zone centrale est située devant la zone transitionnelle et constitue la partie de la prostate qui est la plus éloignée du rectum. C'est pourquoi les tumeurs de la prostate situées dans cette zone ne peuvent être palpées par le médecin lors d'un toucher rectal.

❖ Une zone fibro-musculaire antérieur :

Dépourvue de tissu glandulaire [23].

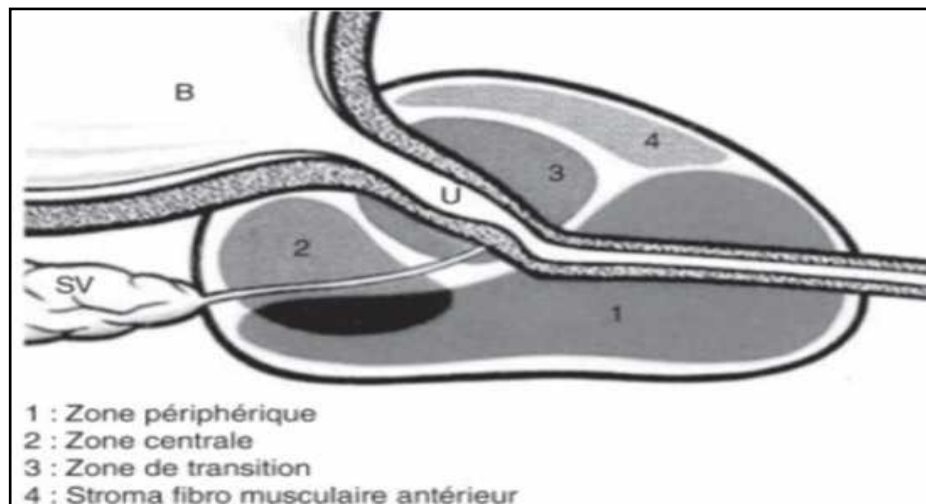


Figure (II.6): Anatomie zonale de la prostate [23].

II.3.3 Cancer de la Prostate

Le cancer de la prostate ou l'adénocarcinome de la prostate est un cancer de l'homme vieillissant. Il se manifeste exceptionnellement avant 50 ans, 85% des cas sont diagnostiqués chez l'homme de plus de 60 ans. Il représente la deuxième cause de décès par cancer après le cancer broncho-pulmonaire.

Le cancer de la prostate, développé aux dépens de l'épithélium prostatique, envahissant d'abord la prostate puis la capsule prostatique avant de disséminer par voie lymphatique et hématogène. La physiopathologie initiale du développement carcinologique est largement admise : les cellules tumorales naissent au niveau de l'épithélium, dans les couches basales, et perdent leur équilibre prolifération/quiescence à la faveur de l'accumulation d'anomalies génétiques (mutations somatiques tumorales). Puis cette prolifération épithéliale augmente, avec une réaction stromal, puis les cellules tumorales envahissent le stroma.

Est alors le cancer de la prostate est caractérisé par un tropisme important des cellules tumorales pour métastaser généralement dans l'os et le dépistage de ce cancer est toujours tardif chez environ 80% des cas de métastases [23].

II.3.4 Classification du cancer de la prostate

II.3.4.1 Le Score de Gleason

Ce système proposé en 1966 par D.F. Gleason est une classification histopronostique des cancers de la prostate. Toujours en vigueur aujourd'hui, il repose sur l'interprétation de la disposition architecturale de la prolifération tumorale observée à faible grossissement (objet×4 et/ou 10), sans tenir compte des aspects cytologiques de la tumeur. Seuls les deux grades architecturaux les plus représentés, allant du grade 1 le plus différencié au grade 5 le moins différencié, étaient pris en compte pour définir le score de Gleason **figure (II.7)**.

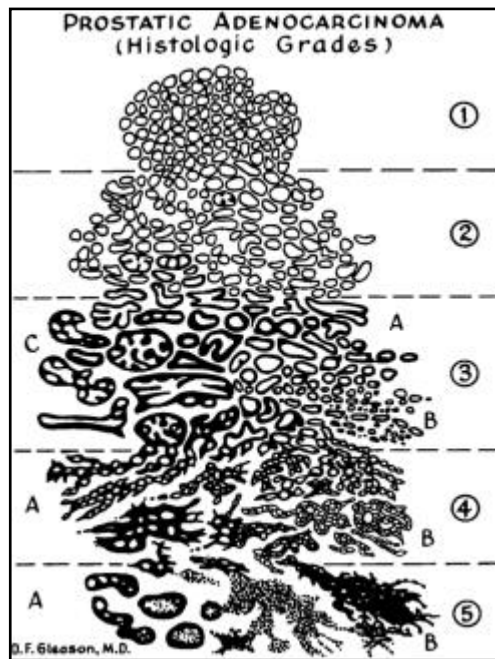


Figure (II.7): Schéma des différents grades de Gleason.

Sur les biopsies, le score de Gleason représente la somme des deux grades les plus largement représentés. Le premier chiffre correspond au contingent majoritaire.

- de 2 à 4: La tumeur est bien différenciée et donc moins agressive,
- de 5 à 7: Tumeur moyennement différenciée, l'agressivité est intermédiaire,
- de 8 à 10: Tumeur peu différenciée, donc agressive [24].

II.3.4.2 Classification TNM

La tumeur est ensuite systématiquement "classée" à l'aide de la classification TNM. La lettre T, pour tumeur, précise son extension locale; la lettre N, pour node (adénopathie ou ganglion lymphatique) fait le point sur l'état des adénopathies régionales et la lettre M désigne les métastases (extension à distance) [4]. La classification TNM est présentée dans le tableau N°2 (annexe 2).

II.3.4.3 Stadification multicritères AJCC

L'American Joint Committee on Cancer (AJCC) propose une Stadification qui combine TNM, score de Gleason et PSA (AJCC. 2010) [24]. La Stadification multicritères AJCC est présentée dans le **tableau N°3** (annexe 3).

II.3.5 Diagnostic

Démarche diagnostic:

❖ Examen clinique: Toucher Rectal (TR):

L'examen clinique comprend notamment un toucher rectal (perception d'une anomalie, appréciation de la consistance et du volume).

Le toucher rectal consiste à examiner la prostate en la palpant avec le doigt à travers la paroi du rectum pour apprécier le volume, la consistance et la régularité de la prostate. Cet examen permet parfois de détecter un cancer même quand la valeur du PSA est considérée comme normale. Ce procédé ne permet toutefois pas de déceler toutes les tumeurs.

❖ Marqueur Tumoral:

Le dosage du PSA total sérique est le seul marqueur inclus dans le bilan initial mais sa normalité ne permet pas d'exclure le diagnostic- il peut être élevé en l'absence de malignité (prostatite, adénome de la prostate) et n'est donc pas indiqué au cours d'un épisode infectieux urinaire ou en cas de suspicion de prostatite, le dosage du PSA libre 6 n'est pas recommandé en première intention.

Ni le dosage du PSA ni le TR ne permettent de conclure à l'existence d'une tumeur Maligne.

❖ La biopsie:

La biopsie prostatique est l'examen par lequel on affirme le diagnostic de cancer de la prostate. Il s'agit d'un examen qui s'effectue par voie transrectale écho guidée idéalement sous anesthésie locale.

L'analyse des biopsies permet de classer la tumeur selon la classification de Gleason. Celle-ci distingue cinq degrés ou grades (côtés de 1 à 5) depuis une architecture très différenciée (grade1) jusqu'à une architecture indifférenciée (grade 5) [25].

Conclusion

Le cancer du col utérin et le cancer de la prostate peuvent être très bien traités s'ils sont diagnostiqués à temps c'est-à-dire à des stades précoces de leur évolution. Car c'est à ce stade que la radiothérapie est plus efficace.

Chapitre III

La radiothérapie et La planification de traitement

Introduction

La radiothérapie est l'une des armes les plus puissantes pour la lutte efficace contre la maladie du cancer par des sources de rayonnements ionisants externes au patient.

Un traitement de radiothérapie nécessite de délivrer une dose précise au niveau de la tumeur et une bonne connaissance de la dose dans les zones avoisinantes. Ce calcul de dose, réalisé par des systèmes de planification, exige des outils précis et rapides. Aujourd'hui, avec l'évolution des techniques et des stratégies de traitement, d'autres aspects comme le diagnostic précis de la tumeur, le positionnement du patient, la gestion des mouvements de certaines parties du corps ou encore la simulation et le contrôle du traitement, ont pris une importance capitale dans la planification des traitements [5].

III.1 Définition de la radiothérapie

La radiothérapie est un des traitements du cancer. Elle consiste à exposer les cellules cancéreuses d'une tumeur à des rayonnements (on dit aussi rayons ou radiations) qui empêchent la multiplication des cellules malades et entraînent leur destruction. Ces rayonnements sont produits soit par des accélérateurs de particules, soit par des sources radioactives. C'est ce qu'on appelle « l'irradiation » de la tumeur.

La radiothérapie est un traitement fréquent du cancer, mais pas systématique. Son indication dépend de la localisation du cancer, de son stade d'évolution et de l'état général de la personne malade. La radiothérapie peut être associée à d'autres traitements du cancer, comme la chirurgie et la chimiothérapie. Là encore, l'ordre dans lequel se déroulent les différents traitements dépend du type de cancer et de son évolution.

