



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID - TLEMCCEN

MEMOIRE

Présenté à :

FACULTE DES SCIENCES – DEPARTEMENT DE PHYSIQUE

Pour l'obtention du diplôme de :

MASTER EN PHYSIQUE

Spécialité : Physique Médicale

Par :

**Mme KHECHE Khadidja
& Mme LALLAM fayza**

Sur le thème

Prévention de l'ostéoradionécrose des mâchoires chez les patients soumis à une radiothérapie

Soutenu publiquement le 25 juin 2025 à Tlemcen devant le jury composé de :

Dr TALEB Lotfi	Professeur	Université de Tlemcen	Président(e)
Dr BOUCHAOUR Mama	MCA	Université de Tlemcen	Encadrant(e)
Dr BOUCHIKHI Asma	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur (trice)
Dr MERAD Laarej	Professeur	Université de Tlemcen	Examineur
Dr AZZOUNI Imane	MCA	Université de Tlemcen	Co-encadrant(e)

Année Universitaire : 2024 ~ 2025

Remerciements



Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à nos encadreurs, "**Dr. Bouchaour Mama**" et "**Dr. Azzouni Imane**", pour leur disponibilité, leur patience et leurs conseils précieux tout au long de ce travail.

Leur encadrement rigoureux, leur expertise, ainsi que leur confiance nous ont permis d'approfondir nos connaissances et de mener ce projet à bien dans les meilleures conditions. Leur accompagnement bienveillant a été pour nous une source de motivation constante et un véritable appui scientifique et moral.

Merci de nous avoir guidées avec professionnalisme et générosité tout au long de cette belle aventure académique.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude aux membres du jury : **Dr TALEB Lotfi**, Professeur hospitalo-universitaire, **Dr MERAD Laarej** et **Dr BOUCHIKHI Asma**, Professeurs à l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté de lire et d'évaluer ce mémoire avec attention. Que Dieu les récompense abondamment et inscrive cela parmi leurs bonnes œuvres.

Nous adressons aussi nos sincères remerciements aux responsables de la **Faculté de médecine de Tlemcen**, du **Centre Anti Cancer de Tlemcen** et du **CHU de Tlemcen**, pour avoir facilité notre accès aux différents services et permis la réalisation de ce travail dans de bonnes conditions.

Enfin, toute notre reconnaissance va à toutes les personnes qui ont contribué, ne serait-ce que par une lettre ou un mot, à enrichir notre savoir et éclairer notre chemin.

Dédicace



Avec tout le respect que je ressens, et toute la reconnaissance que je porte au fond de mon cœur, je dédie cette réussite, cette fierté, et la joie de l'aboutissement de mes études :

À mon paradis sur terre, la prunelle de mes yeux, la source de ma joie et de mon bonheur, ma lune qui éclaire mes nuits, et l'espoir qui illumine mon chemin... **ma chère maman.**

À celui qui m'a appris la force, la patience et l'amour inconditionnel, mon modèle et soutien indéfectible... **mon cher papa.**

À mon frère **Mohamed**, pour tout l'amour, l'affection et la bienveillance qu'il me réserve.

À mes sœurs **Nadia, Hayat et Leyla**, pour leurs conseils, leur soutien et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours.

À l'homme de ma vie **Bekkar Abdelilah** mon mari, mon épaule, ma force tranquille, celui qui a cru en moi, m'a soutenue et encouragée de tout cœur.

À **mes chères amies**, fidèles et présentes, avec qui j'ai partagé rires, peines, défis et espoirs. Votre amitié est un trésor inestimable.

À tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à ma réussite...

À tous ceux qui m'aiment sincèrement,

Je vous dédie ce modeste travail, avec amour et gratitude.

Je tiens à remercier sincèrement mon binôme, **LALLAM Faiza**, pour la qualité de sa collaboration, la constance de son soutien et la bienveillance dont elle a fait preuve tout au long de ce travail.

KHECHE Khadidja

Dédicace



Je dédie ce travail, avec tout mon amour et ma reconnaissance :

À **mes très chers parents, Benazza Fatima et Lallam Sidi Mohamed**, pour leur amour incommensurable, leurs sacrifices silencieux et leur soutien indéfectible tout au long de mon parcours. Rien n'aurait été possible sans eux.

À **mon cher mari, Bouhacina Benamer**, pour sa patience, sa présence constante, ses encouragements précieux et son soutien sans faille, qui m'ont portée et motivée à persévérer dans mes études.

À **mes enfants bien-aimés, Mouadh, Sefoine, Othmane**, et ma fille **Nesrine**, qui sont ma plus grande source de force, d'inspiration et de bonheur au quotidien.

À **mes sœurs adorées, Kawther et Batoul**, ainsi qu'à mon frère **Brahim**, pour leur présence aimante, leur aide précieuse et leurs encouragements sincères tout au long de ce chemin.

Un merci tout particulier à **mon binôme, Kheche Khadidja**, pour sa bienveillance, son soutien fidèle et sa collaboration précieuse dans la réalisation de ce mémoire.

À vous tous, **merci du fond du cœur**. Ce travail est aussi le vôtre.

LALLAM Faiza



Table des matières :



Table des matières

Remerciement

Dédicace

Tables des matières

Listes des figures

Glossaire

Introduction générale..... 2

Chapitre 1 : Comprendre l’Ostéoradionécrose : Aspects anatomiques, physiopathologiques et cliniques

Introduction.....6

1. Définition de l’ostéoradionécrose 6

1.1 Os..... 7

1.2 Radio.....10

1.3 Nécrose11

2. Mécanismes physiopathologiques de l’ostéoradionécrose..... 11

2.1 Historique médical..... 12

2.2 Mécanisme de l’ostéoradionécrose12

2.3 Impact sur la cicatrisation des fractures..... 12

3. Les facteurs de risque12

3.1 Facteurs liés au patient..... 13

3.2 Facteurs bucco-dentaires.....13

3.3 Facteurs liés au traitement13

3.4 Autres facteurs aggravants.....14

4. Diagnostic..... 14

4.1 Signes cliniques..... 14

4.2 Signes radiologique.....	16
4.3 Aspects histologiques.....	17
5. Prévention et prise en charge de l'ostéoradionécrose.....	18
5.1 Traitement préventif en odontologie.....	18
5.2 Prévention au niveau de la radiothérapie.....	19
5.3 Traitement médical.....	19
5.4 Oxygénothérapie hyperbare.....	20
5.5 Traitement chirurgical.....	20
6. Conséquences cliniques.....	22
Conclusion.....	23

Chapitre2 : Radiothérapie et Dosimétrie : Principes Physiques et Applications Médicales

Introduction.....	26
I. Radiothérapie et impact sur les tissus bucco-dentaire.....	26
1. Définition de la radiothérapie.....	28
2. Principe de la radiothérapie.....	28
2.1 Interaction photons- matière.....	29
2.2 Interaction électrons- matière.....	32
2.3 Radiobiologie.....	34
3. Types de radiothérapie.....	36
3.1 Radiothérapie externe.....	36
3.2 Radiothérapie interne.....	37
4. Effets secondaires de la radiothérapie sur la cavité orale	37
II. Dosimétrie.....	40
1. Les différents types de dose	40
1.1 Dose absorbé (exprimée en Gray, Gy).....	40
1.2 Dose équivalente (exprimée en Sievert, Sv).....	41
1.3 Dose efficace (exprimée également en Sievert, Sv).....	41
2. Unité de dose.....	41
3. Les grandeurs radiométriques et dosimétriques des rayonnements	41

3.1 Les grandeurs radiométriques.....	42
3.2 Les grandeurs dosimétriques.....	43
Conclusion.....	49

Chapitre3 :

I. Radioprotection	51
1. Les types d'exposition aux rayonnements ionisant.....	51
2. Les règles de la radioprotection.....	52
3. Catégories des personnes exposées au rayonnement.....	53
4. Les limites de dose	54
5. Les moyens de protection.....	55
5.1 Pour personnel.....	55
5.2 Pour le patient.....	56
II. Les moyennes de contention.....	56
III. Protocole de prévention de l'ostéoradionécrose en radiothérapie ORL.....	57
IV. Rôle du physicien médical.....	58

Aspect méthodologique

1. Le type de l'étude.....	60
2. Le lieu de l'étude.....	60
3. La durée de l'étude.....	61
4. La population d'étude.....	61
4.1 Population cible.....	61
4.2 L'échantillonnage.....	61
5. Critères de sélection.....	61
5.1 Critères d'inclusion.....	61
5.2 Critères d'exclusion	61
6. Méthode de collecte des données.....	62
6.1 Instruments de collecte des données.....	62

Résultats et Discussion

1. Présentation et interprétation des résultats du questionnaire adressé aux patients atteints de cancer du cavum	63
2. Etude de cas entre Tlemcen et Constantine	67
3. Comparaison de nos résultats avec d'autres études scientifiques.....	69
3.1. Aucun cas d'ostéoradionécrose observé	69
3.2. Effets secondaires buccaux fréquents, mais modérés	69
3.3. Information des patients : globalement satisfaisante.....	70
3.4. Suivi dentaire après traitement : un point faible	70
4. Impact de la précision du calcul de dose et rôle du physicien médical.....	71
Conclusion.....	74
Annexes.....	77
Bibliographie.....	81
Résumé	



Liste des figures



Liste des figures

Figure I.1 : Denture déciduale (ou temporaire, ou lactée, ou de lait)

Figure I.2: Maxillaire droit humain, vue antéro-externe

Figure I.3: Vue postérolatérale de la mandibule adulte

Figure I.4 : Physiopathologie de l'ostéoradionécrose

Figure I.5 : Ostéoradionécrose mandibulaire

Figure I.6 : ORN de l'angle mandibulaire gauche, sous une muqueuse buccale pourtant intacte cliniquement

Figure I.7 : Coupe axiale de CBCT de la mandibule avant irradiation (a) et après irradiation (b). Des modifications de la densité osseuse sont constatables au niveau de la branche horizontale droite, révélant une ORN

Figure I.8 : Chirurgie conservatrice

Figure I.9: Chirurgie interruptrice

Figure II.1 : Spectre lumineux

Figure II.2 : Le spectre électromagnétique

Figure II.3 : Le spectre électromagnétique

Figure II.4: représentation schématique d'effet photoélectrique

Figure II.5 : représentation schématique de la diffusion Compton

Figure II.6 : représentation schématique du phénomène de production de paires

Figure II.7: Diagramme d'EVANS

Figure II.8 : phénomène d'ionisation

Figure II.9 : phénomène d'excitation

Figure II.10 : phénomène de freinage

Figure II.11: Schéma illustrant l'action et les effets nocifs des rayonnements sur les cellules

Figure II.12 : Dysphagie

Figure II.13 : Xérostomie

Figure II.14: Mucite

Figure II.15 : Lésions buccales et pharyngées

Figure II.16: L'équilibre électronique

Figure III.1 : L'exposition des rayonnements ionisant

Figure III.2: les expositions internes

Figure III.3 : Protection contre l'exposition externe

Figure III.4 : représentation schématiques pour les index des zones

Figure III.5 : dosimètre passif et actif

Figure III.6 : Les moyens de protection.

Figure III.7 : Cache oculaire et Cache thyroïde.

Figure III.8 : Plan cérébrale

Figure III.9 : Le masque thermoformé cérébral et ORL

Figure III.10 : Les appuie-têtes

Figure III.11 : Centre de lutte contre le cancer -Tlemcen-



Liste des tableaux



Liste des tableaux

Tableau III.1 : Les limites de dose efficace pour les travailleurs de catégorie A

Tableau III.2 : Les limites de dose efficace pour les travailleurs de catégorie A

Tableau III.3 : les valeurs des limites de dose efficace pour l'exposition fixée a public

Tableau III.4 : Informations générales des patients atteints de cancer du cavum dans le cadre de la prévention de l'ostéoradionécrose des mâchoires

Tableau III.5 : Répartition des réponses des patients aux questions présentant une variabilité

Tableau III.6 : Comparaison entre Tlemcen et Constantine

Tableau III.7 : Résultats du questionnaire vs. Résultats des études scientifiques

Glossaire :

ADN : Acide désoxyribonucléique, molécule porteuse de l'information génétique, cible principale des rayonnements en oncologie.

Analgésiques : Médicaments destinés à soulager la douleur.

Bactéries anaérobies : Micro-organismes proliférant en l'absence d'oxygène.

Canal alvéolaire inférieur : Canal osseux de la mandibule contenant le nerf alvéolaire inférieur.

Chlorhexidine : Antiseptique à large spectre, souvent utilisé en bains de bouche.

Coefficient massique d'absorption d'énergie (μ_{en}/ρ) : Indicateur de l'absorption énergétique par unité de masse.

Collimateur multilames : Dispositif qui module la forme du faisceau pour l'adapter au volume tumoral.

Condylectomie : Résection chirurgicale du condyle mandibulaire.

Création de pair : Conversion d'un photon de haute énergie en une paire électron-positron au voisinage d'un noyau.

Curiethérapie : Radiothérapie interne par insertion de sources radioactives près ou dans la tumeur.

dE : Énergie transmise au sein d'un élément de volume par le rayonnement.

dm : Masse de matière correspondante dans ce volume.

Dosimétrie : Science qui mesure et planifie la dose absorbée de rayonnements dans les tissus.

Dose absorbée : Énergie déposée par unité de masse, exprimée en Gray (Gy).

Dysphagie : Difficulté à avaler, fréquente en cas d'irradiation de l'oropharynx.

Effet Compton : Interaction photon-électron libre ou peu lié, transférant de l'énergie à l'électron et modifiant la direction du photon.

Effet photoélectrique : Interaction photon-électron entraînant l'éjection d'un électron lié ; prédominant à basse énergie.

Électron : Particule chargée négativement, utilisée notamment en radiothérapie des lésions superficielles.

Équilibre électronique local : Situation où le nombre d'électrons générés et arrêtés est identique dans une couche de matière.

Excitation : Passage d'un électron à un niveau d'énergie supérieur sans être arraché à l'atome.

Fibrose : Transformation d'un tissu normal en tissu conjonctif rigide.

Fibrose musculaire : Apparition de tissu fibreux au sein des muscles, entraînant une perte de souplesse.

Fluence (Φ) : Nombre de particules incidentes traversant une surface unitaire.

Fluorescence à la tétracycline : Technique permettant de distinguer l'os vivant de l'os nécrosé par fluorescence.

Fracture pathologique : Fracture survenant dans un os affaibli par une maladie sous-jacente.

Granulation : Tissu cicatriciel riche en capillaires et cellules réparatrices.

Hémi-mandibulectomie : Ablation partielle de la mandibule.

Hypocellularité : Réduction du nombre de cellules dans un tissu donné.

Hypovascularisation : Baisse de l'irrigation sanguine dans un tissu.

Hypoxie : Diminution de la concentration en oxygène dans les tissus.

IGRT (Image Guided Radiotherapy) : Radiothérapie guidée par imagerie pour améliorer la précision.

Ionisation : Processus par lequel un atome devient un ion par perte ou gain d'un électron.

Kerma (K) : Énergie cinétique transférée par les photons aux électrons, exprimée en Gray.

Mandibulectomie quasi totale : Ablation étendue de la mandibule, parfois jusqu'au condyle.

Mucite : Inflammation douloureuse de la muqueuse buccale, effet secondaire courant de la radiothérapie.

Opiacés : Antalgiques puissants dérivés de l'opium.

Ostéomyélite : Infection osseuse chronique ou aiguë.

Oxygénothérapie hyperbare (OHB) : Traitement par oxygène pur sous pression pour améliorer l'oxygénation tissulaire et la cicatrisation.

Pentoclo : Association thérapeutique de Pentoxifylline, Tocophérol et Clodronate utilisée contre la fibrose post-radique.

Pentoxifylline : Agent vasodilatateur qui améliore la microcirculation et réduit l'inflammation.

Photon : Particule élémentaire sans masse, vecteur du rayonnement électromagnétique.

Proton : Particule chargée positivement, utilisée en protonthérapie pour son dépôt énergétique ciblé (pic de Bragg).

Radiolyse de l'eau : Décomposition des molécules d'eau par rayonnement, générant des radicaux libres.

Radicaux libres : Espèces chimiques instables et réactives issues de la radiolyse, capables d'altérer l'ADN.

Radiothérapie : Traitement utilisant des rayonnements ionisants pour détruire les cellules cancéreuses.

Radiothérapie externe : Administration de rayonnements depuis un appareil situé à distance du patient.

Rapport $B = D/K$: Indice de régime d'équilibre électronique ; $B = 1$ indique l'équilibre.

Rayonnement de freinage (bremsstrahlung) : Rayonnement secondaire produit lors du ralentissement d'un électron par un champ nucléaire.