Il existe deux types de radiothérapie : La radiothérapie interne et la radiothérapie externe [26].

III.1.1 La radiothérapie interne ou La curiethérapie

Est une technique de radiothérapie utilisant des rayons gamma ou beta.

La curiethérapie consiste à introduire la substance radioactive (de l'iridium ou du césium) dans le corps en les plaçant dans un espace creux naturel, dans la tumeur elle-même ou à proximité immédiate. En fonction de la situation, elle est employée seule ou en combinaison avec une radiothérapie externe. Seuls certains centres spécialisés peuvent l'effectuer. Les techniques varient en fonction de la nature et de la localisation de la tumeur [15].

III.1.2 La radiothérapie externe

La radiothérapie externe est la plus fréquente. La source de rayonnement est à l'extérieur du patient. Elle consiste à administrer les rayons à travers la peau et les tissus pour irradier toute

la région touchée par la tumeur ainsi qu'éventuellement les ganglions lymphatiques les plus proches.

La radiothérapie externe utilise un flux de photons suffisamment énergétiques pour interagir avec les atomes et éjecter les électrons de leur orbite. Ces derniers « voyagent » dans le tissu et déposent leur énergie. Les ionisations et l'énergie absorbée provoquent des dégâts dans les cellules (au niveau de l'ADN entre autres). 2 Gy représente une dose de rayonnement quotidienne qui est généralement tolérée par les cellules saines. On exploite cette particularité pour la radiothérapie externe par fractionnement. Par exemple, une dose totale de 60 Gy peut être délivrée par fractions de 2 Gy en 30 jours de traitement. Pour chaque traitement, la dose prescrite et son fractionnement dépendent donc de la localisation et de la nature de la maladie [6].

III.2 Techniques de traitement de radiothérapie

III.2.1 Radiothérapie conformationnelle

Le terme « conformationnelle » signifie « proche de la forme ou de la configuration d'une structure ». La radiothérapie conformationnelle 3D est une irradiation transcutanée dans laquelle le volume traité est adapté au volume cible reconstruit en 3 dimensions. L'objectif de cette technique de radiothérapie est de diminuer la dose délivrée aux tissus sains entourant la tumeur, d'augmenter la dose dans la tumeur et d'obtenir un meilleur contrôle local, donc un accroissement de la survie des patients . À l'heure actuelle, la mise en œuvre de cette technique fait appel à :

- Des moyens assurant la reproductibilité du traitement (immobilisation du patient, contention...);
- Une imagerie tridimensionnelle de la totalité des volumes irradiés (scanographie éventuellement complétée par l'IRM, la TEP, et la fusion d'images...);
- Une délinéation des volumes cibles et des organes critiques auxquels sont appliquées des marges de sécurité adaptées ;
- Une balistique et une collimation personnalisée des faisceaux (caches personnalisés, collimateurs mutilâmes) déterminées à partir d'un calcul tridimensionnel de la distribution de doses dans les différents volumes (GTV, CTV, PTV, organes à risques) ;
- Un contrôle de la reproductibilité du traitement (imagerie portale, gammagraphie) [27].

III.2.2 La radiothérapie conformationnelle à modulation d'intensité

Le concept du modelage de la distribution de dose par modification de la fluence, décrit précédemment, va encore plus loin lors d'un traitement IMRT (Intensity Modulated Radiotherapy ou Radiothérapie Conformationnelle à Modulation d'Intensité, RCMI), dans le but

de perfectionner la couverture du volume cible et la conformité de la distribution de dose, d'augmenter la quantité de dose délivrée au volume cible et réduire l'exposition aux tissus sains. La carte de fluence de chaque faisceau est segmentée en bixels. Puis, un poids (intensité) est attribué à chaque bixel, en fonction des critères, afin d'obtenir la distribution de dose optimale, comme il est illustré sur la **figure (III.1)**. Les fluences obtenues sont alors non-uniformes et souvent très complexes.

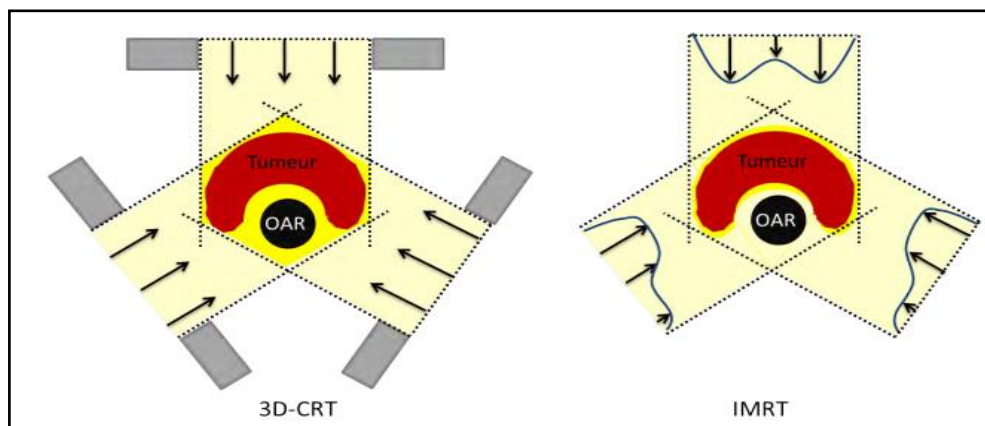


Figure (III.1): Illustration des effets de la modulation de l'intensité sur la distribution de dose et la protection des OAR [18].

La préparation du traitement IMRT se fait par planification inverse. Tout d'abord, des objectifs sont fixés, en termes de dose aux OAR et au volume cible ou d'histogrammes dose-volume. Puis un algorithme d'optimisation informatisé détermine de manière itérative les paramètres géométriques (nombre de faisceaux, position des lames, ...) et dosimétriques (nombre d'unités moniteur) nécessaires pour obtenir le résultat désiré. La modulation obtenue est échantillonnée dans des segments. Ces segments peuvent être si petits que leur irradiation peut se faire sans interruption de la trajectoire des lames [18].

III.3 Les équipements en radiothérapie

III.3.1 Imagerie médicale

III.3.1.1 Le scanner

Différentes appellations : Tomodensitomètre, TDM, Scan, Scanner, CT, CT Scan.

Les tomodensitomètres dédiés à la simulation et à la planification du traitement de radiothérapie sont connus sous le nom de simulateurs CT.

Le Scanner est une imagerie tomographique basé sur l'utilisation des coefficients d'absorption X du corps humain. L'appareil de tomodensitométrie est constitué d'un anneau qui contient un tube à rayons X ainsi qu'un ensemble de détecteurs. Avec la tomodensitométrie axiale, c'est le faisceau de rayons X qui tourne autour du patient et le patient doit rester allongé,

immobile sur la table. Les détecteurs à rayons X constituent l'équivalent du film radiologique : ce sont eux qui recueillent les caractéristiques du faisceau de rayons X qui a traversé le corps du patient.

Ces informations sont analysées par un ordinateur et permettent de créer des images correspondant à des tranches successives de la région étudiée. Ces tranches successives s'appellent coupes axiales ou transverses. C'est le mouvement lent de la table à travers l'anneau qui permet l'acquisition des coupes axiales de toute une région, avec l'appareil de tomodensitométrie, les organes peuvent être étudiés individuellement.

De plus, grâce aux données stockées dans l'ordinateur, on peut reconstruire des images dans un autre plan (sagittal ou coronal) et manipuler les données pour obtenir une vision différente d'un même organe [14].



Figure (III. 2) : Tomodensitométrie [14].

Le scanner est un examen non seulement très utile pour le repérage de la cible mais surtout indispensable pour la radiothérapie car c'est lui qui permet d'obtenir l'information nécessaire pour simuler le dépôt d'énergie des rayonnements dans le patient [5].

III.3.2 Machines de traitement

III.3.2.1 L'accélérateur linéaire

Un accélérateur linéaire est un dispositif permettant d'accélérer des particules chargées afin de leur fournir une énergie cinétique importante dans le but de produire des réactions avec la matière. Les particules accélérées peuvent être des électrons, des protons, ou bien des ions lourds. La particularité de ce type d'accélérateur de particules est la méthode d'accélération des particules chargée, via un champ électrique local ou non et en ligne droite.

Les accélérateurs utilisés pour le traitement des cancers par radiothérapie sont des accélérateurs linéaires d'électrons émettant des rayonnements ionisants d'une énergie Supérieure au méga électronvolt (MeV).

Les électrons accélérés peuvent être directement utilisés pour le traitement des tumeurs superficielles ou semi profondes (cancers de la peau, paroi thoracique après mastectomie, etc.)

ou bien interagir avec un matériau de Haute densité pour produire principalement par rayonnement de freinage des rayons X de Hautes énergies de (4 à 25 MV) pour le traitement des tumeurs profondes (cancers de la prostate, du poumon,... etc.) [18].

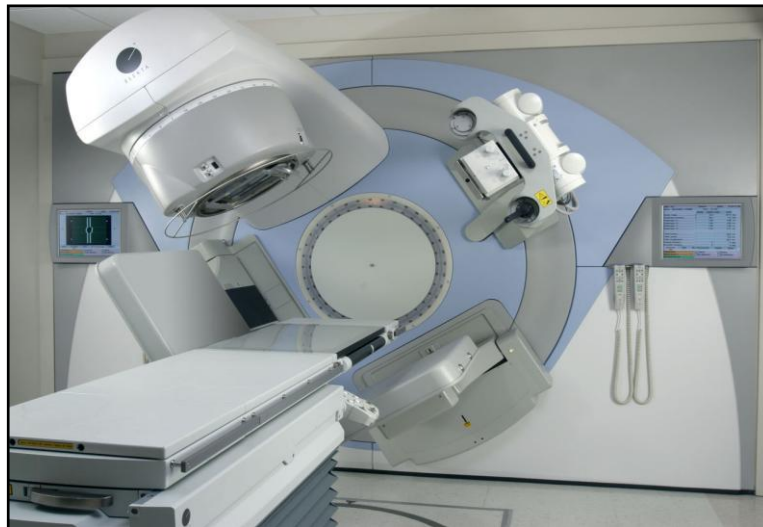


Figure (III. 3): Schéma d'un accélérateur [18]

III.4. Chaîne de traitement en radiothérapie

Le traitement du cancer comprend plusieurs étapes constituant cette chaîne du traitement. Ces étapes sont : la consultation, la simulation, la planification et le traitement. Avec toujours un contrôle de qualité et une consultation médicale régulière.

III.4.1 La consultation

Cette étape se fait avec l'oncologue radiothérapeute pour expliquer les modalités précises du traitement, les bénéfices attendus, les éventuels effets secondaires, les différentes précautions à prendre pendant le traitement, le déroulement de traitement et répondre aux questions.

Le dossier du patient comprend habituellement :

- ✓ **Observation médicale:**
 - Interrogatoire :
 - Antécédents médicaux, comorbidités
 - Habitudes (alcool, tabac...)
 - Histoire de la maladie
 - Traitements en cours.
 - Examen clinique complet, avec notamment un examen au spéculum et touchers pelviens (examen sous anesthésie générale si nécessaire).
- ✓ **Les comptes rendus du bilan d'imagerie** permettant de mieux préciser l'extension loco-régionale et métastatique (scanographie, IRM permettant la discrimination entre la tumeur et les

tissus sains environnants lorsque la lésion est localisée au col, PET scanographe...). Ces données doivent être récentes.

- ✓ **Bilan biologique récent.**
- ✓ **Le compte rendu anatomopathologique** des prélèvements biopsiques de la tumeur et, en cas de chirurgie, le compte rendu de l'intervention chirurgicale assorti du compte rendu anatomopathologique.
- ✓ **Le stade FIGO et TNM UICC**, avec description de l'extension tumorale et ganglionnaire, si possible avec un schéma daté [18].

III.4.2 La simulation

L'étape de simulation est réalisée avec les manipulateurs et le médecin. Cette étape consiste à positionner le malade dans une salle où se situe un appareil de radiodiagnostic spécialisé, appelé simulateur. Avec cet appareil, la région du corps à traiter et les régions de voisinage qu'il faut protéger seront déterminées. Les repères sont dessinés sur la peau du patient avec une teinture spéciale. Il est souvent nécessaire de procéder à un examen au CT-scanner ou PET-CT afin de déterminer, avec d'avantage de précision, la région à traiter. Lors de cet examen, on prend des clichés extrêmement précis de la région à traiter, dans une position identique à celle du traitement.

Il est important de garder jusqu'à la première séance de traitement, le marquage au feutre réalisé sur la peau et qui délimite la zone à traiter. Parfois ce traçage ne se fait pas sur la peau mais sur les moyens de contention appelés masques qui sont utilisés dans certaines localisations (tête et cou) pour éviter au patient de bouger et permettre de garder toujours la même position [18].



Figure (III.4) : Patient en position de traitement au scanner-simulateur [27].

L'oncologue radiothérapeute qui prend en charge et informe le patient met en œuvre cette radiothérapie : il assure la définition des volumes d'intérêt, la prescription des doses, coordonne

et dirige l'ensemble du traitement en liaison avec le radiophysicien et les autres membres de l'équipe soignante de radiothérapie [5].

III.4.3 Planification de traitement

La préparation du traitement est donc réalisée grâce à un système de planification de Traitement TPS pour déterminer la distribution de dose dans la tumeur et les zones avoisinantes. Cette distribution de dose doit être optimum de manière à ce que les tissus normaux autour reçoivent le minimum de dose. Ils intègrent quasiment tous des algorithmes de calcul de la distribution de dose, des outils de traitements des images médicales et de "contourage" de tumeur. Trois points fondamentaux sont nécessaires pour une planification précise :

- L'utilisation d'image scannée de qualité reproduisant de manière fiable le patient en position de traitement, pour l'identification des structures tumorales et des organes à risque. Ce type d'imagerie, grâce à des techniques de recalage d'images.
- Combiné à d'autres modalités comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM) ou l'imagerie TEP (Tomographie par Emission de Positons).
- Le calcul de dose en fonction des paramètres physiques et géométriques de l'appareil de traitement et du patient [18].

III.4.3.1 Choix des volumes et des doses

III.4.3.1. a Définition des volumes à irradier

La définition du volume est une condition préalable à la planification d'un traitement 3D significatif et à un rapport de dose précis. Les rapports 50 et 62 de l'ICRU définissent et décrivent plusieurs volumes de structures cibles et critiques qui facilitent le processus de planification du traitement et fournissent une base pour la comparaison des résultats du traitement. Les volumes suivants ont été définis comme principaux volumes liés à la planification du traitement 3D: volume tumoral brut (GTV), volume cible clinique (CTV), volume cible interne (ITV) et volume cible de planification (PTV). (**Figure III. 5**) montre comment les différents volumes sont liés les uns aux autres [26].

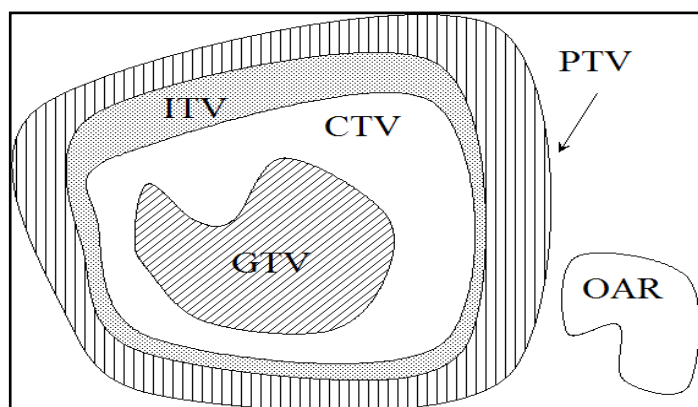


Figure (III.5): Représentation graphique des volumes d'intérêt, tels que définis par les rapports 50 et 62 de l'ICRU [4].

- **Le volume cible macroscopique (GTV) [20] :** Le GTV est généralement basé sur des informations obtenues à partir d'une combinaison de modalités d'imagerie (scanner, IRM, échographie, etc.), de modalités diagnostiques (rapports pathologiques et histologiques, etc.) et d'un examen clinique.

GTVT = tumeur primitive définie par l'examen clinique et l'IRM

GTVN = basé sur TDM, IRM ou au mieux PET Scan au FDG [18].

- **Le volume cible anatomo-clinique (CTV) [14] :** comprend le col et le corps de l'utérus, les paramètres en totalité, les annexes, ainsi qu'une partie du vagin définie en fonction de l'atteinte macroscopique de la maladie. Si le vagin n'est pas atteint, le CTV comprend uniquement le tiers supérieur du vagin. En cas d'atteinte vaginale, la totalité du vagin est incluse. Toutes les aires ganglionnaires pelviennes sont incluses depuis la bifurcation iliaque commune ; l'aire lombo-aortique ne le sera uniquement qu'en cas d'envahissement avéré, détecté par l'imagerie ou par le curage et l'aire inguinale uniquement si le 1/3 inférieur du vagin est atteint, ou en cas d'atteinte avérée à son niveau. En situation post opératoire, le CTV inclut le 1/3 supérieur du vagin, les tissus graisseux jusqu'à la paroi pelvienne, les aires ganglionnaires pelviennes voir lombo-aortique si le curage à ce niveau est positif.
- **Le volume cible prévisionnel (PTV) [14] :** prend en compte l'amplitude des mouvements potentiels de l'utérus liés au degré de remplissage de la vessie et du rectum et des erreurs de repositionnement de la patiente sur la table de traitement (**Figure III. 13**). Le col et le corps de l'utérus étant extrêmement mobiles, une marge d'au moins 1 cm est préconisée dans toutes les directions, voir plus en antéro-postérieur. Des équipes

proposent également de décomposer cette marge en ITV (internal target volume, liée aux mouvements du CTV) et PTV (incertitudes de repositionnement).

PTV : les marges de sécurité intègrent les données précédentes et l'incertitude de positionnement du patient et de la prostate dont l'estimation tient compte des moyens mis en place pour les réduire [5].

L'**ITV** est alors idéalement défini sur plusieurs examens de repérage, réalisés dans des conditions différentes (vessie pleine puis vide par exemple) [14].