Rayonnement ionisant : Rayonnement possédant suffisamment d'énergie pour arracher des électrons aux atomes, provoquant des effets biologiques dans les tissus.

Rayonnement non ionisant : Rayonnement dont l'énergie est insuffisante pour ioniser la matière, produisant principalement des effets thermiques.

Séquestre osseux : Fragment d'os mort détaché du tissu sain.

Séquestrectomie : Intervention chirurgicale visant à retirer un séquestre osseux.

Spectre électromagnétique : Ensemble des rayonnements classés par énergie ou longueur d'onde, incluant les ondes radio, infrarouges, UV, rayons X et gamma.

Stomatite : Inflammation générale de la cavité buccale, souvent utilisée comme synonyme de mucite.

Téguments fibrotiques : Tissus superficiels devenus fibreux après irradiation.

Tocophérol : Forme active de la vitamine E aux propriétés antioxydantes.

Trismus : Réduction de l'ouverture buccale due à une contraction musculaire.

Xérostomie : Sécheresse buccale consécutive à l'atteinte des glandes salivaires par irradiation.

Z_{max} : Profondeur correspondant au maximum de dose absorbée dans le tissu irradié.



Introduction



L'ostéoradionécrose des mâchoires constitue une complication rare mais redoutable des traitements radiothérapeutiques, en particulier chez les patients atteints de cancers de la tête et du cou. Ce sujet ne se limite pas à une simple manifestation pathologique ; il s'inscrit dans une dynamique scientifique complexe où interagissent la biophysique, la radiobiologie, l'anatomie et la clinique. L'ostéoradionécrose illustre la vulnérabilité du tissu osseux face aux effets délétères des rayonnements ionisants, notamment en contexte de fragilité vasculaire et de défaillance régénérative. Ainsi, la prévention de cette affection ne relève pas uniquement d'une bonne pratique clinique, mais traduit une approche stratégique rigoureuse fondée sur la connaissance fine des mécanismes tissulaires, des protocoles dosimétriques et des facteurs de risque individuels.

Dès lors, la problématique générale de cette recherche peut être formulée comme suit :

Comment peut-on prévenir efficacement l'ostéoradionécrose des mâchoires chez les patients recevant une radiothérapie ?

De cette problématique découlent plusieurs questions de recherche fondamentales :

- Quels sont les mécanismes biologiques et physiopathologiques à l'origine de cette complication ?
- Quels sont les facteurs qui en favorisent l'apparition ?
- À quel moment les mesures préventives sont-elles les plus efficaces : en amont, pendant ou après la radiothérapie ?
- Quelles stratégies de prévention ont démontré leur efficacité clinique ?
- Quel rôle jouent les paramètres dosimétriques dans le développement ou la prévention de l'ostéoradionécrose ?

Afin de répondre à ces interrogations, les hypothèses suivantes ont été formulées :

Hypothèse 1 : Une évaluation bucco-dentaire complète avant la radiothérapie réduit significativement le risque d'ostéoradionécrose.

Hypothèse 2 : Une dose de rayonnement supérieure à 60 Gy constitue un facteur de risque majeur de nécrose osseuse.

Hypothèse 3 : L'adoption de protocoles dosimétriques précis, associés à un suivi multidisciplinaire, diminue l'incidence des complications post-radiques.

Hypothèse 4 : Les comorbidités telles que le diabète, le tabagisme ou la dénutrition augmentent la susceptibilité à l'ostéoradionécrose.

L'objectif de cette étude est d'explorer les moyens et mécanismes efficaces de prévention de l'ostéoradionécrose des mâchoires chez les patients soumis à une radiothérapie, en analysant les facteurs contribuant à son apparition, en étudiant les meilleures stratégies préventives adoptées, et en proposant des recommandations fondées sur les données scientifiques disponibles pour améliorer la prise en charge des patients et réduire les risques de cette complication.

Le choix de ce sujet repose sur des motivations à la fois objectives et personnelles. Objectivement, il s'inscrit dans une volonté d'explorer une problématique peu développée en langue française, à la croisée de la physique médicale et de la pratique clinique. Subjectivement, ce travail reflète notre intérêt particulier pour les interactions entre les traitements oncologiques et les effets secondaires à long terme, ainsi que pour le rôle que peut jouer la prévention dans l'amélioration du pronostic et de la qualité de vie des patients.

La méthodologie adoptée dans cette étude repose sur une approche descriptive qualitative, à travers une revue rigoureuse et approfondie de la littérature scientifique disponible, incluant des articles spécialisés, des recommandations professionnelles, des ouvrages académiques, ainsi que des données issues de la pratique clinique.

Les travaux antérieurs ont mis en évidence l'importance d'une prise en charge anticipative de l'ostéoradionécrose, en particulier par l'intégration d'une hygiène bucco-dentaire rigoureuse, d'une planification thérapeutique adaptée et d'un accompagnement multidisciplinaire. Néanmoins, l'absence d'un consensus unifié sur les pratiques préventives justifie pleinement la réalisation d'un travail de synthèse et d'analyse sur cette thématique.

Le mémoire se structure en trois chapitres complémentaires :

Le premier chapitre est consacré à l'étude des fondements anatomiques, aux mécanismes physiopathologiques ainsi qu'aux principaux facteurs cliniques impliqués dans la survenue de l'ostéoradionécrose.

Le deuxième chapitre traite des aspects physiques liés à la radiothérapie, en abordant notamment les principes de la dosimétrie et les différentes stratégies de prévention envisageables.

Enfin, le troisième chapitre est consacré aux mesures pratiques de prévention de l'ostéoradionécrose, en s'appuyant sur les principes de la radioprotection. Il traite des types d'exposition aux rayonnements ionisants, des règles de sécurité appliquées en radiothérapie, des catégories de personnes exposées et des limites de dose recommandées. Il présente également un protocole de prévention, les moyens de contention utilisés pour stabiliser le patient, ainsi que le rôle du physicien médical dans le contrôle et l'optimisation du traitement. Ce chapitre comprend enfin une partie méthodologique et empirique basée sur des observations cliniques.

**Chapitre I : Comprendre
l'Ostéoradionécrose : Aspects
anatomiques, physiopathologiques et
cliniques**



À travers ce chapitre, nous abordons une complication redoutable du traitement par radiothérapie : l'ostéoradionécrose des maxillaires. Cette affection, bien que rare, peut avoir des conséquences fonctionnelles et esthétiques majeures. Elle résulte d'un ensemble de mécanismes biologiques complexes affectant la régénération osseuse et les capacités de cicatrisation dans un contexte d'irradiation. Afin d'en comprendre les enjeux, il est nécessaire d'explorer d'abord l'anatomie des structures osseuses concernées, puis de s'attarder sur les aspects physiopathologiques, les facteurs de risque et les modalités diagnostiques. Ce chapitre jette ainsi les bases essentielles à la compréhension globale de cette pathologie multifactorielle.

1. Définition de l'ostéoradionécrose :

L'ostéoradionécrose (ORN) est une pathologie osseuse grave et irréversible, survenant comme complication tardive de la radiothérapie, notamment chez les patients traités pour des cancers des voies aérodigestives supérieures. Elle se manifeste par une nécrose progressive de l'os irradié, souvent au niveau de la mandibule, en l'absence de récurrence tumorale, et se caractérise par une hypovascularisation, une hypoxie locale et une incapacité de régénération tissulaire.

« L'ostéoradionécrose est un processus de destruction osseuse progressive avec dénudation par ulcération muqueuse. »¹

« Os irradié et exposé à travers la peau ou la muqueuse dans le champ d'irradiation, présentant une absence de cicatrisation après une période de 3 mois, et ce en absence de tumeur résiduelle ou de récurrence. »²

On peut donc en déduire que l'ostéoradionécrose est une pathologie induite par l'irradiation, caractérisée par une destruction progressive de l'os, une absence de cicatrisation et une exposition osseuse persistante. Cette complication tardive, qui n'évolue pas spontanément vers la guérison, nécessite une prise en charge spécialisée pour en limiter la progression.

Alors, le terme ostéoradionécrose est formé de trois racines grecques et latines :

1.1 Os :

« Du latin os, ossis, ce terme désigne une structure organique et rigide, composée de tissu osseux. Les os assurent des fonctions vitales telles que le soutien du corps, la protection des organes internes, le stockage de minéraux comme le calcium et le phosphore, ainsi que l'abri de la moelle osseuse, impliquée dans la production des cellules sanguines. Histologiquement, les os sont constitués de cellules comme les ostéoblastes, ostéocytes et ostéoclastes, qui assurent respectivement la formation, le métabolisme et la résorption osseuse. »³

Rappel anatomique :

« La mâchoire, aussi appelée articulation temporomandibulaire (ATM), est un système mécanique complexe formé par deux structures osseuses : le maxillaire (mâchoire supérieure) et la mandibule (mâchoire inférieure). Elle intervient dans trois fonctions fondamentales : la mastication, la parole et la déglutition. »⁴ Ces fonctions illustrent le rôle central de la mâchoire dans la vie quotidienne. Elle agit comme une charnière essentielle reliant le crâne au bas du visage, permettant le mouvement harmonieux de la bouche.

« Le bon développement de la mâchoire dépend de la stimulation des muscles dès le plus jeune âge, par des gestes naturels comme le tétage ou la mastication. Des troubles de cette articulation peuvent provoquer des douleurs, des craquements ou des blocages, souvent liés au bruxisme ou à l'arthrose. »⁵

Ainsi, la santé de cette articulation repose autant sur sa structure osseuse que sur l'activité musculaire fonctionnelle. Ces éléments posent les bases nécessaires à l'étude de l'anatomie de la mâchoire et des dysfonctionnements qui peuvent l'affecter.

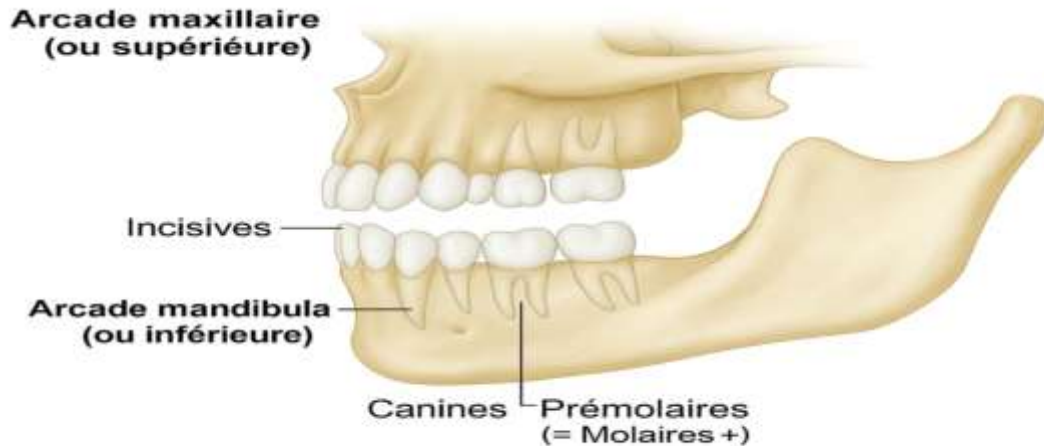


Figure I.1 : Denture déciduale (ou temporaire, ou lactée, ou de lait)⁶

Os maxillaire :

Le maxillaire est un os pair du visage, qui s'unit à son homologue pour former la mâchoire supérieure, supportant les dents du haut. Il s'articule avec tous les os de la face. Il est composé d'un corps central et de quatre prolongements appelés processus : zygomatique (vers la joue), frontal (vers le haut), alvéolaire (où se trouvent les dents) et palatin (qui forme une partie du palais dur). Le corps de l'os a quatre faces : une face avant visible sous la peau, une face arrière vers la région sous-temporale, une face supérieure qui forme le plancher de l'orbite, et une face interne qui participe à la paroi du nez. À l'intérieur de cet os se trouve le sinus maxillaire, une cavité remplie d'air. Le maxillaire est formé d'os compact et spongieux, et il commence à se développer très tôt pendant la vie fœtale à partir de deux centres d'ossification.⁷

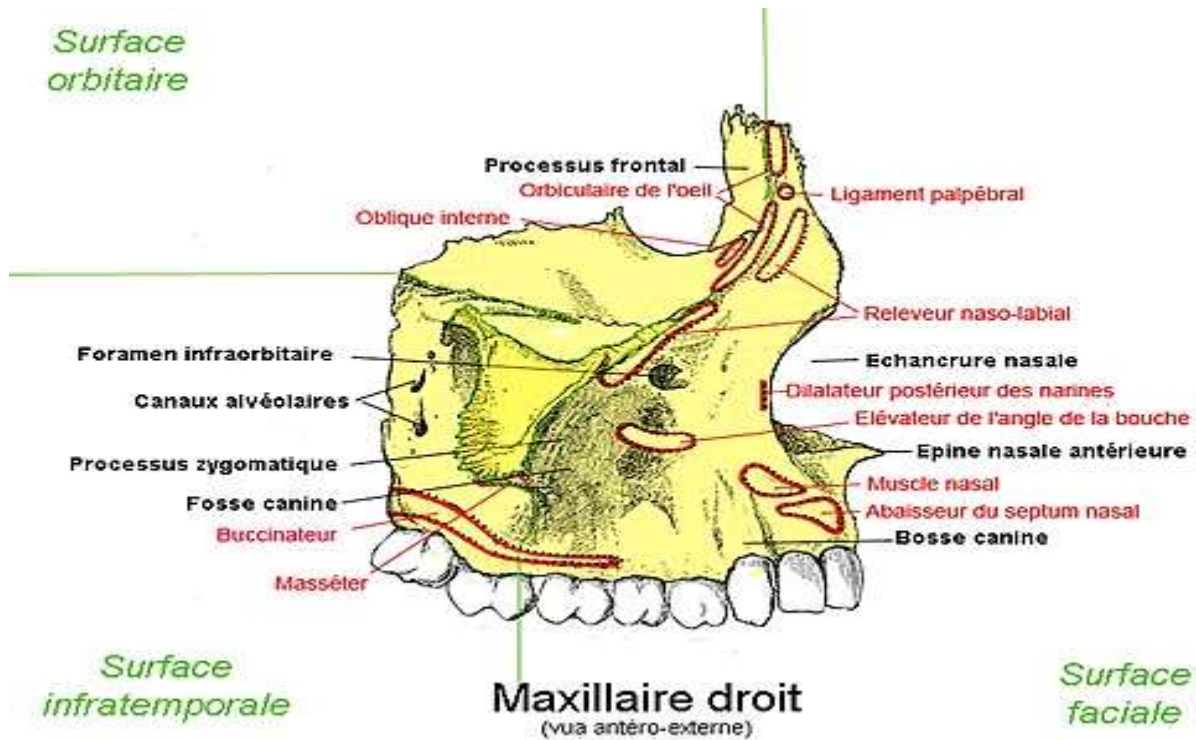


Figure I.2: Maxillaire droit humain, vue antéro-externe⁸

Os mandibulaire :

La mandibule est un os impair, médian et mobile du massif facial, en forme de fer à cheval. Elle est composée d'un corps horizontal et de deux branches verticales, unies aux angles mandibulaires. Elle participe à la mastication, la parole et l'esthétique du visage.

Le corps mandibulaire présente une face externe avec la symphyse mentonnière, les tubercules et le foramen mentonnier situé sous la deuxième prémolaire. La face interne montre les épines mentonnières (insertion des muscles génio-glosses et génio-hyoïdiens), la ligne mylo-hyoïdienne, ainsi que les fosses sublinguale et submandibulaire. La partie alvéolaire contient les alvéoles dentaires et le torus mandibulaire, tandis que la base est traversée par le sillon de l'artère faciale.

Les branches mandibulaires s'élèvent de chaque côté du corps. La face externe porte la tubérosité massétérique (insertion du muscle masséter), la face interne contient le foramen mandibulaire (nerf alvéolaire inférieur), la lingula, le sillon mylo-hyoïdien et la tubérosité ptérygoïdienne. Le bord supérieur comprend le processus coronoïde (muscle temporal), le condyle mandibulaire (articulation temporo-mandibulaire) et l'incisure mandibulaire. Le bord inférieur forme l'angle mandibulaire.