III.4.3.1. b Détermination des organes à risque (OAR) et leurs contraintes de dose

Ces niveaux de dose peuvent éventuellement être dépassés sous réserve d'une justification liée au contrôle local et à la survie de la patiente, après information et accord de celle-ci. Ils doivent être appliqués en intégrant les comorbidités présentées par la patiente et les traitements associés qui peuvent majorer le risque de complication, notamment la curiethérapie. En cas d'irradiation pelvienne, sont considérés comme organes à risque le rectum, le colon sigmoïde, la vessie, les têtes fémorales et l'intestin grêle, dont les modalités de délinéation ne sont pas consensuelle (cavité péritonéale, sac ou anses) [14].

Rectum [5] : segment d'intestin qui va du canal anal (exclu) à la jonction rectosigmoïdienne située à la verticale du promontoire mesurant en moyenne 15cm de long. Par convention, c'est la paroi rectale, mesurant 5mm d'épaisseur, qui est contourée et son volume qui est pris en compte pour déterminer les contraintes de doses.

$V74 \leq 5\%$; $V70 \leq 25\%$; $V60 \leq 50\%$

Dose maximale de 60 Gy au niveau de la totalité de la circonférence rectale (cancer de prostate).

Dose maximale de 25-30 Gy au niveau de la paroi postérieure du rectum pour tenir compte de la contribution ultérieure de la curiethérapie gynécologique si celle-ci doit être réalisée. Ces contraintes de dose totale doivent tenir compte d'une curiethérapie associée (cancer de col du l'utérus).

Vessie : c'est la paroi vésicale, mesurant 7mm d'épaisseur, qui est contourée et son volume qui est pris en compte pour déterminer les contraintes de doses.

$V70 \leq 25\%$; $V60 \leq 50\%$

Le traitement « vessie pleine » est un des moyens efficaces pour exclure une grande partie du volume vésical des champs latéraux.

Canal anal : organe à contourer et dose à documenter.

Têtes, cols fémoraux et grands trochanters : la dose de 50Gy ne doit pas être délivrée dans plus de 10% d'un volume osseux contourné par convention du sommet des têtes fémorales au petit trochanter exclu: $V_{50} \leq 10\%$

III.4.4 Le traitement

Cette étape consiste à repositionner le patient comme le jour de la simulation **figure (I. 4)**. Des contrôles de positionnement sont réalisés régulièrement avec une imagerie portale avant le traitement pour assurer la qualité de l'irradiation [7]. Une fois le patient installé, il ne doit plus bouger pour ne pas que le rayonnement soit délivré à côté de la zone repérée. Pendant le traitement le patient est seul dans la salle, surveillé depuis l'extérieur par un système vidéo.

L'appareil tourne autour de lui, guidé depuis l'extérieur [16].

III.4.5 Compte rendu de fin de traitement

Consultation de fin de traitement par l'oncologue radiothérapeute comprenant :

- Rédaction du compte rendu d'irradiation : date de début et de fin de la radiothérapie, procédure réalisée et l'identification de l'appareil, la dose délivrée aux différents volumes cibles (fractionnement- tement) ainsi qu'aux OAR concernés par l'irradiation.
- Ajustement et enregistrement des prises médicamenteuses.
- Prévision des consultations post-thérapeutiques de surveillance.

III.5. Rôle du physicien médical

Le rôle du physicien médical est primordial dans un service de radiothérapie ; il est chargé de concevoir, préparer et mettre en œuvre :

- Des études dosimétriques (Garantir, en radiothérapie, que la dose de rayonnements reçue par les OAR et volume cible correspond à celle prescrite par le médecin).
- Des procédures de suivi technique des appareils utilisant les radiations ionisantes, en radiothérapie et curiethérapie (Contrôle des performances des installations, des appareils de mesure et de calcul).
- Contrôle du recueil et de l'exploitation des données nécessaires à la réalisation des traitements [19].

Conclusion

Jusqu'à nos jours, l'utilisation des rayonnements ionisants en radiothérapie a prouvé son efficacité dans le traitement de cancer de col du l'utérus et cancer de prostate. La maîtrise de plus en plus affinée des calculs de dose dans les tumeurs et dans les organes voisins et la simulation complète des traitements ont considérablement augmenté le succès de ces traitements. Toutefois, pour certains cas bien spécifiques en radiothérapie et curiethérapie (variation rapide de dose, interface...) les systèmes de planification de traitement existant restent limités dans la précision du calcul de la distribution de dose.

Chapitre IV

***Comparaison de deux types de
cancer en radiothérapie
externe: cancer du col utérin
et cancer de la prostate***

Introduction

Ce chapitre est consacré à l'exploitation de données de dossiers de patients traités au niveau de services de radiothérapie afin d'en extraire des informations dosimétriques à comparer entre eux et à des normes publiées dans la littérature internationale.

IV.1 Matériel et méthode

Le cancer du col et le cancer de la prostate sont deux la plupart des cas traités par radiothérapie. Dans de nombreuses sections en Algérie, la radiothérapie conformationnelle est souvent la technique standard de traitement en radiothérapie, mais l'IMRT thérapie est entrain de se faire une place importante du fait de la possibilité d'augmenter potentiellement la dose prescrite tout en limitant la dose aux organes à risque.

Les cas de cancer ont été comparés à une série de patients traités pour un cancer du col de l'utérus ou de la prostate en fonction de critères de distribution de la dose et de qualité de délivrance des plans.

IV. 2 Acquisition des données anatomique

Notre étude a été réalisée sur une série de quatre patients ayant déjà été traités pour un cancer du col utérin avec une dose de 66 Gy et un cancer la prostate avec une dose de 74Gy en radiothérapie conformationnelle.

Le patient a été placé en décubitus dorsal avec une contention standard immobilisant les jambes et les pieds. Un produit de contraste iodé a été injecté au patient pour opacifier la vessie afin de facilité sa délinéation.

Les cas du cancer de la prostate ont été traités au niveau du CAC de Constantine, alors que pour le cancer du col de l'utérus l'origine de nos dossiers est le CAC de Ouargla.

IV.3 Planification du traitement

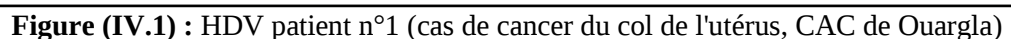
Les données anatomiques du patient ont été transférées du simulateur sur une console de contourage, où les volumes d'intérêt ont pu être déterminés. Les volumes cibles et les organes à risque ont été définis en suivant les recommandations du rapport 62 de l'International Commission on Radiation Units and Measurments (ICRU) et du Groupe d'Etude des Tumeurs Urogénitales (GETUG).

Les organes à risque regroupent les têtes et cols fémoraux, la paroi rectale et la paroi vésicale, lesquelles sont des organes communs aux deux sexes.

La chaîne de planification ayant été appliquée aux cas cliniques que nous avons :

Les résultats obtenues se présentent sous forme de graphe HDV, dans lesquels on peut extraire toutes les informations concernant la distribution des doses par volume cible.

Cas N° 1



	Volume (cm^3)	Dose _{Min} [%]	Dose _{Max} [%]	Dose _{moy} [%]
PTV 66	341.4	84.4	103.8	100.6
TF DT	101.3	6.7	52.7	39.0
TF GH	106.2	11.2	51.4	43.2
RECTUM	114.3	63.8	103.6	85.8

Cas N° 2



Figure (IV.2) : HDV patient n°2 (cas de cancer du col de l'utérus, CAC Ouargla)

Tableau (IV.2) : HDV patient n°2 (cas de cancer du col de l'utérus, CAC Ouargla)

	Volume (cm^3)	Dose Min Gy	Dose Max Gy	Dose moy Gy
PTV 66	302.7	56.8	66.9	65.4
TF DT	191.7	1.8	59.7	20.5
TF GH	201.1	5.2	58.3	22.5
RECTUM	95.5	24.7	66.7	57.6

Tableau (IV.3) : Comparaison entre les doses moyennes des deux cas du col de l'utérus : PTV et aux organes à risque.

		Cas 1	Cas 2
Dose moyenne Gy	PTV 66	100.6	65.4
	TF (tête fémorale) DT	39.0	20.5
	TF (tête fémorale) GH	43.2	22.5
	RECTUM	85.8	57.6

Tableau (IV.4) : Comparaison entre les doses Max des deux cas du col de l'utérus : PTV et aux organes à risque.

		Cas 1	Cas 2
Dose _{Max} Gy	PTV 66	103.8	66.9
	TF (tête fémorale) DT	52.7	59.7
	TF (tête fémorale) GH	51.4	58.3
	Rectum	103.6	66.7

Remarque:

Nous notons la différence entre les doses reçues chez les PTV et les organes à risques, bien que nous ayons le même type de cancer du col utérin en raison de la différence de localisation et de taille de la tumeur.