La mandibule est constituée d'os compact en surface et spongieux à l'intérieur, particulièrement au niveau alvéolaire. Le canal mandibulaire relie le foramen mandibulaire au foramen mentonnier. Son ossification est membraneuse, débutant à partir de deux points, sans cartilage préalable.⁹

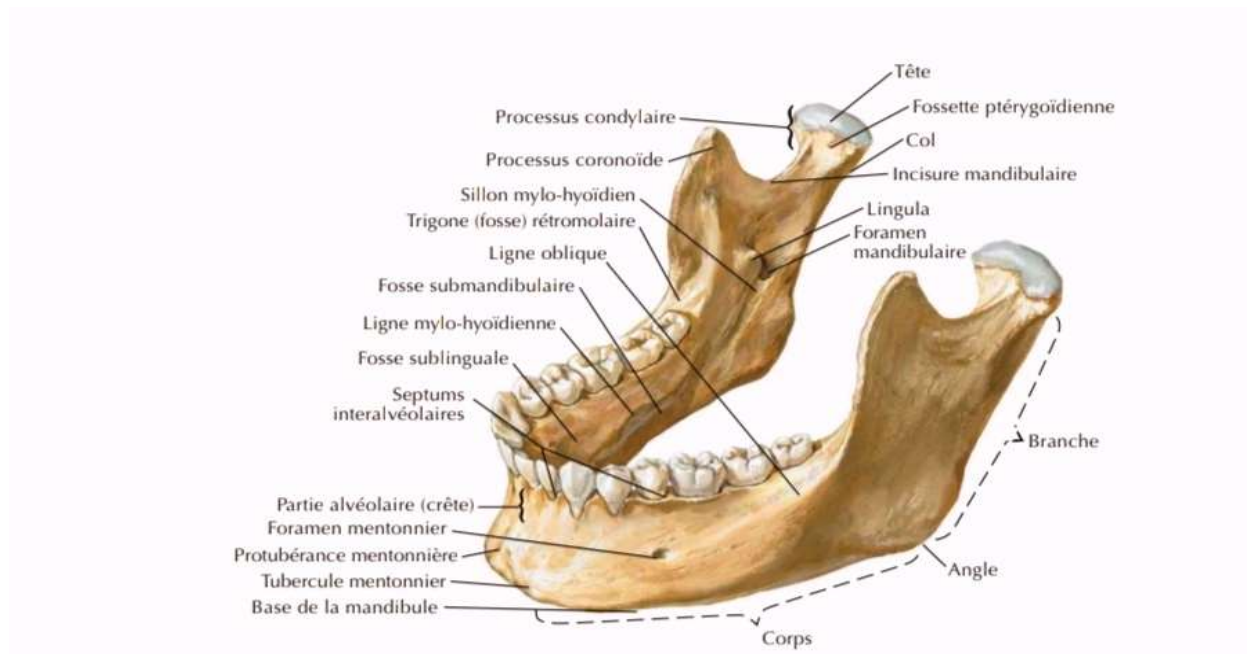


Figure I.3: Vue postérolatérale de la mandibule adulte¹⁰

1.2 Radio :

« Le préfixe radio provient du latin radius, signifiant "rayon". En médecine, il fait référence à l'utilisation de rayonnements ionisants dans le cadre du diagnostic ou du traitement, notamment en radiothérapie. Cette dernière génère des radicaux libres, responsables de dommages

cellulaires, vasculaires et tissulaires, notamment au niveau des structures osseuses, où elle perturbe les mécanismes de régénération tissulaire. »¹¹

1.3 Nécrose :

« Du grec nekrosis, "mort", ce terme désigne la mort prématurée et pathologique des cellules ou tissus. Elle survient généralement en raison d'une altération grave de l'irrigation sanguine (ischémie), d'une infection ou d'une agression toxique. La nécrose s'accompagne souvent d'une réaction inflammatoire et de la dégradation irréversible de la structure tissulaire affectée. »¹²

2. Mécanismes physiopathologiques de l'ostéoradionécrose :

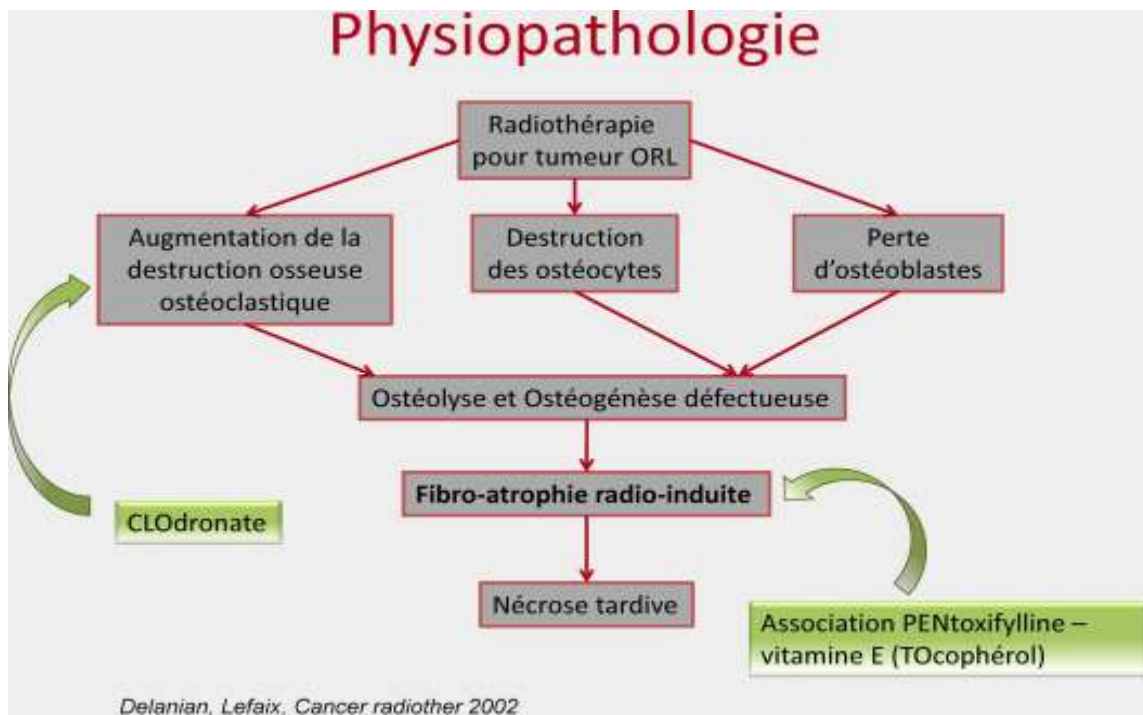


Figure I.4 : Physiopathologie de l'ostéoradionécrose

L'ostéoradionécrose résulte de perturbations biologiques induites par la radiothérapie. Pour en comprendre les mécanismes, il est nécessaire d'analyser les antécédents médicaux, les processus physiopathologiques en jeu et les conséquences sur la cicatrisation osseuse.

2.1 Historique médical :

L'ostéoradionécrose (ORN) est une complication sévère pouvant survenir après une radiothérapie, notamment dans les zones osseuses exposées à de fortes doses d'irradiation. Les os adultes, composés d'une matrice minéralisée faiblement cellulaire, sont en constant remodelage sous l'influence de facteurs mécaniques et métaboliques. La radiothérapie perturbe cet équilibre, entraînant ostéolyse et ostéonécrose, caractérisées par la destruction des cellules osseuses, l'altération des tissus mous environnants et une réduction de la densité minérale osseuse (1). De plus, l'irradiation provoque des lésions endothéliales qui compromettent la microvascularisation, induisant une ischémie osseuse.

2.2 Mécanisme de l'ostéoradionécrose :

Deux principales hypothèses expliquent la physiopathologie de l'ORN. La première attribue l'atteinte osseuse à une hypoperfusion chronique due aux lésions vasculaires induites par les radiations, ce qui conduit à une nécrose aseptique. La seconde évoque un processus fibrotique progressif affectant la moelle osseuse et le périoste, altérant le remodelage osseux. L'irradiation rend l'os irradié structurellement affaibli, moins apte à supporter les contraintes ou à se réparer après traumatisme ¹³. En outre, la présence d'ORN compromet la cicatrisation des plaies chirurgicales dans les zones irradiées, augmentant le risque de surinfection et de fracture pathologique.

2.3 Impact sur la cicatrisation des fractures :

Les fractures survenant dans des zones irradiées présentent une consolidation souvent retardée, voire absente, menant à une pseudoarthrose. Cette complication est liée à une vascularisation déficiente et à une diminution de l'activité ostéoblastique. L'os irradié présente également une altération des cellules souches mésenchymateuses et une inhibition des facteurs de croissance osseux, entravant la régénération. Ainsi, la consolidation osseuse est lente, incomplète, voire impossible, nécessitant parfois des interventions chirurgicales spécifiques ¹⁴.

3. Les Facteurs de risque :

L'ostéoradionécrose des mâchoires est une complication tardive redoutée après radiothérapie, touchant principalement la mandibule. Son apparition est influencée par plusieurs facteurs de

risque regroupés en quatre catégories principales : ceux liés au patient, à l'état bucco-dentaire, au protocole thérapeutique, et à certains facteurs aggravants.

3.1 Facteurs liés au patient :

Certains éléments personnels peuvent fragiliser le tissu osseux ou ralentir la régénération après irradiation.

« Le tabagisme est un facteur bien établi : il réduit la vascularisation des tissus, ce qui entrave la cicatrisation. Chez les patients irradiés, cette mauvaise oxygénation accentue les effets destructeurs des rayonnements »¹⁵

« Le diabète ou d'autres maladies métaboliques perturbent la microcirculation sanguine et ralentissent les processus de réparation osseuse. De plus, un patient diabétique présente un risque accru d'infections secondaires, ce qui aggrave le pronostic »¹⁶

« La dénutrition, fréquente chez les patients atteints de cancer ORL, compromet également la régénération cellulaire et affaiblit le système immunitaire »¹⁷

3.2 Facteurs bucco-dentaires :

L'état de santé bucco-dentaire joue un rôle majeur dans le développement de l'ORN.

« Une mauvaise hygiène buccale favorise l'accumulation de plaque, les infections locales (gingivites, parodontites) et les foyers infectieux, qui peuvent facilement évoluer vers une nécrose sur un os irradié »¹⁸

« Les extractions dentaires après radiothérapie sont très à risque. Elles exposent l'os irradié à une perte de continuité, et celui-ci, étant mal vascularisé, ne cicatrise pas normalement. C'est pourquoi les extractions sont généralement à effectuer avant la radiothérapie »¹⁹

« Les prothèses dentaires mal ajustées peuvent causer des microtraumatismes répétés sur les muqueuses, créant des portes d'entrée aux bactéries et des foyers d'inflammation chronique »²⁰

3.3 Facteurs liés au traitement :

« La nature du traitement radiothérapeutique influe directement sur le risque d'ORN. Lorsque la tumeur est localisée près de la mandibule (cancers de la langue, de la cavité buccale ou de

l'oropharynx), la dose reçue par l'os est souvent importante, augmentant ainsi la probabilité de nécrose. »²¹

« La dose totale de rayonnement est un facteur crucial. Un seuil de 60 Gray (Gy) est souvent cité : au-delà, le risque d'ORN augmente fortement, en raison de la fibrose tissulaire et de l'oblitération vasculaire. »²²

« Une chirurgie mandibulaire préalable, comme une résection ou une biopsie osseuse, peut fragiliser l'os avant l'irradiation, en réduisant la vascularisation locale. Cela aggrave les effets radio-induits. »²³

3.4 Autres facteurs aggravants :

L'alcoolisme chronique a un effet similaire au tabac : il altère la cicatrisation, affaiblit les tissus et augmente le risque d'infections post-radiques .²⁴

L'âge avancé est aussi un facteur non négligeable. Avec le vieillissement, les capacités de régénération cellulaire diminuent, ce qui rend la guérison plus lente et moins efficace .²⁵

l'ostéoradionécrose est une pathologie multifactorielle, où les effets directs des rayons s'additionnent aux fragilités individuelles du patient. C'est pourquoi une évaluation pré-radiothérapeutique minutieuse, incluant un bilan bucco-dentaire complet, est essentielle. La prévention repose sur l'éducation du patient, la coordination entre oncologues, dentistes et radiothérapeutes, ainsi que sur une hygiène rigoureuse avant, pendant et après le traitement.

4. Diagnostic :

4.1 Signes cliniques :

Aux premiers stades, l'ostéoradionécrose (ORN) peut passer inaperçue, car elle est souvent asymptomatique et ses signes cliniques sont peu spécifiques. La nécrose de l'os précède généralement son exposition dans la cavité buccale, ce qui rend le diagnostic difficile à établir à ce moment-là.

Lorsque la maladie progresse, une rupture de la muqueuse permet de visualiser l'os nécrosé. Le patient peut alors présenter divers symptômes comme une gêne liée à une suppuration, un trismus, une mobilité dentaire ou une mauvaise haleine (halitose), orientant plus clairement vers le diagnostic d'ORN.

Certains signes, tels que la douleur, les troubles du goût (dysgueusie) ou de la déglutition (dysphagie), peuvent aussi évoquer une récurrence tumorale, nécessitant un diagnostic différentiel précis. Des troubles neurologiques comme des dysesthésies, des paresthésies ou une anesthésie peuvent également être présents.²⁶

La progression de la nécrose peut entraîner des complications graves telles que la formation de fistules (intra- ou extra-orales), des fractures pathologiques, ou encore des infections locales (cellulite) voire systémiques. À ce stade, les limitations fonctionnelles (ouverture buccale, mastication, élocution) deviennent très invalidantes pour le patient, avec un impact important sur sa qualité de vie et un risque accru de détresse psychologique.²⁷



Figure I.5 : Ostéoradionécrose mandibulaire²⁸

L'examen clinique intra-buccal révèle une lésion muqueuse exposant un os nécrosé de couleur jaunâtre, entouré de tissus mous érythémateux et inflammatoires. Ces cavités ne cicatrisent pas spontanément, et une infection peut entraîner la formation d'une fistule muqueuse ou cutanée, d'où s'écoule du pus.

Ces signes cliniques sont généralement suffisants pour diagnostiquer une nécrose osseuse induite par radiothérapie (ORN). Cependant, ces symptômes ne prennent pas en compte les cas où la muqueuse reste intacte, et où la nécrose osseuse n'est détectable que par imagerie²⁹.

4.2 Signes radiologiques :

La radiographie panoramique : est l'examen de première ligne en cas de suspicion d'ostéoradionécrose (ORN). Elle permet d'obtenir une première vue d'ensemble, mais elle est incapable de détecter les ORN aux stades précoces, même si celles-ci sont déjà bien avancées. En effet, les lésions ne deviennent visibles qu'à un stade plus tardif, lorsque la déminéralisation de l'os atteint environ 30 %.³⁰

Les signes osseux observés sur la radiographie panoramique sont variables, peu spécifiques et souvent difficiles à interpréter. Ils peuvent inclure :

- Des zones radiotransparentes (lyse osseuse) .
- Des zones radiopaques (condensation osseuse) .
- La présence de séquestres .
- La présence de fractures.



Figure I.6 : ORN de l'angle mandibulaire gauche, sous une muqueuse buccale pourtant intacte cliniquement³¹

Le Cone Beam (CBCT – Cone Beam Computed Tomography) : est l'outil d'imagerie de choix pour l'évaluation des lésions osseuses. Il offre une meilleure détection des lésions existantes (90% contre 74% pour la radiographie panoramique) et permet de préciser l'étendue de celles-ci. De plus, il est particulièrement efficace pour identifier les lésions à un stade précoce.³²

L'intérêt du CBCT réside dans sa capacité à faciliter la préparation des biopsies, à réévaluer les marges chirurgicales et à ajuster le pronostic.