IV.4.2 Cas du cancer de la prostate

Cas N° 3

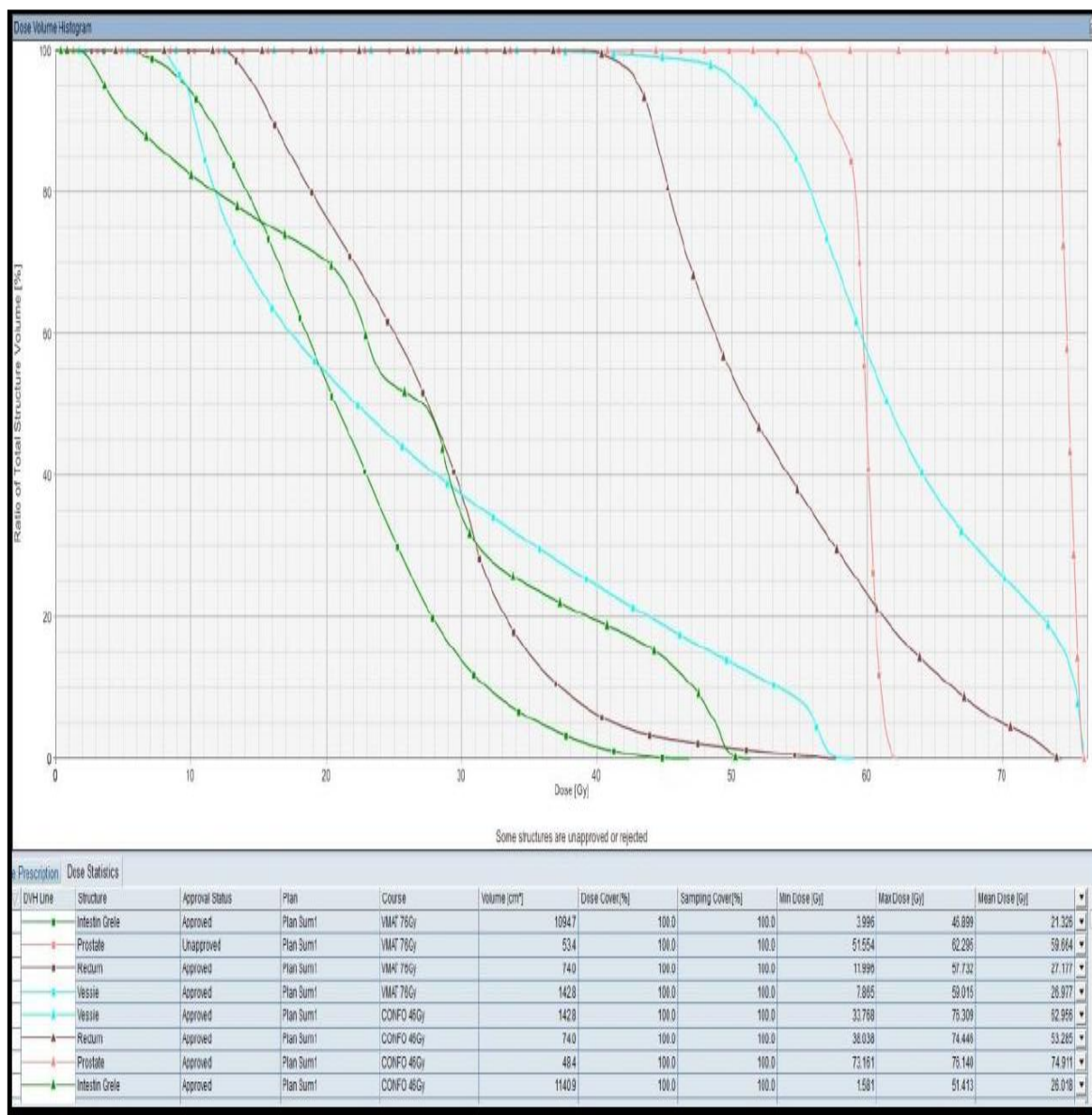


Figure (IV.3) : HDV patient n°1(cas de cancer de la prostate, CAC Constantine)

Tableau (IV5.) : HDV patient n°1(cas de cancer de la prostate, CAC Constantine)

	Volume (cm^3)	Dose Min Gy	Dose Max Gy	Dose Mean Gy
Vessie	142.8	33.768	76.309	52.956
Rectum	74.0	38.038	74.446	53.285
Prostate	48.4	73.161	76.140	74.911
Intestin Grêle	1140.9	1.581	51.413	26.018

Cas N° 4

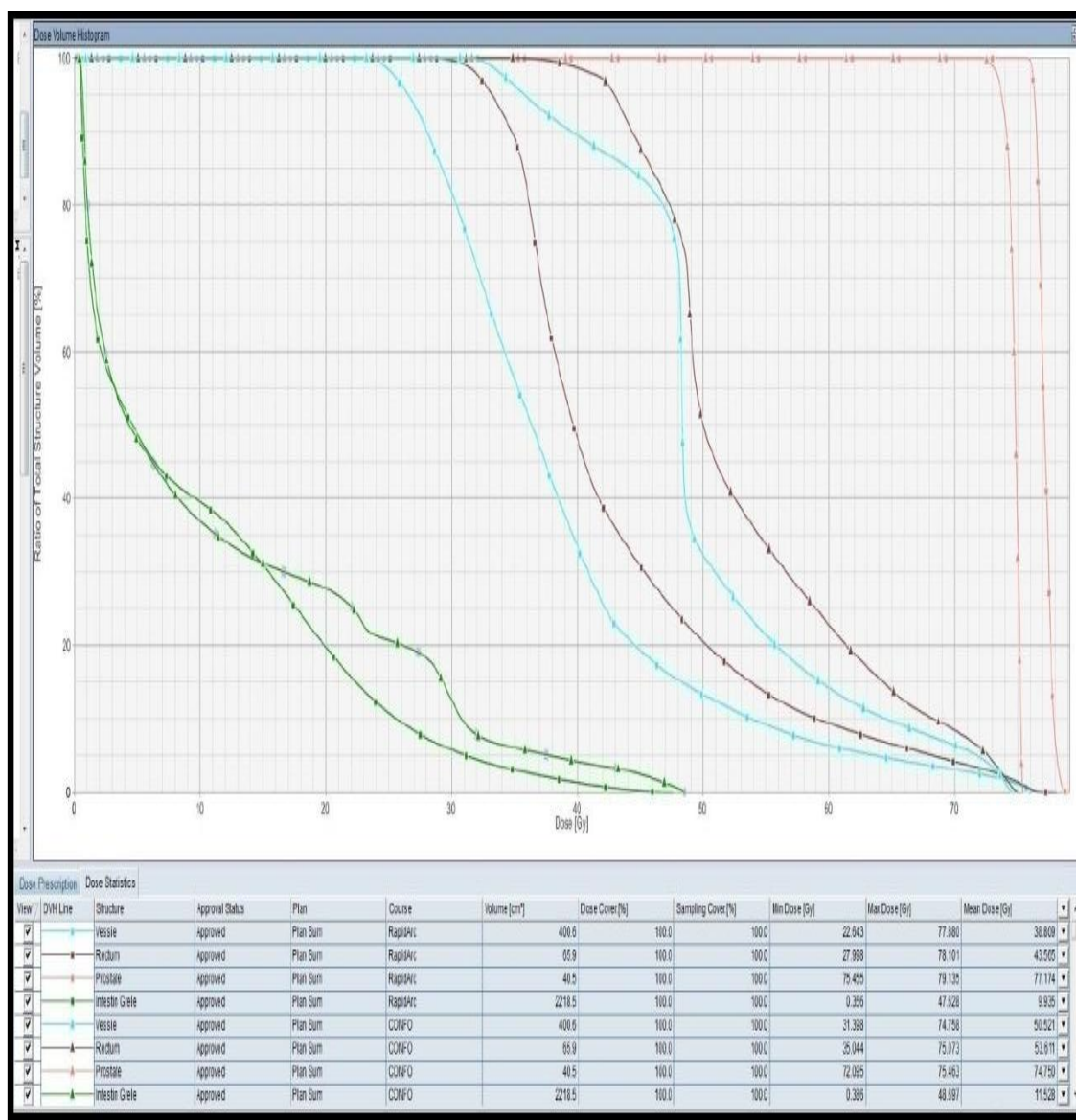


Figure (IV.4) : HDV patient n°2 (cas de cancer de la prostate, CAC Constantine)

Tableau (IV6.): HDV patient n°2 (cas de cancer de la prostate, CAC Constantine)

	Volume (cm ³)	Dose Min Gy	Dose Max Gy	Dose Mean Gy
Vessie	400.6	31.398	74.758	50.521
Rectum	65.9	35.044	75.073	53.611
Prostate	40.5	72.095	75.463	74.750
Intestin Grêle	2218.5	0.386	48.697	11.528

Cas N° 5

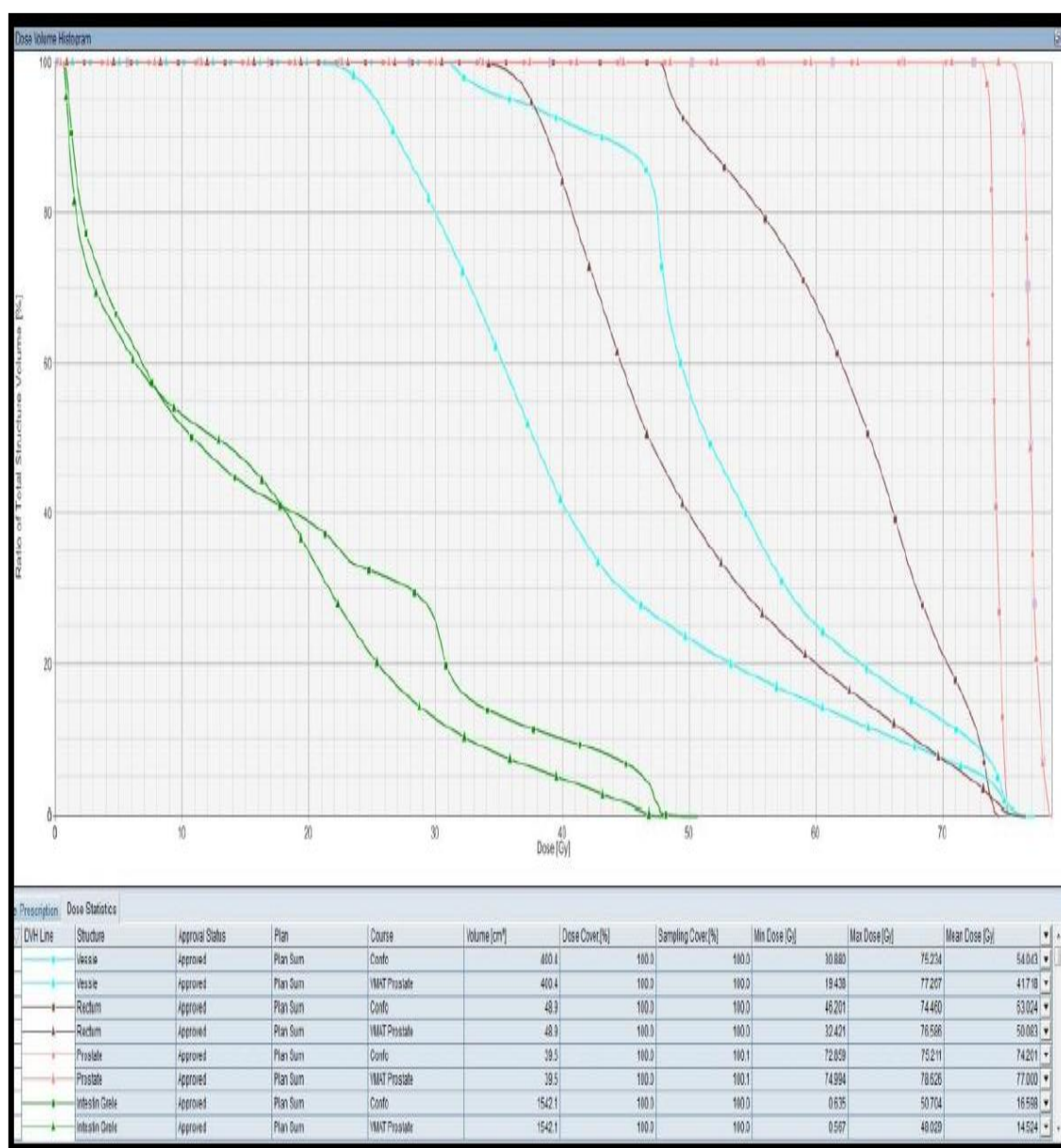


Figure (IV.5) : HDV patient n°3 (cas de cancer de la prostate, CAC Constantine)

Tableau (IV.7) : HDV patient n°3 (cas de cancer de la prostate, CAC Constantine)

	Volume (cm ³)	Dose _{Min} Gy	Dose _{Max} Gy	Dose _{Mean} Gy
Vessie	400.4	30.880	75.234	54.043
Rectum	48.9	46. 201	74.460	63.024
Prostate	39.5	72.859	75.211	74.201
Intestin Grêle	1542.1	0.635	50.704	16.598

Cas N° 6

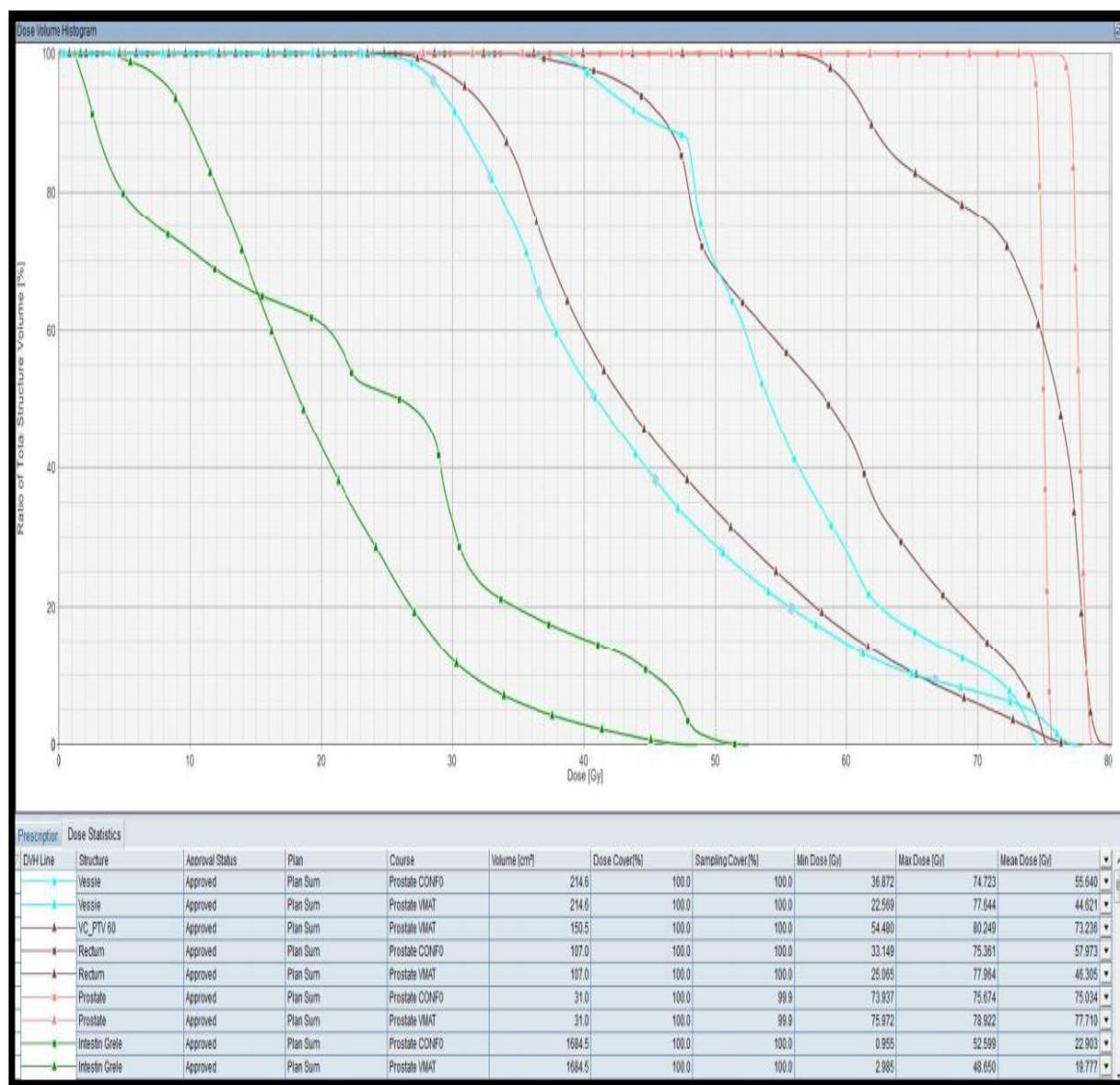


Figure (IV.6) : HDV patient n°4 (cas de cancer de la prostate, CAC Constantine)

Tableau (IV.8) : HDV patient n°4 (cas de cancer de la prostate, CAC Constantine)

	Volume (cm^3)	Dose _{Min} Gy	Dose _{Max} Gy	Dose _{Mean} Gy
Vessie	240.6	36.872	74.723	55.640
Rectum	107.0	33.149	75.361	57.973
Prostate	31.0	73.937	75.674	75.034
Intestin Grêle	1684.5	0.955	52.599	22.903

Tableau (IV.9) : Comparaison entre les doses moyennes des quatre cas de la prostate : PTV et aux organes à risque.

		Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
Dose moyenne Gy	Vessie	52.956	50.521	54.043	55.640
	Rectum	53.285	53.611	63.024	57.973
	Prostate	74.911	74.750	74.201	75.034
	Intestin Grêle	26.018	11.528	16.598	22.903

Tableau (IV.10) : Comparaison entre les doses maximale des quatre cas de la prostate : PTV et aux organes à risque.

		Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
Dose Max Gy	Vessie	76.309	74.758	75.234	74.723
	Rectum	74.446	75.073	74.460	75.361
	Prostate	76.140	75.463	75.211	75.674
	Intestin Grêle	51.413	48.697	50.704	52.599

Tableau (IV.11) : Comparaison entre les doses moyennes pour tout les cas : PTV et aux organes à risque

	Dose moyenne Gy					
	L'homme				La femme	
	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 1	Cas 2
Prostate	74.911	74.750	74.201	75.034		
Col					100.6	65.4
Vessie	52.956	50.521	54.043	55.640		
Rectum	53.285	53.611	63.024	57.973	85.8	57.6
Intestin	26.018	11.528	16.598	22.903		
TF DT					39.0	20.5
TF GH					43.2	22.5

Tableau (IV.12) : Comparaison entre les doses Max pour tout les cas : PTV et aux organes à risque

	Dose Max Gy					
	L'homme				La femme	
	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 1	Cas 2
Prostate	76.140	75.463	75.211	75.674		
Col					103.8	66.9
Vessie	76.309	74.758	75.234	74.723		
Rectum	74.446	75.073	74.460	75.361	103.6	66.7
Intestin	51.413	48.697	50.704	52.599		
TF DT					52.7	59.7
TF GH					103.6	66.7

Dose de tolérance en pratique clinique :

Ces niveaux de dose peuvent éventuellement être dépassés sous réserve d'une justification liée au contrôle local et à la survie du patient, après information et accord de celui-ci.