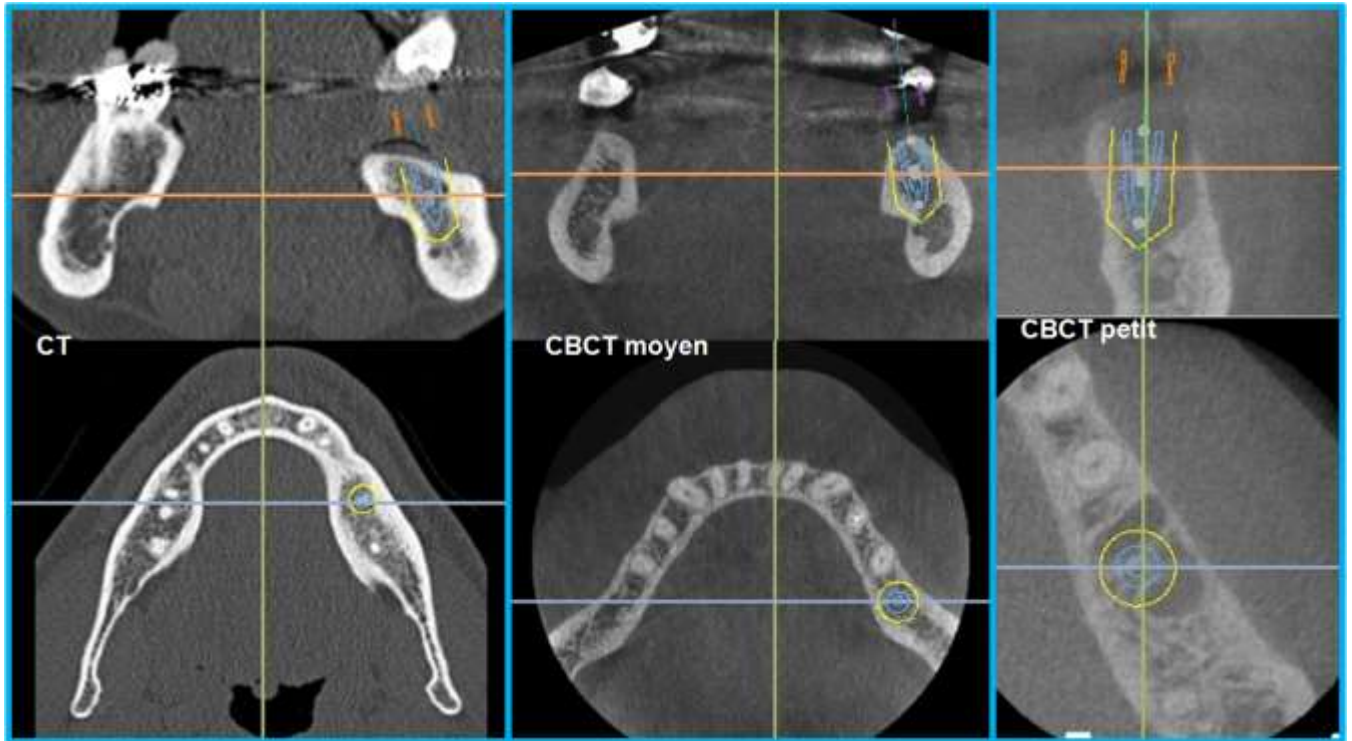


Figure I.7 : Coupe axiale de CBCT de la mandibule avant irradiation (a) et après irradiation (b). Des modifications de la densité osseuse sont constatables au niveau de la branche horizontale droite, révélant une ORN³³

IRM et scintigraphie osseuse : Certains chercheurs ont exploré l'utilisation de l'IRM pour suivre l'évolution des ostéoradionécroses. Elle présente l'avantage d'une résolution élevée et d'un excellent contraste entre les tissus, bien que la détection des corticales osseuses reste difficile.

Quant à la scintigraphie osseuse, elle offre une sensibilité excellente (100 %), mais sa spécificité est relativement faible (57 %) ³⁴

4.3 Aspects histologiques :

Même si les techniques d'imagerie actuelles permettent de soupçonner l'apparition d'une ostéoradionécrose (ORN), seule une analyse anatomopathologique peut confirmer le diagnostic et différencier avec certitude une ORN d'une récurrence tumorale, en cas de doute.

Sur le plan histologique, l'os irradié présente des signes d'inflammation chronique accompagnés de troubles vasculaires marqués : endartérite, thromboses, diminution de la vascularisation et présence de vaisseaux dégénérés. On observe également une hypocellularité importante et une fibrose marquée, avec des taux respectifs de 2 % pour les cellules et 75 % pour la fibrose, contre 8 % et 62 % dans l'os sain.³⁵

L'os nécrosé est entouré de tissu de granulation riche en cellules inflammatoires et en bactéries (principalement Gram positives, et quelques Gram négatives), avec une fibrose importante dans ce tissu. Il est à noter qu'aucun ostéoclaste n'a été observé dans les cas analysés.³⁶

5. Prévention et prise en charge de l'ostéoradionécrose :

Lors des consultations de contrôle régulières, il est essentiel d'évaluer la compliance du patient et de renforcer l'adhésion aux mesures préventives, notamment en matière d'hygiène bucco-dentaire et d'abstinence tabaco-alcoolique.

Le suivi du patient avant, pendant et après la radiothérapie doit être assuré par une équipe pluridisciplinaire incluant le chirurgien-dentiste. Une attention particulière doit être portée à la prévention de l'ostéoradionécrose, une complication grave, souvent chronique et évolutive, pouvant entraîner une fracture pathologique de la mandibule.

5.1 Traitement préventif en odontologie :

La prévention joue un rôle central dans la prise en charge des ostéoradionécroses chez les patients traités par radiothérapie. Le chirurgien-dentiste, en collaboration avec l'équipe médicale, doit assurer un suivi avant, pendant et après le traitement. Une évaluation clinique et radiologique préalable permet d'identifier les facteurs de risque (caries, dents cassées, prothèses inadaptées, maladies parodontales).³⁷

Le patient doit être informé des effets secondaires fréquents de la radiothérapie : mucites, trismus, hyposialie, altération du goût, qui peuvent impacter sa qualité de vie et favoriser les complications bucco-dentaires. L'hygiène bucco-dentaire doit être rigoureuse, avec une prophylaxie au fluor, des bains de bouche, un nettoyage quotidien des prothèses et des consultations régulières.

Les actes invasifs comme les extractions doivent être évités durant et après la radiothérapie. L'éducation du patient et sa bonne observance sont essentielles pour réduire les risques de complications.³⁸

5.2 Prévention au niveau de la radiothérapie :

La radiothérapie est une méthode thérapeutique utilisant des rayonnements ionisants pour détruire les cellules cancéreuses.³⁹

On distingue deux grands types de radiothérapie :

La radiothérapie externe : les rayons proviennent d'une source située à l'extérieur du corps (rayons X, cobalt, accélérateurs linéaires).

La curiethérapie (radiothérapie interne) : les sources radioactives sont placées à l'intérieur du corps. Elle comprend :

- La curiethérapie interstitielle (source placée dans la tumeur),
- La curiethérapie endocavitaire (source placée dans une cavité naturelle),
- La curiethérapie par sources non scellées (liquides injectés ou avalés).⁴⁰

La dose absorbée, mesurée en Gray (Gy), correspond à l'énergie absorbée par les tissus (1 Gy = 1 joule/kg). Lorsqu'un faisceau traverse les tissus, une partie est absorbée, une autre diffusée, et une dernière transmise sans interaction. Ce phénomène explique pourquoi certaines zones non ciblées peuvent tout de même recevoir des doses d'irradiation

5.3 Traitement médical :

L'ostéoradionécrose (ORN) est une complication grave après un traitement par radiothérapie, notamment dans les zones de la tête et du cou. Bien qu'il n'existe pas de traitement universel, plusieurs approches sont utilisées pour gérer la douleur et limiter la progression de la maladie⁴¹ :

Gestion de la douleur : Elle peut être difficile à contrôler, nécessitant des analgésiques, parfois des opiacés dans les cas graves.

Antibiotiques : Utilisation de médicaments comme le métronidazole ou la clindamycine pour traiter les infections bactériennes, en particulier celles causées par des bactéries anaérobies.

Réduction du tégument fibrotiques : L'usage de traitements comme le Pentoclo (combinant Pentoxifylline, Tocophérol et Clodronate) pour réduire le tissage radio-induit et favoriser la cicatrisation des lésions osseuses.

Mesures conservatrices : Éviter les irritants locaux comme le tabac et l'alcool, améliorer l'hygiène buccale, et utiliser des bains de bouche antiseptiques comme la chlorhexidine.

Traitement stimulant la formation osseuse : Des médicaments comme le Codronate (bisphosphonate) sont utilisés pour inhiber la destruction osseuse.

Un traitement précoce et une gestion adéquate des infections et de la douleur sont essentiels, bien que certaines formes restent difficiles à traiter.⁴²

5.4 Oxygénothérapie hyperbare :

L'oxygénothérapie hyperbare (OHB) consiste à faire respirer de l'oxygène pur sous pression supérieure à la normale. Elle améliore l'oxygénation des tissus, stimule la cicatrisation, la formation de collagène et l'activité des globules blancs.

Elle est utilisée comme traitement complémentaire dans les cas d'ostéoradionécrose (ORN), notamment les formes peu sévères. Elle peut aussi être proposée à titre préventif avant des extractions dentaires sur des tissus irradiés.

Cependant, son efficacité reste controversée : certaines études montrent des résultats positifs, d'autres non. Dans les formes sévères, une chirurgie reste nécessaire. L'OHB ne permet pas seule la régénération de l'os nécrosé, mais peut être utile dans une stratégie thérapeutique globale.⁴³

5.5 Traitement chirurgical :

La chirurgie est indiquée lorsque l'ostéoradionécrose ne peut plus être contrôlée par des traitements conservateurs, notamment en cas de douleur persistante, d'exposition osseuse prolongée, de fistules, de trismus ou de fracture mandibulaire. L'intervention chirurgicale vise à améliorer la qualité de vie et peut être conservatrice ou radicale, avec ou sans reconstruction. Elle comprend généralement le curetage, la séquestrectomie et la résection selon le stade de la maladie.⁴⁴

Chirurgie conservatrice :

La chirurgie conservatrice est indiquée lorsque l'ostéoradionécrose reste localisée, sans atteinte du canal alvéolaire inférieur ni rupture de la continuité de la mandibule. Elle a pour but de retirer les tissus nécrotiques afin de favoriser la cicatrisation. La formation de séquestres, correspondant à des fragments d'os morts, est une réaction naturelle de défense, au cours de laquelle les tissus de granulation et les tissus cicatriciels se séparent de l'os infecté. Lorsque ces séquestres sont visibles à l'imagerie, ils doivent être éliminés, de préférence de manière atraumatique, car une intervention trop agressive peut aggraver la nécrose. La présence de grandes quantités de tissu nécrosé compromet la guérison des plaies.⁴⁵

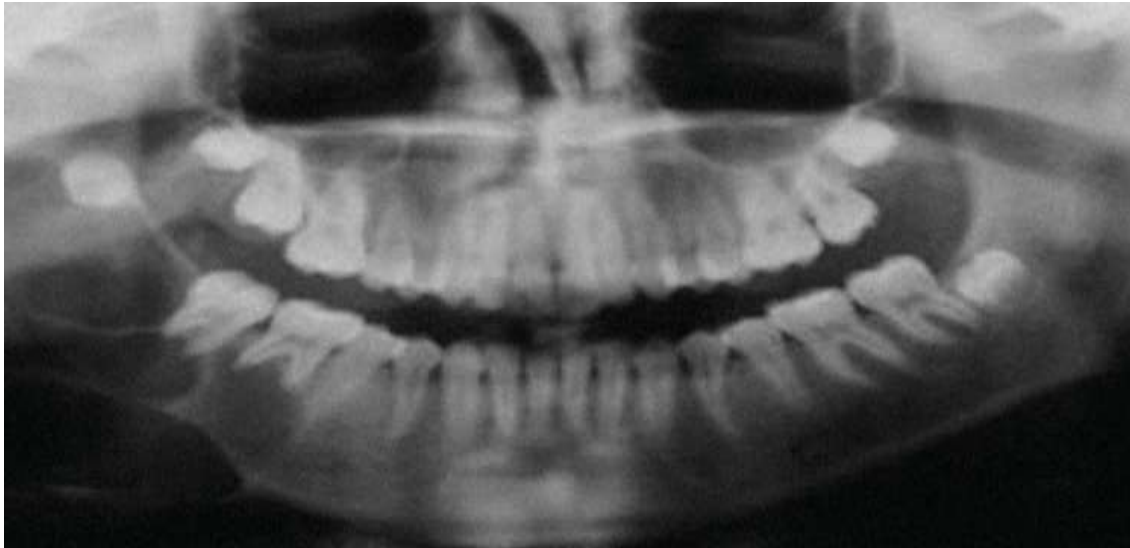


Figure I.8 : Chirurgie conservatrice⁴⁶

Chirurgie interruptrice :

La chirurgie interruptrice est indiquée en cas d'échec des traitements conservateurs ou lorsque l'ostéoradionécrose est étendue, touchant le canal alvéolaire inférieur, le bord basilaire de la mandibule ou en présence d'une fracture pathologique. Elle consiste en une résection large, parfois agressive, telle qu'une héli-mandibulectomie ou une mandibulectomie quasi totale, avec condylectomie dans les cas unilatéraux. Cette intervention se fait par voie endo-buccale et implique l'exérèse de tous les tissus osseux et mous nécrosés, suivie d'une reconstruction primaire. La planification est fondée sur l'imagerie préopératoire, mais l'étendue réelle de la

résection dépend des constatations peropératoires, notamment la présence d'os saignant sain. Des techniques comme la fluorescence osseuse à la tétracycline peuvent aider à définir les marges de résection. Toutefois, cette approche peut entraîner des complications imprévues, notamment sur la paroi buccale et la fonction de déglutition.⁴⁷



Figure I.9: Chirurgie interruptrice⁴⁸

6. Conséquences cliniques :

« L'ORN résulte d'une nécrose osseuse avasculaire secondaire à une radiothérapie, souvent pour un cancer ORL. L'os irradié devient hypoxique, hypocellulaire et hypovasculaire, ce qui compromet la cicatrisation et favorise la dévitalisation osseuse »⁴⁹

6.1 Douleurs chroniques :

La douleur constitue l'un des premiers symptômes de l'ostéoradionécrose. Elle est souvent intense, persistante et résistante aux antalgiques classiques, ce qui la rend particulièrement invalidante. Cette douleur, d'origine mixte (inflammatoire et parfois neuropathique), s'aggrave généralement lors des mouvements de la mâchoire, tels que la mastication, la parole ou la déglutition, compromettant ainsi la qualité de vie des patients. Sa prise en charge nécessite souvent une approche multidisciplinaire pour être efficace.⁵⁰

6.2 Exposition de os nécrosé :

L'ostéoradionécrose se manifeste par une zone d'os nécrosé visible dans la cavité buccale, dénudée de muqueuse et persistant au-delà de trois mois. Ce signe est évocateur et constitue une porte d'entrée majeure pour des complications infectieuses.⁵¹

6.3 Infections secondaires (ostéomyélite) :

L'exposition de l'os favorise la prolifération bactérienne pouvant entraîner une ostéomyélite, caractérisée par une inflammation, une douleur accrue, de la fièvre et parfois des écoulements ou fistules. Le traitement est souvent difficile en raison de la mauvaise vascularisation de l'os irradié, ce qui réduit l'efficacité des antibiotiques.⁵²

6.4 Fractures pathologiques :

L'irradiation affaiblit la structure osseuse, en particulier celle de la mandibule, exposant à des fractures spontanées ou causées par des traumatismes minimes. Leur prise en charge est souvent complexe en raison de la mauvaise cicatrisation post-radique.

6.5 Le trismus:

Est une limitation de l'ouverture buccale due à un spasme ou à une rigidité des muscles masticateurs. Dans le cas de l'ostéoradionécrose (ORN), la radiothérapie peut provoquer une fibrose musculaire, ce qui restreint l'ouverture de la bouche. Cela complique des fonctions vitales comme l'alimentation, la parole et l'hygiène bucco-dentaire, augmentant ainsi la morbidité du patient et impactant sa qualité de vie.

6.6 Dysfonction esthétique et fonctionnelle :

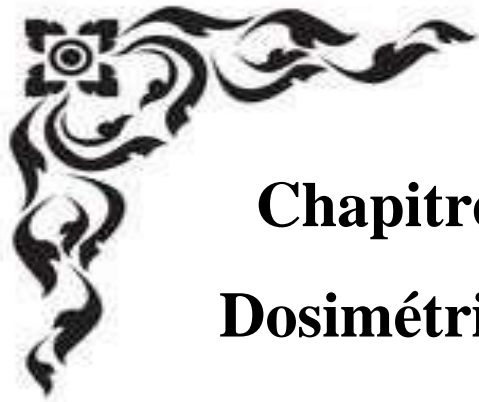
La perte osseuse sévère peut entraîner des déformations faciales et nuire à des fonctions essentielles comme la mastication, la phonation ou la déglutition.⁵³

6.7 Évolution chronique :

L'ostéoradionécrose évolue lentement et de façon chronique. La guérison spontanée est rare et les rechutes sont fréquentes sans prise en charge spécialisée.

Conclusion :

En somme, l'étude de ce chapitre a permis de mettre en lumière que l'ostéoradionécrose constitue une complication grave, chronique et multifactorielle des traitements radiothérapeutiques, notamment dans le cadre des cancers de la tête et du cou. Elle résulte d'un enchaînement de phénomènes complexes impliquant une altération vasculaire, une hypoxie tissulaire et un affaiblissement des capacités de régénération osseuse. Les facteurs de risque individuels, l'état bucco-dentaire, et les modalités techniques de l'irradiation jouent un rôle central dans son apparition. De tout ce qui précède, il ressort que la prévention et la détection précoce sont les meilleurs moyens de limiter les conséquences de cette pathologie. Une prise en charge multidisciplinaire et anticipative s'impose comme un pilier essentiel dans la gestion des patients à risque.