Ces dépassements sont notamment possibles lorsqu'ils concernent des organes à risque dont les lésions radiques n'ont pas de conséquences vitales. [18]

Contraintes de dose par organe à risque, Normes internationales AIEA (Agence Internationale de l'Energie Atomique)

Tableau (IV.13) : Contraintes de dose par organe à risque.

Organe sain (organe à risque)	Dose de tolérance
Parotide controlatérale	$V_{26} \leq 50\%$. [18]
Tronc cérébral	D_{max} <50 Gy. [18]
Articulation temporo-mandibulaire, notamment controlatérale	D_{max} <65 Gy. [18]
Moelle épinière	D_{max} <45 Gy. [18]
Larynx	D_{max} <20 Gy. [18]
Chiasma	D_{max} <54 Gy. [18]
Conduit auditif, oreille moyenne et interne	D_{max} <55 Gy. [18]
Œil	D_{moy} ≤ 35 Gy. [18]

Poumon sain	$V20 \leq 35 \%$ $V30 \leq 20 \%$. [18]
Plexus brachial	Dmax <55 Gy. [18]
Œsophage	Dmax <40 Gy sur une hauteur de 15 cm. [18]
Foie	$V30 \leq 50\%$. [18]
Cœur	Dmax <35 Gy dans l'ensemble du cœur. [18]
Rein	Dmax <20 Gy. [18]
Intestin grêle	Dmax <50 Gy. [18]
Estomac, duodénum	Dmax <45 Gy. [18]
Vessie	$V60 \leq 50\%$ $V70 \leq 25\%$. [18]
Cols, têtes fémorales, grand trochanter	$V 50 \leq 10 \%$. [18]
Rectum (paroi rectale)	$V60 \leq 50 \%$ $V70 \leq 25 \%$ $V74 \leq 5 \%$. [18]
Bulbe pénien	Dmoy $\leq 52,5$ Gy. [31]
Utérus	Dmax < 45 Gy. [31]
Thyroïde	Dmoy < 30 Gy. [31]
Sein	Dmax : 50 à 54 Gy. [31]
Canal anal	Dmoy < 40–45 Gy. [31]
Cochlée	Dmoy $\leq 40\text{--}45$ Gy. [31]
Nerf optique	D25 % < 60 Gy. [31]
Cristallin	Dmax = 30–50 Gy. [31]
Plexus lombosacré	Dmax ≤ 50 Gy. [31]
Endomètre	Dmax : 45 à 50,4 Gy. [18]
Prostate	Dmax : 70 à 80 Gy. [18]
Testicule	Dmax : 20 à 36 Gy. [18]
Cerveau	D33 % < 72 Gy. [31]

En comparant les doses cliniques récoltées plus haut, on remarque qu'elles respectent les normes internationales données ici dans le **tableau (IV.13)**.

Conclusion

La comparaison est faite pour 2 situations différentes:

- 1) Comparaison dosimétrique entre des cas de cancer de même type pour les mêmes organes.

On conclue que pour les mêmes organes, les doses reçues sont différents d'un cas à l'autre, bien que la tumeur soit du même type. Ceci est à plusieurs paramètres, principalement:

- La localisation de la tumeur.
- La taille de la tumeur.
- La forme de la tumeur.
- La qualité de l'image utilisée par chacun des patients.

Quant aux doses reçues par le rectum, la différence est importante entre le cas des Hommes et des Femmes et le paramètre principal et dominant est la différence anatomique existant entre les deux sexes.

- 2) Comparaison dosimétrique entre des cas de cancers de types différents pour des organes communs.

Comparaison cancers : Homme – Femme (prostate – col utérin) les doses sont différents pour les organes communs (Rectum, vessie, intestin).

La raison: les différences anatomiques entre les 2 sexes.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les rayonnements ionisants sont aujourd'hui très utilisés en médecine, soit pour des traitements de cancers (radiothérapie, curiethérapie...) soit pour des diagnostics par imagerie (utilisation des rayons X en radiologie, utilisation des rayons gamma en scintigraphie etc).

Le cancer du col de l'utérus est une maladie des cellules de la muqueuse du col de l'utérus. Dans la très grande majorité des cas, c'est le papillomavirus humain ou HPV, un virus qui se transmet par voie sexuelle, qui est à l'origine de la maladie.

D'autres parts le cancer de la prostate est la deuxième cause de mortalité par cancer chez l'homme. Il est devenu le cancer le plus fréquente chez l'homme dans la grande majorité des pays occidentaux. Son dépistage pourrait bénéficier de l'apport de nouveaux outils, notamment moléculaire. Son étiologie reste largement méconnue. Cependant, la participation de facteurs génétiques, hormonaux et environnementaux est fortement suspectée.

La technique de radiothérapie externe est la plus souvent utilisée pour traiter les cancers du col de l'utérus et les cancers de la prostate, notamment la radiothérapie conformationnelle à trois dimensions (3D), c'est une technique qui permet de cibler, avec une haute précision les cellules cancéreuses tout en épargnant au maximum les OAR.

C'est dans ce contexte, que le but de ce mémoire était de présenter ces deux cancers (étant des cancers très répondus), de voir ce que cela donne en les traitant par radiothérapie externe (en étudiant des cas traités au niveau de services anti-cancéreux algériens, et ensuite de comparer les données dosimétriques récoltées au niveau de ces services aux normes internationales. Conclusion: les normes cliniques récoltées concordent globalement avec les normes internationales.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références

- [1] Dounia Mouhssine. Etude d'une nouvelle génération de dosimètre basée sur les détecteurs photostimulables type bafbr(eu) : Caractérisation et application à la dosimétrie environnementale et personnelle. Thèse de doctorat, Université de Louis Pasteur-Strasbourg, décembre 2004.
- [2] Richard Tascherau, Etude micridosimétrique de l'influence des matériaux sur l'efficacité biologique d'une source d'iode-125, Thèse de Ph. D, Université Laval de Québec, juillet 2001.
- [3] Docteur Bouayad Najoua. Protocole de radiothérapie en cancérologie gynéco-mammaires. Université Sidi Mohammed ben Abdellah. 2016.
- [4] Audrey Dayon, Rôle de la sphingosine kinase-1 dans la survie et la progression des cellules tumorales prostatiques LNCaP vers l'androgéno-indépendance, Thèse de doctorat, Université de Toulouse, juillet 2008.
- [5] Cheick Oumar Thiam, Dosimétrie en radiothérapie et curiethérapie par simulation Monte-Carlo Gate sur grille informatique, Thèse Docteur, Université Blaise Pascal, octobre 2007.
- [6] Jean-Marc Bordy. Optimisation des plans de traitement en radiothérapie grâce aux dernières techniques de calcul de dose rapide. Thèse de Doctorat, Université Paris-Sud, mars 2014.
- [7] Nadia Octave, La radiothérapie adaptative et guidée par imagerie avec la technologie Cone-BeamCT : mise en œuvre en vue du traitement de la prostate, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2015.
- [8] Daniel Blanc, Les rayonnements ionisants : détection, dosimétrie, spectrométrie, livre, décembre 1997.
- [9] Normes Fondamentales internationales de protection contre les rayonnements ionisants et de sûreté des sources de rayonnements, collection Sécurité n° 115, AIEA, livre, Vienne 1997.
- [10] M.A. Misdaq. Introduction à la physique et aux techniques nucléaires, livre, 1991, www.clubnahja.com.
- [11] Guicouterus11, juin 2011 les traitements du cancer invasif du col de l'utérus l'institut national du cancer est l'agence nationale sanitaire et scientifique chargée de coordonner la lutte contre le cancer en France.
- [12] Les cancers du col de l'utérus, 1^{er} tirage : décembre 2013, Fondation ARC.
- [13] Les traitements des cancers de la prostate, octobre 2016, l'institut national du cancer (INCA) est l'agence nationale sanitaire et scientifique chargée de coordonner la lutte contre le cancer en France.
- [14] Tomodensitométrie, centre hospitalier affilié Universitaire de Lévis, 2014.
- [15] La radiothérapie. Informations de la ligue contre le cancer pour les personnes touchées et leurs proches. LSC / 7.2015 / 10 000 f / 2010.