**Chapitre II : Radiothérapie et
Dosimétrie : Principes physiques
et Applications Médicales**



Dans la continuité du chapitre précédent, ce second chapitre s'intéresse aux fondements scientifiques du traitement à l'origine de l'ostéoradionécrose : la radiothérapie. Employée couramment en cancérologie, elle repose sur l'utilisation maîtrisée des rayonnements ionisants à des fins thérapeutiques. Pour en saisir toute la portée, il est indispensable de comprendre les types de rayonnements utilisés, leurs interactions avec la matière vivante, ainsi que les principes dosimétriques qui régissent leur emploi. Ce chapitre propose donc une approche physique, biologique et technique, essentielle pour évaluer les bénéfices et les risques de cette modalité thérapeutique.

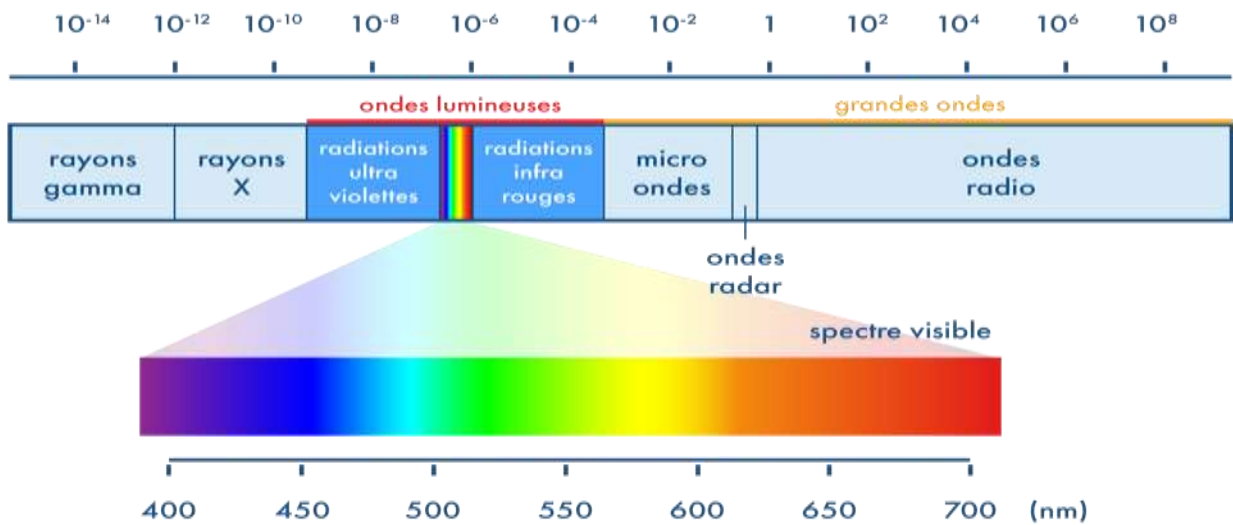


Figure II.1 : Spectre lumineux

I. Radiothérapie et impact sur les tissus bucco-dentaire :

Les rayonnements ionisants sont aujourd'hui largement employés dans le domaine médical, notamment en physique médicale. Ils sont utilisés aussi bien pour le traitement des cancers - comme en radiothérapie ou en curiethérapie - que pour le diagnostic, à travers l'imagerie médicale, telle que la radiologie (rayons X) ou la scintigraphie (rayons gamma). Leur intérêt thérapeutique réside dans leur capacité à traverser les tissus et à libérer de l'énergie au cours de

leur trajet. Cette énergie déposée provoque des effets biologiques qui permettent la destruction ciblée des cellules cancéreuses.

Ces différentes formes d'énergie forment le spectre électromagnétique, qui se divise en deux types principaux⁵⁴ :

Le rayonnement non ionisant : Le rayonnement non ionisant est un type de rayonnement qui ne provoque pas l'ionisation, c'est-à-dire qu'il n'a pas assez d'énergie pour créer des ions. Des exemples de rayonnement non ionisant incluent la lumière visible, les rayons infrarouges et les ondes radio-électriques.

Le rayonnement ionisant : est un type de rayonnement qui possède suffisamment d'énergie pour enlever des électrons des atomes en traversant la matière, comme l'air, l'eau ou les tissus vivants. Les particules alpha, les rayons gamma, les rayons X et les neutrons en sont des exemples. Ce processus peut altérer la structure des atomes et des molécules, ce qui peut endommager les cellules et avoir des effets nocifs sur la santé.

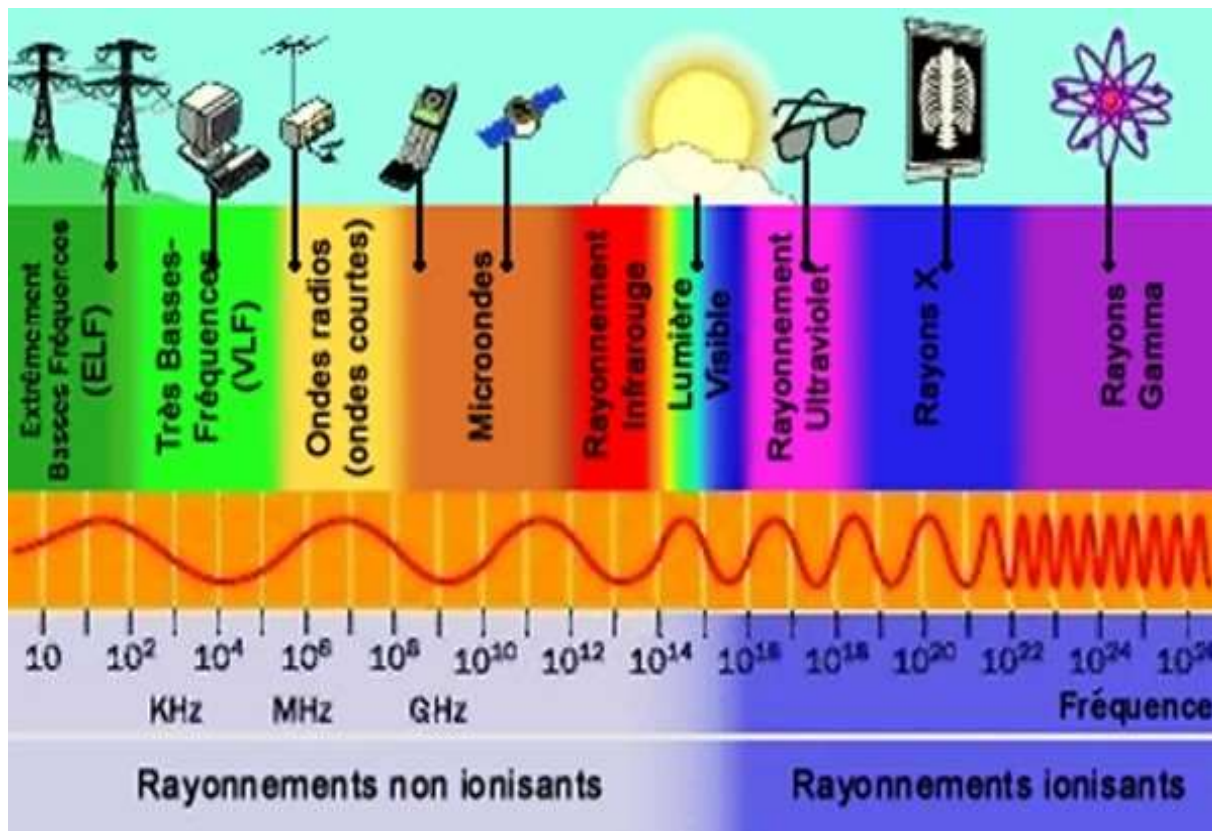


Figure II.2 : Le spectre électromagnétique⁵⁵

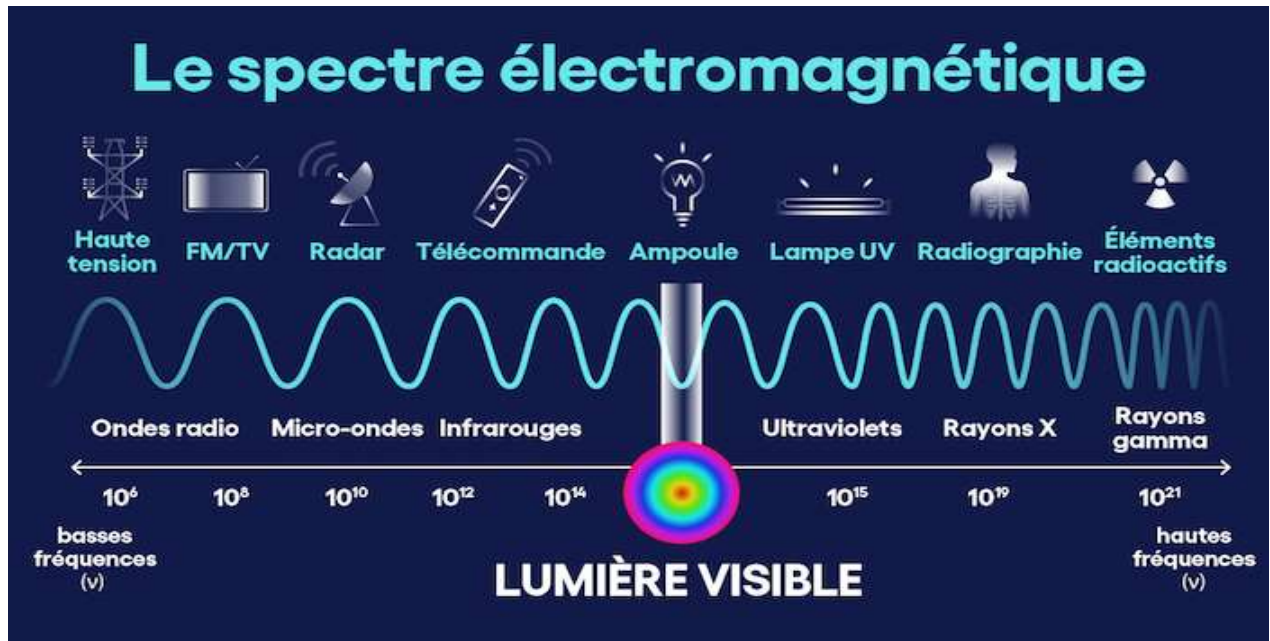


Figure II.3 : Le spectre électromagnétique

1. Définition de la radiothérapie :

« La radiothérapie est l'utilisation de rayons X, de rayons gamma, d'électrons et d'autres formes de radiations de haute énergie pour le traitement de maladies, le plus souvent cancéreuses. »⁵⁶

« La radiothérapie est une des armes incontournables dans la prise en charge de la maladie cancéreuse. »⁵⁷

Cette modalité thérapeutique repose sur l'utilisation de rayonnements ionisants afin de détruire les cellules tumorales tout en préservant au maximum les tissus sains. Elle joue un rôle majeur dans le traitement des cancers de la tête et du cou, notamment ceux touchant les structures bucco-dentaires. Elle est souvent employée seule ou en association avec la chirurgie et/ou la chimiothérapie selon le type de cancer et son stade d'évolution.

2. Principe de la radiothérapie :

L'objectif principal de la radiothérapie est de détruire les cellules cancéreuses (par destruction ou éradication), tout en préservant autant que possible les tissus et organes sains environnants.

Pour ce faire, la radiothérapie utilise des rayonnements ionisants.

En pratique, ce sont principalement les photons et les électrons qui sont utilisés, avec des capacités de pénétration variables dans les tissus. Les protons, encore peu utilisés, commencent à trouver des applications de plus en plus spécifiques. D'autres particules, comme les ions carbone, suscitent également un intérêt croissant et sont en phase d'évaluation clinique.

Ces différentes particules ont en commun leur capacité à provoquer des ionisations, essentiellement en arrachant des électrons aux atomes et aux molécules qu'elles traversent.

2.1 Interaction photons- matière :

« Dans le cadre de la radiothérapie, les tumeurs cancéreuses sont irradiées à l'aide de faisceaux de photons ou d'électrons, produits par un accélérateur linéaire clinique. Il est essentiel de comprendre les aspects physiques de l'interaction de ces particules avec la matière, car cela permet d'optimiser l'efficacité du traitement tout en minimisant les dommages aux tissus sains environnants. »⁵⁸

Les trois processus ionisants principaux :

- **L'effet photoélectrique :**

« Le photon de fluorescence peut également expulser un second électron de l'atome. Ce phénomène est alors désigné sous le nom d'électron Auger. »⁵⁹

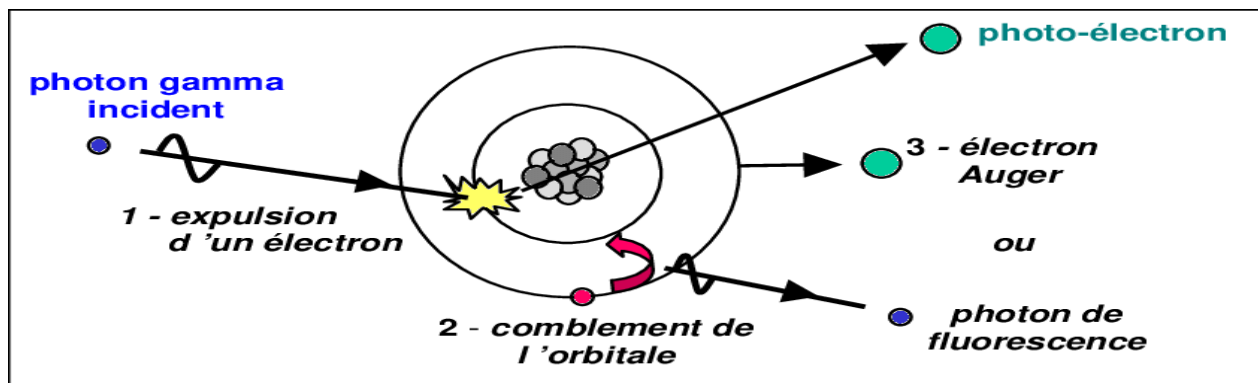


Figure II.4: représentation schématique d'effet photoélectrique

- **L'effet Compton :**

« Un photon d'énergie $h\nu$, lorsqu'il percute un électron de l'atome, transfère une énergie $h\nu'$ inférieure à $h\nu$, selon une direction formant un angle θ avec la direction d'incidence du photon. L'électron cible, extrait de son orbital par ce mécanisme et possédant une énergie cinétique E_{cin} , émerge sous un angle ϕ . Il est alors appelé électron de recul ou électron Compton. »⁶⁰

$$h\nu = h\nu' + E_{cin}$$

« La conservation de l'énergie et de la **quantité de mouvement** lors de l'interaction permet d'exprimer l'énergie du photon diffusé $h\nu'$ et l'énergie cinétique de l'électron de recul E_{cin} en fonction de l'énergie du photon incident $h\nu$. L'énergie du photon diffusé peut ainsi s'écrire : »⁶¹

$$h\nu' = h\nu / [1 + e(1 + \cos \theta)]$$

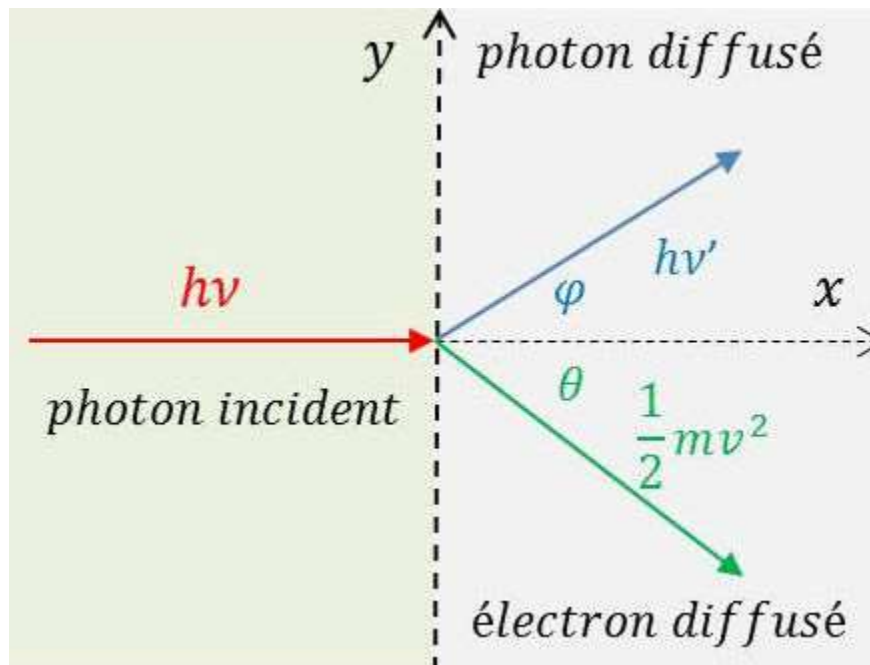


Figure II.5 : représentation schématique de la diffusion Compton

- **Création de pair :**

« L'électron et le positron sont progressivement ralentis dans la matière à la suite des collisions qu'ils subissent. Lorsque le positron devient suffisamment lent, il rencontre un électron du milieu, et les deux particules s'annihilent, produisant ainsi deux photons d'une énergie de 0,511 MeV »⁶²

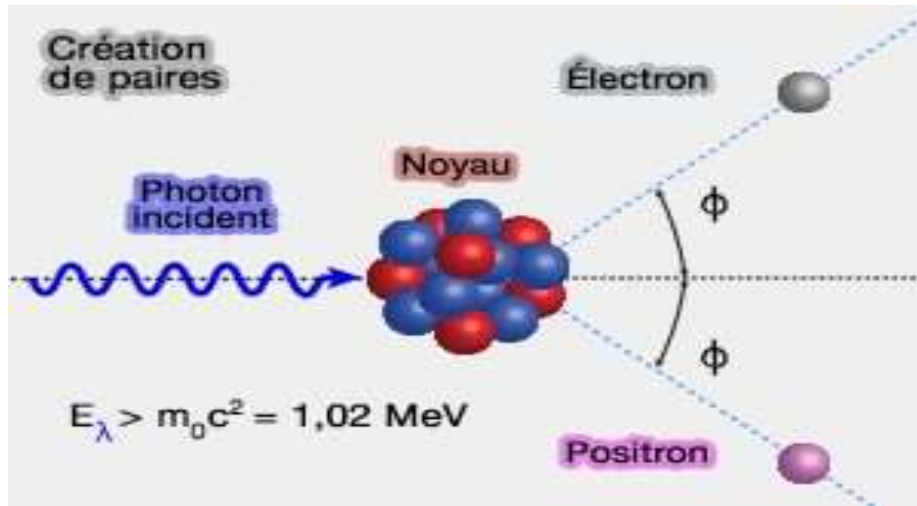


Figure II.6 : représentation schématique du phénomène de production de paires

- L'effet photoélectrique prédomine aux basses énergies et au numéro atomique de l'atome élevé.
- L'effet Compton prédomine aux moyennes énergies et au numéro atomique de l'atome faible.
- L'effet de production de paires prédomine aux hautes énergies et au numéro atomique de l'atome, élevé.

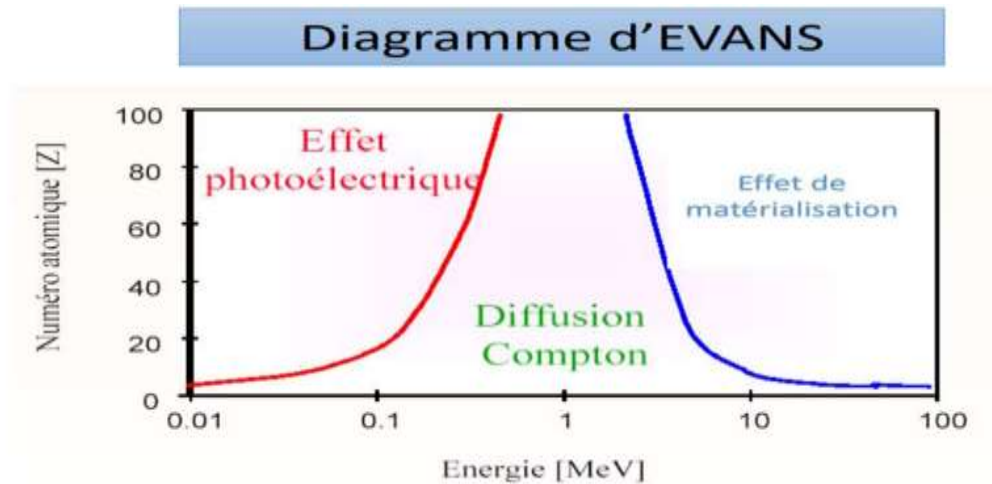


Figure II.7: Diagramme d'EVANS

2.2 Interaction électrons- matière :

« Les électrons sont des particules légères portant une charge électrique élémentaire : négative pour les négatons et positive pour les positons. Lorsqu'ils traversent un milieu matériel, ils perdent leur énergie cinétique en interagissant avec les atomes du milieu. Deux types d'interactions sont possibles :

Avec les électrons atomiques : on parle alors de collisions, pouvant entraîner soit une excitation, soit une ionisation de l'atome

Avec les noyaux atomiques : cette interaction provoque un rayonnement de freinage, appelé aussi bremsstrahlung. »⁶³

- **L'ionisation :**

« Lorsque l'énergie transférée par l'électron incident dépasse l'énergie de liaison de l'électron atomique, ce dernier est expulsé de l'atome, provoquant une ionisation.

En général, l'énergie cédée par l'électron incident lors de l'ionisation est relativement faible par rapport à son énergie cinétique totale. Cela implique qu'il faudra plusieurs interactions avant que l'électron ne perde toute son énergie cinétique et finisse par s'arrêter dans la matière. »⁶⁴

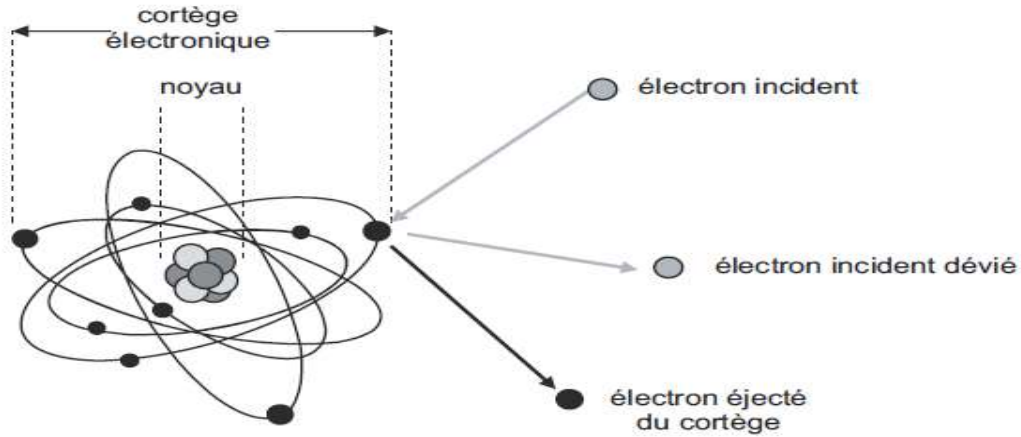


Figure II.8 : phénomène d'ionisation

- **L'excitation :**

« Lorsqu'un électron atomique reçoit une quantité d'énergie égale à la différence entre les énergies de liaison de deux couches électroniques, il est excité et se déplace vers une couche moins liée.

Pour revenir à son état énergétique initial, l'électron émet un photon dont l'énergie correspond exactement à l'écart entre les deux niveaux électroniques. »⁶⁵

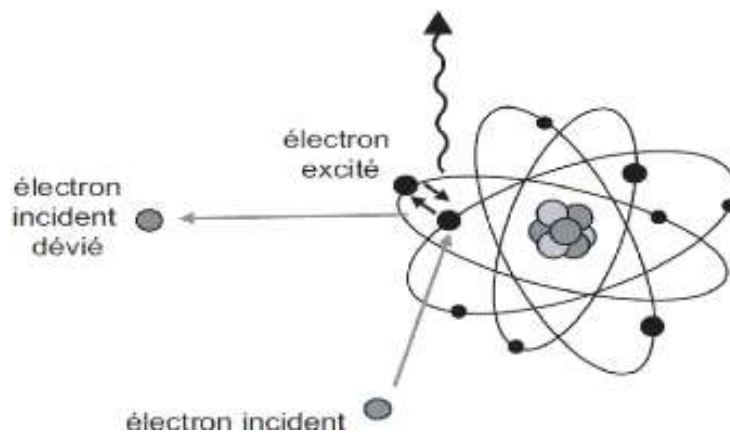


Figure II.9 : phénomène d'excitation

- **Le rayonnement de freinage :**

« Dans certains cas plus rares, les électrons peuvent interagir avec les noyaux atomiques du milieu traversé. Lorsqu'un électron incident est dévié par le champ électrique (champ coulombien) d'un noyau, cette déviation entraîne l'émission d'un rayonnement de freinage. Ce type d'interaction se produit principalement avec des électrons à très haute énergie, et dans des milieux composés d'atomes lourds, où la probabilité de ce phénomène est plus élevée »⁶⁶

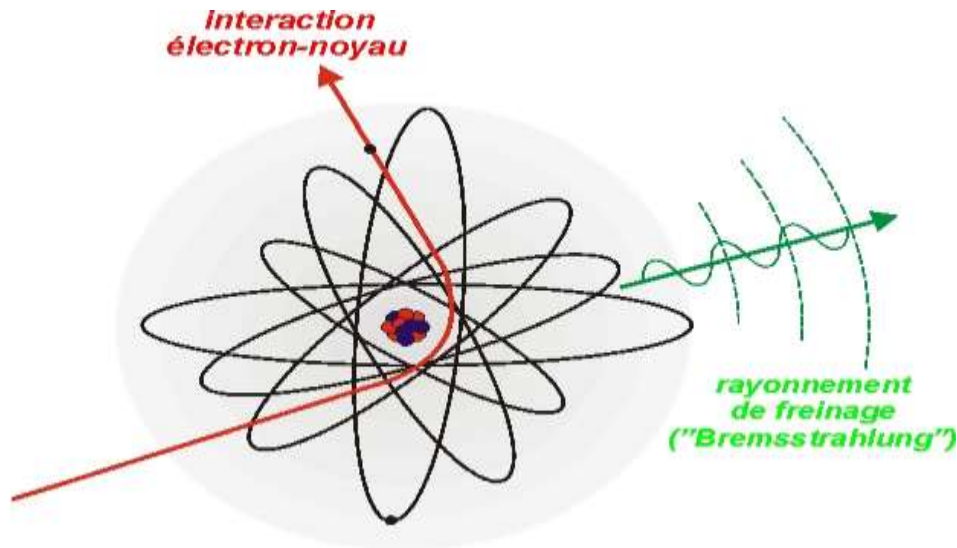


Figure II.10 : phénomène de freinage

2.3 Radiobiologie :

La radiothérapie vise à détruire les cellules cancéreuses tout en préservant au maximum les tissus et organes sains avoisinants. Pour atteindre cet objectif, elle repose sur l'utilisation de rayonnements ionisants. En pratique, ce sont principalement les photons et les électrons qui sont utilisés, chacun possédant une capacité de pénétration différente dans les tissus. Les protons, bien que moins répandus, font l'objet d'indications thérapeutiques de plus en plus ciblées. D'autres particules, comme les ions carbones, présentent également un intérêt potentiel et sont actuellement à l'étude.

Toutes ces particules ont en commun la capacité de provoquer des ionisations, notamment en arrachant des électrons aux atomes et aux molécules qu'elles traversent.

En radiothérapie, les photons peuvent provoquer des dommages moléculaires de deux manières :

- Par effet direct : en rompant directement les liaisons chimiques de l'ADN.
- Par effet indirect : plus fréquent, cet effet résulte de la radiolyse de l'eau intracellulaire, générant des radicaux libres. Ces radicaux vont ensuite interagir avec l'ADN, entraînant des altérations pouvant conduire à la mort cellulaire.

Son principe repose sur l'interaction des rayonnements avec l'ADN des cellules ciblées, entraînant des dommages directs par ionisation des macromolécules ou des dommages indirects via la formation de radicaux libres provenant de l'eau cellulaire. Ces altérations empêchent les cellules tumorales de se diviser et finissent par provoquer leur mort. Ainsi que le montre le schéma suivant :

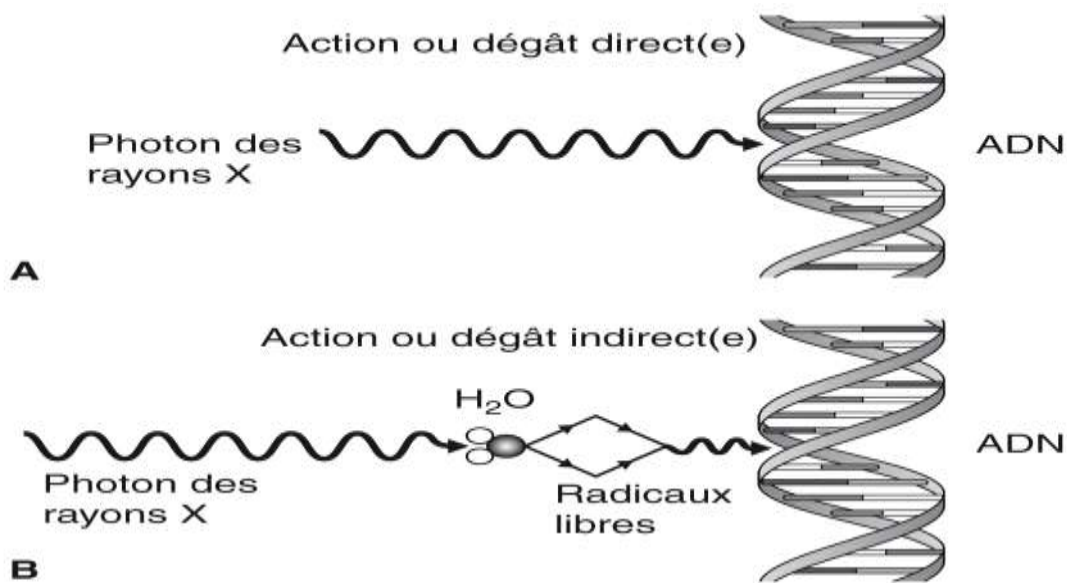


Fig. 7.1 Schéma illustrant l'action et les effets nocifs des rayonnements sur les cellules. **A.** Effet direct ou dommage direct : les photons des rayons X interagissent directement avec l'ADN. **B.** Effet indirect ou dommage indirect : les photons des rayons X ionisent l'eau pour produire des radicaux libres qui vont endommager l'ADN.

Figure II.11: Schéma illustrant l'action et les effets nocifs des rayonnements sur les cellules⁶⁷

3. Types de radiothérapie :

La radiothérapie se divise en deux principales techniques : la curiethérapie, où des sources radioactives sont placées directement à proximité de la tumeur (souvent à l'intérieur du corps), et la radiothérapie externe, dans laquelle la source de radiation se situe à l'extérieur du patient. Ce travail se focalise particulièrement sur la radiothérapie externe.:

3.1 Radiothérapie externe :

Cette technique utilise une source de rayonnement ionisant qui délivre une dose située à l'extérieur du patient, afin de traiter de manière ciblée la zone à traiter.

« Les rayonnements utilisés sont principalement des photons de rayons X à haute énergie (plusieurs mégavolts), produits par des accélérateurs de particules. Ces accélérateurs, qui accélèrent d'abord des électrons, les font ensuite percuter une cible en tungstène, générant ainsi des rayons X. L'accélérateur peut tourner à 360° autour du patient allongé sur la table de traitement, ce qui permet d'orienter précisément le faisceau de rayons X. »⁶⁸

« vise à administrer une dose élevée de rayons X de haute énergie (MeV) aux tumeurs cancéreuses, afin d'améliorer le contrôle loco-régional tout en minimisant l'exposition des tissus sains pour réduire les risques de complications »⁶⁹

Il existe plusieurs techniques de radiothérapie externe : la radiothérapie conventionnelle, la radiothérapie conformationnelle ...etc.