- [16] Fondation cancer , La radiothérapie (brochures pour patients), La société canadienne du cancer, Guide pratique, 2016.
- [17] Romain Natale, 2016 mouvements Utérin en cours de radiothérapie. HAL id: dumas-01297071 <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01297071>.
- [18] La radiothérapie Edité en juin 2007 par L'institut national du cancer en partenariat avec : site internet de la société française de radiothérapie oncologique www.sfro.org.
- [19] Malki Sarra, Bouazza Sarra. Etude dosimétrique dans la technique de traitement mono-Iso centrique dans le cancer du Nasopharynx par la radiothérapie externe et dosimétrie in vivo. Mémoire master, université Abou bekr belkaid – Tlemcen, septembre 2016.
- [20] Semmoud Fatiha, Ghomari Imene, calcul dosimétrique en radiothérapie métabolique des hyperthyroïdies. Mémoire master. Université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen. juillet 2016.
- [21] Boukerdja Layachi , évaluation des doses thérapeutiques en Boroneutrothérapie (BNCT). Mémoire magister. Université FERHAT ABBAS–SETIF UFAS (Algérie). novembre 2007.
- [22] Mahcene Afaf, Nouri Imène, Etude épidémiologique du cancer du col de l'utérus dans l'est algérien. Mémoire master, 2016.
- [23] Boulfhrad Amina, Bouatrous Manel, cancer de la Prostate, Mémoire de master, Université des frères Mentouri Constantine, 06/2017.
- [24] Moqaddem Zakarya, caractérisation Epidémio-génétique de population de Tlemcen par le cancer de la prostate, mémoire de master, université de Tlemcen, 06/2016.
- [25] Belabed Zaket, Bouamama Asma, cancer de la prostate (Etude Epidemiologique), Mémoire de master, Université des frères Mentouri Constantine, 06/2015.
- [26] Benseddik Med el amine, Oumansour Med el Amine, contrôle de qualité des accélérateurs linéaires et des scanners simulateur procédure et application, Mémoire master, 2016.
- [27] Dahi el hadj, Meherchi Lamia, système de double calcul dosimétrique, Mémoire master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen ,2011.
- [28] Gondji Dieu Souffit, Coefficients de dose par inhalation des filles du ^{222}Rn utilisant les modèles dosimétriques et biocinetiques, Mémoire master, University of Yaounde i, 2016-2017.
- [29] Aissani Marwa, Yahouni Imène, dosimétrie des photons de haute énergie, mémoire master, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen, novembre 2011.
- [30] Bendjazia Oumnia Ghadir, Techniques de radiothérapie et de curiethérapie des cancers de la prostate, mémoire de master, université Frères Mentouri, juin 2015.
- [31] G. Noël Et Al, Délinéation Des Organes A Risque Et Contraintes Dosimétriques, 1278-3218/© 2016.

ANNEXE

Annexe 1:

Le tableau N°1: Classification de FIGO 2009 de cancer du col de l'utérus [11]

Classification FIGO 2009

- Stade IA : Tumeur non visible diagnostiquée par histologie
 - o Stade IA1 : Profondeur d'invasion ≤ 3 mm et extension horizontale ≤ 7 mm
 - o Stade IA2 Invasion > 3 mm et < 5 mm, et extension horizontale ≤ 7 mm
- Stade IB : Tumeur clinique ou tumeur $>$ stade IA
 - o Stade IB1 : Diamètre maximal ≤ 4 cm mesuré à l'IRM
 - o Stade IB2 : Diamètre maximal > 4 cm
- Stade II : Invasion en dehors du col mais ne touchant pas la paroi pelvienne ou le tiers inférieur du vagin
 - o Stade IIA : Dôme vaginal (2/3 supérieur) sans extension paramétriale
 - Stade IIA1 ≤ 4 cm
 - Stade IIA2 > 4 cm
 - o Stade IIB : Atteinte paramétriale évident
- Stade III : Invasion du tiers inférieur du vagin et/ou jusqu'à la paroi pelvienne et/ou avec obstruction urétérale
 - o Stade IIIA : Fourreau vaginal (1/3 inférieur)
 - o Stade IIIB : Paramètre jusqu'à la paroi ou obstacle urétéral
- Stade IV : Envahissement des organes de voisinages (vessie, rectum), et métastatique
 - o Stade IVA : Envahissement base vésicale et/ou paroi rectale
 - o Stade IVB : Métastases à distance

Annexe 2

Le tableau N°2: La classification TNM de cancer de prostate

T : Tumeur primitive	
TX	Tumeur primitive non évaluée
T0	Tumeur primitive non retrouvée
T1	Tumeur non palpable au toucher rectal et invisible en imagerie
T1a	- découverte histologique : $\leq 5\%$ du tissu réséqué et score de Gleason ≤ 7
T1b	- découverte histologique : $> 5\%$ du tissu réséqué et/ou score de Gleason > 7
T1c	- tumeur découverte sur une biopsie prostatique en raison d'un PSA élevé
T2	Tumeur palpable au toucher rectal, limitée à la prostate
T2a	- atteinte de la moitié d'un lobe
T2b	- atteinte d'un seul lobe
T2c	- atteinte des deux lobes
T3	Tumeur dépassant la capsule prostatique
T3a	- extension au-delà de la capsule
T3b	- envahissement des vésicules séminales
T4	Tumeur envahissant les organes adjacents (col vésical, sphincter urétral, rectum) ou tumeur fixée à la paroi pelvienne
N : Ganglions régionaux	
NX	Ganglions régionaux non évalués
N0	Absence de métastases ganglionnaires régionales
N1	Atteinte ganglionnaire régionale
M : Métastases à distance	
MX	Métastases à distance non évaluées
M0	Absence de métastases à distance
M1	Métastases à distance
M1a	- ganglions non régionaux
M1b	- os
M1c	- autres sites métastatiques

Annexe 3

Le tableau N°3: Stadification multicritères AJCC du cancer de la prostate (AJCC. 2010)

STADE	TNM	GLEASON	PSA (ng/ml)	Caractéristiques de la tumeur
I	T1 ou T2a-N0-M0	6 ou inférieur	< 10	Localisée avec PSA et Gleason bas
IIA	T1-N0-M0	6 ou < 6	Entre 10 et 20	Localisée avec PSA ou Gleason élevés
		7	< 20	
	T2a ou T2b-N0-M0	7 ou < 7	< 20	
IIB	T2c-N0-M0			Etendue aux 2 lobes mais localisée.
	T1 ou T2-N0-M0	8 ou > 8	> 20	Localisée avec Gleason ou PSA très élevés
3	T3-N0-M0			Extension extra-capsulaire et/ou aux vésicules séminales
4A	T4-N0-M0			Extension aux organes adjacents
4B	tout T-N1-M0			Extension aux ganglions régionaux ou avec métastases à distance
	tout T-tout N-M1			

RESUME

Résumé

La radiothérapie est un traitement locorégional des cancers. Elle consiste à utiliser des rayonnements pour détruire les cellules cancéreuses en bloquant leur capacité à se multiplier.

La technique de radiothérapie externe est la plus souvent utilisée pour traiter les cancers du col de l'utérus et les cancers de la prostate, notamment la radiothérapie conformationnelle à trois dimensions (3D), c'est une technique qui permet de cibler, avec une haute précision les cellules cancéreuses tout en épargnant au maximum les OAR.

On conclue que pour les mêmes organes, les doses reçues sont différents d'un cas à l'autre, bien que la tumeur soit du même type. Ceci est à plusieurs paramètres, principalement:

- La localisation de la tumeur.
- La taille de la tumeur.
- La forme de la tumeur.
- La qualité de l'image utilisée par chacun des patients.

Mots clés : Le col de l'utérus, cancer de la prostate, radiothérapie, radiothérapie conformationnelle, OAR , prostate , col de l'utérus .

Abstract

Radiotherapy is a locoregional treatment of cancers. It involves using radiation to destroy cancer cells by blocking their ability to multiply.

The external radiotherapy technique is most often used to treat cervical and prostate cancers, including three-dimensional (3D) conformational radiotherapy, a technique that allows cancer cells to be targeted with high precision while sparing as much as possible the OAR.

It is concluded that for the same organs, the doses received are different from one case to another, although the tumour is of the same type. This is a multi-parameter system, mainly:

- The location of the tumor.
- The size of the tumor.
- The shape of the tumor.
- The quality of the image used by each patient.

Keywords : Cervical, prostate cancer, radiotherapy, conformational radiotherapy, OAR.

ملخص

العلاج الإشعاعي هو علاج موضعي للسرطانات. وهو يتكون من استخدام الإشعاع لتدمير الخلايا السرطانية عن طريق منع قدرتها على التكاثر. غالبًا ما تستخدم تقنية العلاج الإشعاعي الخارجي لعلاج سرطان عنق الرحم وسرطان البروستاتا ، بما في ذلك العلاج الإشعاعي ثلاثي الأبعاد المطابق ، وهي تقنية تتيح استهدافنا للخلايا السرطانية باستخدام تقنية عالية الدقة مع تجنب أقصى للأعضاء المعرضة للخطر.

ونلاحظ أنه بالنسبة لنفس الأعضاء ، تختلف الجرعات المستلمة من حالة إلى أخرى ، على الرغم من أن الورم من نفس النوع. و هذا يعود الى عدة اسباب أساسية :
موقع الورم - حجم الورم - شكل الورم - جودة الصورة المستخدمة من قبل كل مريض.
الكلمات المفتاحية: سرطان عنق الرحم . سرطان البروستاتا . العلاج الاشعاعي و العلاج الاشعاعي المطابق.
الاعضاء المعرضة للخطر.