- **La radiothérapie conventionnelle :**

« La radiothérapie conventionnelle est de moins en moins utilisée. Il s'agit d'un traitement simplifié en 2D, basé sur des radiographies classiques, et parfois même sans données anatomiques spécifiques. Le temps de traitement est calculé de manière approximative en fonction uniquement de la profondeur de la zone cible. Aujourd'hui, ce type de traitement est principalement réservé aux situations d'urgence ou aux soins palliatifs. Les champs de traitement sont généralement simples, souvent de forme carrée ou rectangulaire. »⁷⁰

- **La Radiothérapie conformationnelle :**

« La radiothérapie conformationnelle vise à adapter au mieux la forme de l'enveloppe isodose de haute intensité à celle du volume cible (la tumeur). Pour cela, des caches sont utilisés afin de modeler les faisceaux de rayonnement de manière à épouser précisément la forme de la tumeur. »⁷¹

« Bien qu'il existe encore quelques centres qui utilisent des caches amovibles en plomb, façonnés manuellement, la majorité des équipements modernes de radiothérapie sont aujourd'hui équipés de collimateurs multilames. Ces dispositifs, contrôlés par ordinateur, permettent de moduler automatiquement la forme du faisceau en fonction des données anatomiques du patient. »⁷²

3.2 Radiothérapie interne (Curiothérapie) :

« Est une technique d'irradiation consistant à introduire des sources radioactives fortes (iridium) au contact à l'intérieur même de la tumeur. Ce traitement est donc optimal pour cibler directement et avec précision la zone concernée par le cancer sans trop irradier les organes situés à proximité. »⁷³

Le choix entre ces types de radiothérapie dépend de divers éléments, notamment la localisation, la taille et la nature de la tumeur, ainsi que l'état de santé du patient.

4. Effets secondaires de la radiothérapie sur la cavité orale :

Lorsque la radiothérapie est utilisée pour traiter les différents types de cancer, la cavité orale est particulièrement sensible aux rayonnements. Elle peut alors subir divers effets secondaires, tels que : « Difficulté à avaler (dysphagie) et à mâcher, sécheresse buccale (xérostomie) et des plaies dans la bouche et le pharynx, inflammation de la muqueuse buccale (mucite), réduction de la salive, rendant celle-ci plus épaisse et modification ou perte du goût (dysgueusie). »⁷⁴

4.1 Dysphagie : « est une sensation de blocage ou de gêne au passage du bol alimentaire (solide ou liquide) lors de la déglutition. Elle est classée en deux types principaux : dysphagie oro-pharyngée et dysphagie œsophagienne. »⁷⁵ Elle est causée par une inflammation ou une douleur au niveau de la gorge et de l'œsophage.

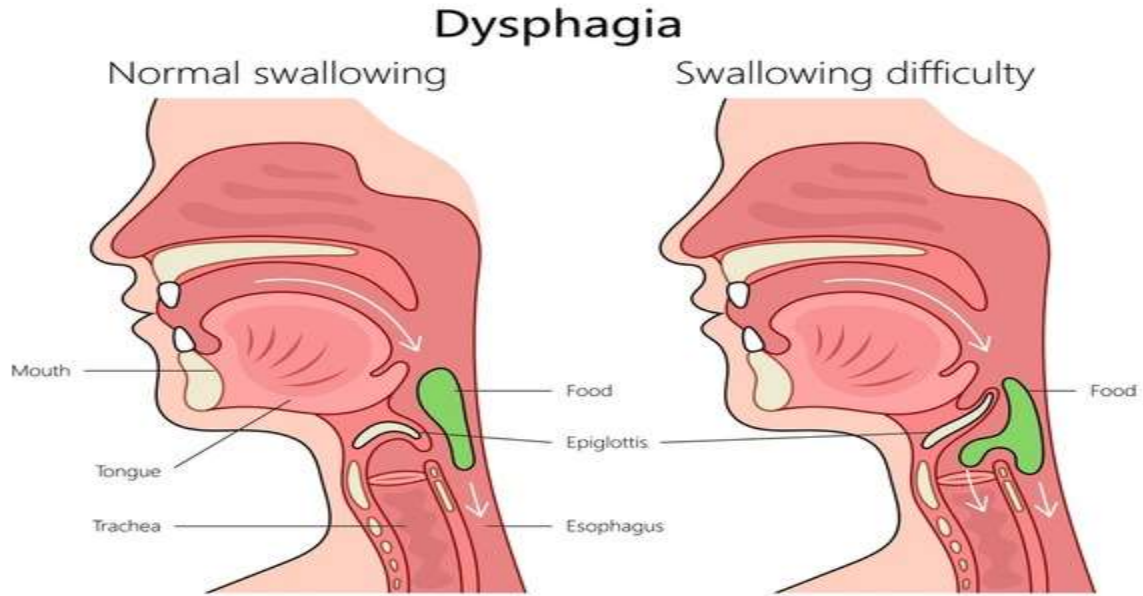


Figure II.12 : Dysphagie⁷⁶

4.2 Xérostomie : « est une sensation subjective de bouche sèche. Elle est la conséquence d'une anomalie quantitative (diminution ou absence de sécrétion salivaire) ou qualitative de la salive (modification de la composition salivaire) ». ⁷⁷Elle résulte souvent d'une atteinte des glandes salivaires, notamment après une radiothérapie de la tête et du cou.



Figure II.13 : Xérostomie⁷⁸

4.3 Mucite : « est une inflammation de la muqueuse qui recouvre l'intérieur des cavités et des viscères. Elle est due à l'altération de l'épithélium et du tissu conjonctif sous-jacent, à l'origine d'ulcérations. »⁷⁹

« On utilise plus volontiers le terme de stomatite que celui de mucite pour les lésions orales. »⁸⁰

La mucite radio-induite, quant à elle, résulte de l'effet cytotoxique des radiations sur les cellules basales de l'épithélium buccal. Elle apparaît généralement à partir de la 2^e semaine de radiothérapie et atteint son intensité maximale entre la 3^e et la 4^e semaine de traitement.

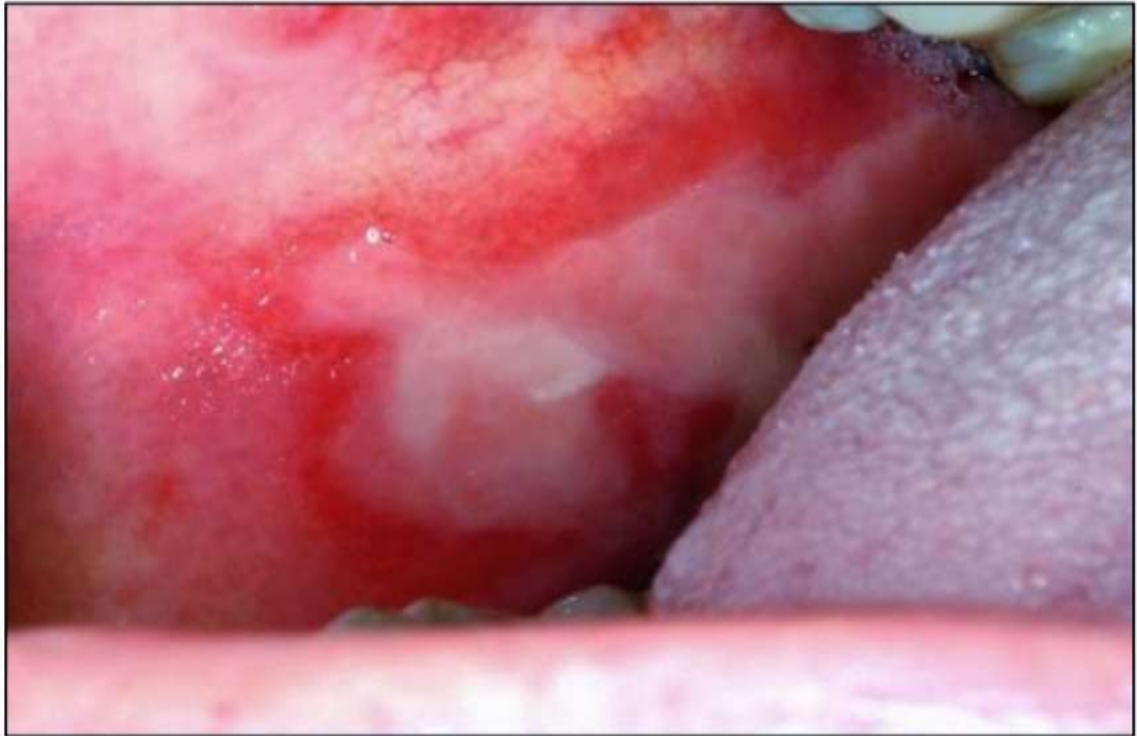


Figure II.14: Mucite⁸¹

4.4 Lésions buccales et pharyngées : apparition d'ulcération ou de plaies douloureuses dans la bouche et la gorge, rendant l'alimentation difficile.

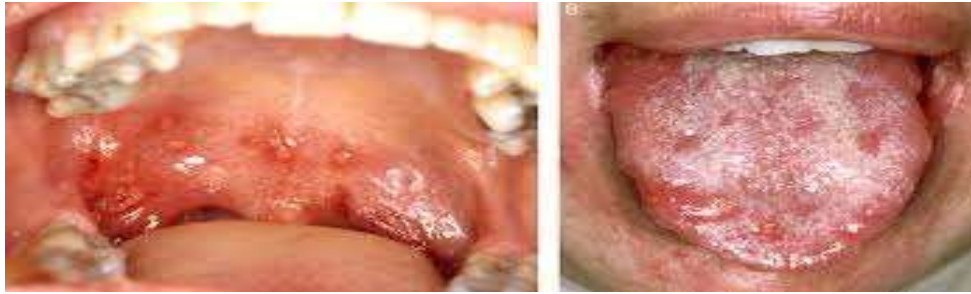


Figure II.15 : Lésions buccales et pharyngées⁸²

Ces effets peuvent être temporaires ou persistants selon la durée et l'intensité du traitement. Une bonne hygiène buccale, l'hydratation adéquate et un suivi médical permettent de les atténuer et d'améliorer le confort du patient.

II. Dosimétrie :

« La dosimétrie correspond à l'évaluation de la quantité de rayonnements ionisants (rayons X, rayons gamma, bêta, neutrons) absorbée par un objet ou un individu. Elle constitue un outil essentiel de la radioprotection, permettant d'estimer la dose équivalente ou la dose efficace reçue. »⁸³

« La dosimétrie est un outil qui permet de quantifier la dose de rayonnements absorbée par la matière, tout en vérifiant le bon fonctionnement des installations utilisant des rayonnements ionisants. »⁸⁴

1. Les différents types de dose

Il existe plusieurs concepts de dose utilisés pour évaluer l'impact des rayonnements sur différents tissus ou organes. Voici les étapes principales du calcul des doses :

1.1 Dose absorbée (exprimée en Gray, Gy) :

La dose absorbée représente l'énergie transférée par le rayonnement à un objet ou à un organisme, exprimée en joules par kilogramme (J/kg). C'est la mesure fondamentale de l'énergie cédée par le rayonnement.

1.2 Dose équivalente (exprimée en Sievert, Sv) :

La dose équivalente prend en compte non seulement l'énergie absorbée par le tissu, mais aussi le type de rayonnement (comme les rayons X, gamma, etc.). Elle est calculée en multipliant la dose absorbée par un facteur spécifique à chaque type de rayonnement. Ce facteur permet d'évaluer l'impact biologique du rayonnement, car certains types de rayonnements sont plus nuisibles que d'autres.

1.3 Dose efficace (exprimée également en Sievert, Sv) :

La dose efficace considère, en plus du type de rayonnement, le type de tissu ou d'organe touché. Certaines parties du corps, comme la moelle osseuse ou les organes reproducteurs, sont plus sensibles aux rayonnements que d'autres. La dose efficace permet ainsi de mesurer l'impact global sur la santé en tenant compte de la vulnérabilité des différents tissus.

2. Unité de dose :

L'unité de dose du Système international (SI) est le gray (Gy), qui est une unité dérivée, équivalente à un joule par kilogramme (J/kg). Ainsi, on peut exprimer cette relation comme suit :

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$$

Le gray (Gy) a été adopté pour remplacer d'anciennes unités de mesure de la dose, mais celles-ci sont encore couramment utilisées, notamment aux États-Unis. L'une de ces unités est le rad (rd), qui correspond à 0,01 gray. Cette relation peut être écrite ainsi :

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy} = 1 \text{ centigray (cGy)}$$

Le rad est donc une unité plus petite que le gray, et l'usage du centigray (cGy) est parfois préféré dans certains contextes, notamment en radiothérapie.

3. Les grandeurs radiométriques et dosimétriques des rayonnements :

Sont des grandeurs accessibles quantitativement par le calcul ou par la mesure, On distingue :

- **Les grandeurs radiométriques** servant à caractériser le champ de rayonnement.
- **Les grandeurs dosimétriques** servant à caractériser l'effet « physique » des

rayonnements sur la matière en termes d'énergie transférée ou de dépôt d'énergie.⁸⁵

➤ **L'énergie cédée :**

Est La somme du dépôt d'énergie « ϵ_i », consécutif à une interaction « i », exprimée en Joule (J). Elle est définie par la relation suivante :

$$E = \sum \epsilon_i = \epsilon_{in} - \epsilon_{out} + \sum Q$$

Où :

ϵ_{in} : L'énergie incidente de la particule ionisante (à l'exclusion de l'énergie de masse),

ϵ_{out} : La somme de toutes les énergies sortant de l'interaction sous forme de particules ionisantes (à l'exclusion de l'énergie de masse).

$\sum Q$: est la modification de l'énergie de masse du noyau et de toutes les particules impliquées dans l'interaction⁸⁶

➤ **L'énergie massique ou spécifique :**

L'énergie massique ou spécifique Z est le quotient de l'énergie cédée par les rayonnements ionisants (E) dans le volume de matière de masse (m).

$$Z = \frac{E}{m}$$

Où :

E : L'énergie cédée par les rayonnements ionisants

m : La masse de la matière dans un volume

Exprimée en Gray tel que : $1\text{Gy} = 1\text{J.Kg}^{-1}$ ⁸⁷

3.1 Les grandeurs radiométriques :

➤ **La fluence⁸⁸ :**

Est la Quantité de particules traversant un élément de surface autour du point P. exprimée en m^{-2}

$$\Phi = \frac{dN}{da}$$

Où :

dN : La quantité de particules

da : L'élément de surface

➤ **Le débit de fluence (flux de photons)⁸⁹:**

Est la Quantité de particules traversant un élément de surface autour du point P par unité de temps, exprimé en $m^{-2} .s^{-1}$

$$\Phi = \frac{d\phi}{da} = \frac{d^2N}{da.dt}$$

➤ **La fluence d'énergie⁹⁰ :**

Est définie comme étant le quotient dE par da , exprimée en $J.m^{-2}$.

$$\Psi = \frac{dE}{da}$$

Où :

dE : L'énergie des particules incidentes

da : Unité de surface

➤ **Le flux d'énergie ou Intensité⁹¹ :**

Le Flux d'énergie est défini comme la dérivée du flux par rapport au temps.

exprimé en $W.m^{-2}$.

$$\Psi = \frac{d\Psi}{dt} = E \frac{d^2N}{dt}$$

3.2 Les grandeurs dosimétriques :

➤ **Exposition :**

L'exposition concerne uniquement les rayonnements indirectement ionisants, et en particulier les rayons X et gamma. Selon la définition de la Commission Internationale des Unités et Mesures Radiologiques (ICRU), l'exposition est le quotient de la charge électrique dQ produite dans l'air par la masse d'air dm, soit :

Exposition = dQ /dm

Son unité dans le Système International est le coulomb par kilogramme [C. kg⁻¹].

L'unité ancienne, le Roentgen (R), était équivalente à :

$$1R = 2,58. 10^{-4} \sim C. kg^{-1}$$

➤ **Kerma :**

« Le Kerma : (Kinetic Energy Released per unit Mass in the medium) désigne l'énergie cinétique libérée dans un milieu par un rayonnement indirectement ionisant, tel que les photons ou les neutrons. Il représente la première étape du transfert d'énergie, qui se fait par collisions avec des particules secondaires. Le Kerma correspond à la somme des énergies cinétiques initiales de toutes les particules chargées mises en mouvement par le rayonnement dans un volume de masse dm du milieu. »⁹²

$$K = \frac{dE_{tr}}{dm}$$

$\sum E_{tr}$ est la somme des énergies cinétiques initiales des particules chargées libérées et dm est masse de matière considérée.

Dans le système international des unités (SI), le kerma est exprimé en gray (symbole: Gy):

$$1Gy = 1 J/kg.$$

Le kerma s'applique à tous les rayonnements indirectement ionisants. Lorsqu'il est mesuré dans l'air, on parle de kerma dans l'air. Pour une source polyénergétique, son calcul nécessite de prendre en compte l'ensemble des énergies du spectre et leurs interactions avec le milieu :

$$K = \int \Psi(E) \left(\frac{\mu_{en}(E)}{\rho} \right) dE$$

➤ **Le débit de Kerma⁹³ :**

Est le quotient de variation du KERMA dK pendant l'intervalle de temps dt .

$$K' = \frac{dK}{dt}$$

Où :

dK : Variation du Kerma,

dt : Intervalle de temps.

Unités : $J.kg^{-1}.s^{-1}$ Soit le $Gy.s^{-1}$, on utilise plus généralement le $mGy.h^{-1}$ Ou le $\mu Gy.h^{-1}$

➤ **Le TERMA :**

TERMA (Total Energy Released per unit Mass) : représente l'énergie totale libérée par unité de masse, en J/kg ou gray (Gy). Cette grandeur caractérisée par le coefficient linéaire d'atténuation (μ) mesurée en cm^{-1} . Ce coefficient représente la probabilité d'interaction par unité de parcours. Il varie avec l'énergie (E), la densité (ρ) et le nombre atomique (Z effective).

Le TERMA est donné par la fonction suivant :

$$\text{Terma} = \Psi(\mu \rho)$$

Ψ : la fluence énergétique de faisceau ⁹⁴

➤ **La dose absorbée :**

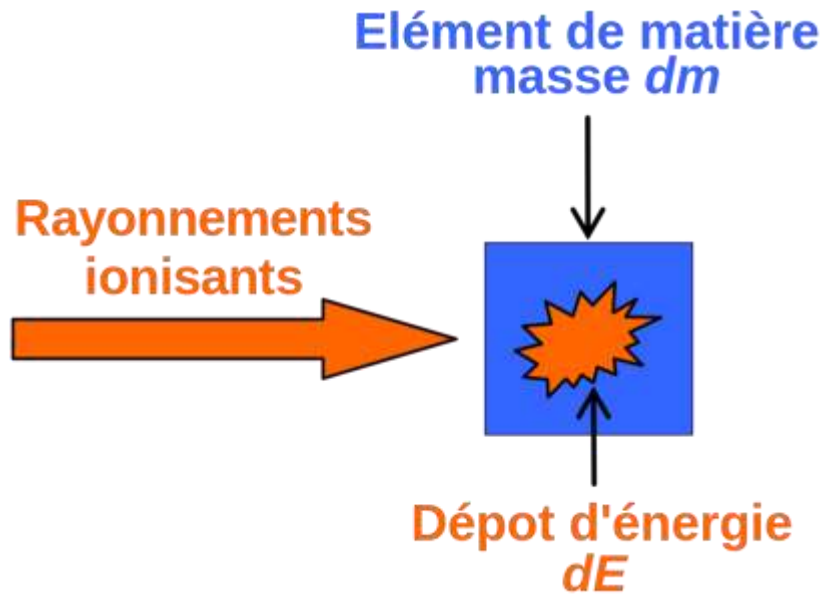
C'est une grandeur plus intéressante en radiothérapie et en radiobiologie. La dose absorbée (D) est l'énergie absorbée par unité de masse.

$$D = dE/dm \quad [Gy]$$

Où :

dE : est l'énergie moyenne communiquée par le rayonnement à la matière, dans un élément de volume, et dm est la masse de la matière contenue dans cet élément de volume.

Dans ce règlement, le terme « dose absorbée » désigne la dose moyenne reçue par un tissu ou un organe. L'unité de dose absorbée est le gray (Gy).



La distinction entre le Kerma et la dose absorbée peut être comprise en observant que l'énergie transférée aux électrons par les photons n'est pas entièrement déposée dans le milieu irradié. En effet, une partie de cette énergie est dissipée sous forme de rayonnement de freinage (bremsstrahlung).

Dans le cas d'une irradiation par photons, et sous les conditions d'équilibre électronique local, la dose absorbée D peut être exprimée par la relation suivante :

$$D = \phi E (\mu_{en} / \rho)$$

Ou:

ϕ = fluence des particules (particules / m^2)

E = énergie du rayonnement ionisant (J)

(μ_{en} / ρ) = Le coefficient massique d'absorption d'énergie (m^2/Kg)

➤ **La dose équivalente :**

Si on multiplie la dose absorbée dans un tissu vivant par un facteur radiologique. W_R ; On obtient une dose équivalente H_T qui mesure l'effet biologique et permet d'obtenir une unité qui rend compte du degré de nocivité de différents types de rayonnement :

$$H_T = \sum W_R D_{TR}$$

Où :

H_T : Dose équivalente dans le tissu, ou l'organe T.

D_{TR} : Dose absorbée moyenne dans le tissu ou l'organe T due au rayonnement R.

W_R : Facteur de pondération radiologique

L'unité de la dose équivalente est le Sievert (Sv), l'ancienne unité est le rem : $1\text{Sv} = 100\text{ rem}$.

- **La Dose efficace⁹⁵ :**

Certains tissus ou organes du corps humain sont plus radiosensibles que d'autres. Une même dose équivalente peut induire des effets biologiques et des risques différents en fonction de l'organe irradié. On a introduit une nouvelle grandeur, caractéristique de l'effet des rayonnements ionisant sur le vivant.

La dose efficace, notée E. C'est la somme des doses équivalentes délivrées aux différents tissus et organes du corps, par exposition externe et interne, et pondérées par un facteur de pondération tissulaire W_T . Exprimée en Sv

$$E = \sum W_T H_T$$

Où :

W_T : Facteur de pondération tissulaire

H_T : Dose équivalente dans un tissu, ou un organe T.

- **L'équilibre électronique :**

« Le Kerma et la dose absorbée s'expriment dans les mêmes unités, mais ils ne sont égaux que lorsque l'équilibre électronique local est atteint dans le milieu irradié.

Lorsqu'un photon interagit par effet Compton, il transfère son énergie à un électron du milieu. Cet électron secondaire est alors projeté, généralement dans la direction du faisceau incident. À une certaine profondeur correspondant à la distance maximale parcourue par ces électrons dans la matière un équilibre se crée : le nombre d'électrons générés dans une couche de matière devient égal au nombre d'électrons qui s'y arrêtent. C'est cette situation qui définit l'état d'équilibre électronique. »⁹⁶

Lorsqu'un photon de haute énergie pénètre un matériau, le Kerma (K) est maximal à la surface, en raison de la forte fluence des photons à cet endroit. En s'enfonçant dans le milieu, cette fluence diminue, tandis que celle des électrons secondaires produits augmente, entraînant une élévation progressive de la dose absorbée (D).

Cette dose atteint un maximum à une certaine profondeur z_{\max} , où la fluence des photons devient égale à celle des électrons secondaires : c'est la condition d'équilibre électronique.

Au-delà de ce point, les deux fluences décroissent ensemble.

On distingue trois zones selon le rapport $B=D/K$:

$B < 1$: D augmente, K diminue.

$B = 1$: D et K sont égaux — équilibre électronique.

$B > 1$: D et K diminuent en parallèle

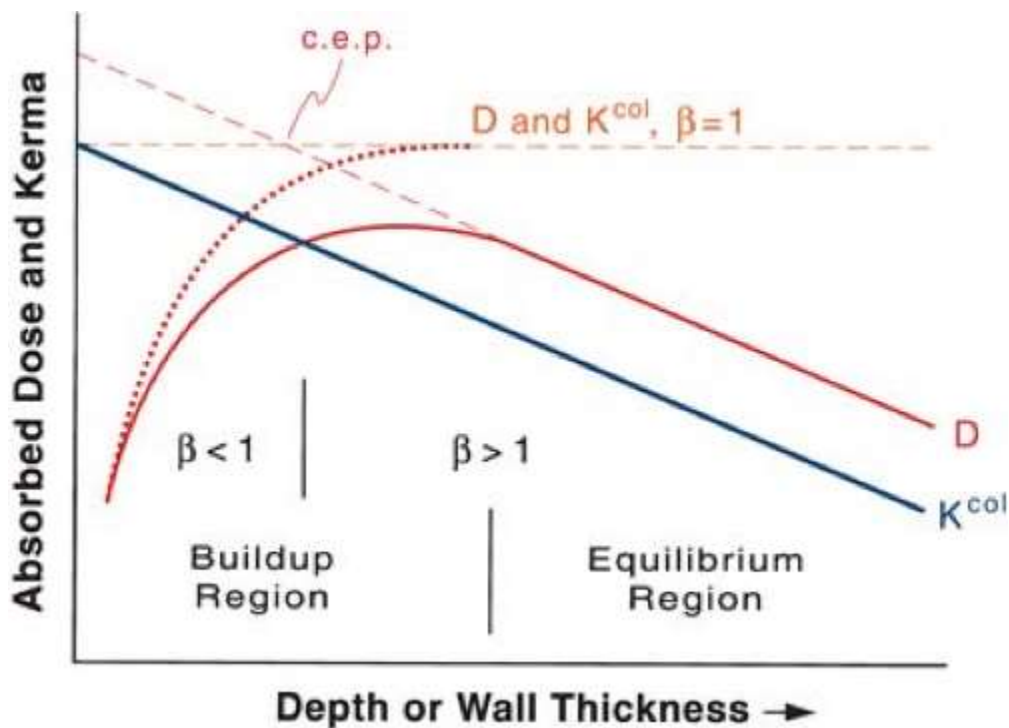


Figure II.16: L'équilibre électronique

En définitive, ce chapitre a mis en évidence que la radiothérapie, bien qu'indispensable en cancérologie, repose sur des mécanismes physiques complexes dont la compréhension est indispensable pour en maîtriser les effets. Les interactions rayonnement-matière, la nature des particules utilisées, ainsi que la rigueur de la dosimétrie sont autant de facteurs clés pour atteindre un traitement efficace et sûr. La synthèse des éléments présentés montre que seule une planification rigoureuse, associée à un contrôle précis des doses, permet de réduire les risques de complications telles que l'ostéoradionécrose. Ainsi, la radiothérapie moderne exige une collaboration étroite entre physiciens médicaux, radiothérapeutes et cliniciens pour concilier efficacité thérapeutique et préservation des tissus sains



Chapitre III :
Radioprotection et aspects
pratiques



I. Radioprotection :

Introduction :

Le système de radioprotection vise à prévenir les effets des rayonnements ionisants. Il repose sur trois principes essentiels⁹⁷ :

Justifier les activités impliquant un risque d'exposition⁹⁸.

Optimiser les doses pour qu'elles soient les plus faibles possible⁹⁹.

Limiter les doses reçues par chaque individu selon les normes établies¹⁰⁰.

1. Les types d'exposition aux rayonnements ionisants

L'exposition totale du corps humain regroupe l'exposition interne et externe. Elle peut être globale (tout le corps) ou partielle (limitée à un organe ou tissu).

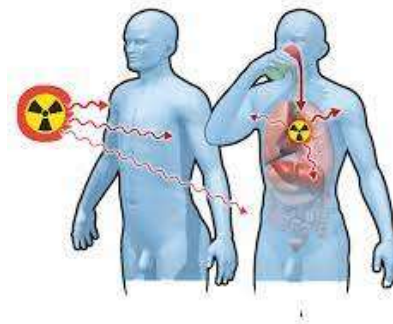


Figure III.1 : L'exposition des rayonnements ionisants

Exposition externe :

La contamination externe, quant à elle, est causée par des substances radioactives déposées sur la peau, les vêtements, etc.

Exposition interne :

L'exposition interne se produit lorsque des substances radioactives sont présentes à l'intérieur du corps. Ces substances peuvent pénétrer par trois voies principales :

- **L'inhalation** : Les substances inhalées (poussières, gaz, aérosols) peuvent s'accumuler dans les poumons et se propager via le sang vers des organes cibles¹⁰¹.

- **L'ingestion** : L'ingestion est la principale voie de contamination pour les populations, via les aliments et l'eau.¹⁰²
- **Le passage au travers de la peau** : Le risque de contamination par contact cutané concerne uniquement les activités professionnelles.¹⁰³

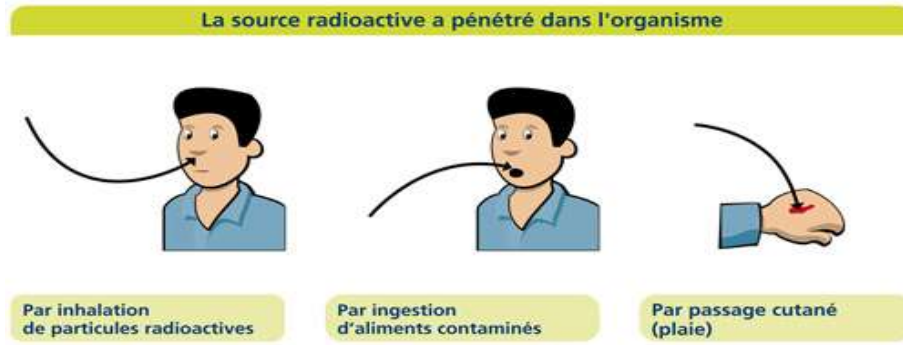


Figure III.2: les expositions internes

2. Les règles de la radioprotection :

Les professionnels de l'imagerie par rayons X sont exposés à des rayonnements externes. Pour réduire la dose reçue, trois facteurs sont essentiels : la distance par rapport à la source, le temps d'exposition, et l'utilisation d'écrans de protection.



Figure III.3 : Protection contre l'exposition externe

3. Catégories des personnes exposées au rayonnement :

Les travailleurs et limitation des zones :

En radiologie, l'exposition des travailleurs provient principalement des rayonnements rétrodiffusés. Les travailleurs sont classés selon leur poste de travail, en fonction de leur niveau d'exposition :

- **Travailleurs de catégorie A :**

Les travailleurs exposés aux rayonnements dans le cadre de leur activité sont considérés à risque lorsqu'ils peuvent, en conditions normales, dépasser 30 % des limites annuelles d'exposition¹⁰⁴.

- **Travailleurs de catégorie B :**

Les travailleurs non directement exposés aux rayonnements peuvent tout de même être concernés si leurs conditions de travail normales risquent de dépasser 10 % des limites annuelles d'exposition¹⁰⁵.

Zone contrôlée :

Il s'agit d'une zone réglementée pour des raisons de protection contre les rayonnements ionisants, où l'exposition des travailleurs peut dépasser 30 % de la limite annuelle autorisée, en conditions normales de travail.¹⁰⁶

Zone surveillée :

C'est une zone réglementée en raison de la protection contre les rayonnements ionisants, où l'exposition des travailleurs peut, en conditions normales, dépasser 10 % de la limite annuelle autorisée¹⁰⁷



Figure III.4 : représentation schématisques pour les index des zones

Les patients :

Les patients sont catégorisés en fonction de leur âge (adultes ou enfants) et de leur genre (hommes ou femmes)¹⁰⁸.

Les populations :

La population peut également être exposée à des rayonnements d'origine médicale, notamment les personnes amenées à circuler dans un établissement de santé.¹⁰⁹

4. Les limites de dose :

Les rayonnements ionisants représentent un risque important pour les personnes exposées, nécessitant des mesures de prévention et de limitation.¹¹⁰

Les limites d'exposition fixées pour les travailleurs de catégorie A et B sont :

Les limites de la dose efficace par année

Organes entier	20mSv	Organes entier	6mSv
Peau (rapporte a cm2)	500mSv	Peau (rapporte a lcm2)	150mSv
Cristallin	150mSv	Cristallin	45mSv
Mains, avant-bras, pieds, chevilles	500mSv	Mains, avant-bras, pieds, chevilles	150mSv
Tableau III.1 : Les limites de dose efficace pour les travailleurs de catégorie A¹¹¹		Tableau III.2 : Les limites de dose efficace pour les travailleurs de catégorie B¹¹²	

Les limites d'expositions fixées à public :

Les limites de La dose efficace par année

Organisme entier	1mSv
Peau (rapporte 1cm^2)	50mSv
Cristallin	15mSv

Tableau III.3 : les valeurs des limites de dose efficace pour l'exposition fixée a public¹¹³

Femmes enceintes :

Il est interdit d'affecter une femme enceinte ou allaitante à un poste comportant un risque de contamination radioactive. La dose maximale autorisée pendant la grossesse est de 1 mSv. La manipulation de sources non scellées est également interdite¹¹⁴.

5. Les moyens de protection¹¹⁵ :

La protection des patients et des personnes exposées aux rayonnements ionisants repose sur des principes fondamentaux visant à minimiser les risques sanitaires :

5.1 Pour personnel :

➤ Dosimètres personnel

Le dosimètre individuel est un dispositif essentiel permettant de mesurer l'équivalent de la dose reçue par un individu exposé à des rayonnements ionisants dans le cadre de son activité professionnelle. Il existe deux types principaux de dosimètres utilisés :

Dosimètre passif : est un instrument de mesure destiné à mesurer l'équivalent de dose reçue par une exposée à un rayonnement ionisant, dans le cadre de son activité professionnelle.

Dosimètre actif: Tout comme homologue mesure une dose équivalente corps entier. Il est utilisée en zone opérationnelle.



Figure III.5 : dosimètre passif et actif

➤ Les moyens de protection :



Figure III.6 : Les moyens de protection.

5.2 Pour le patient :



Figure III.7 : Cache oculaire et Cache thyroïde.

I. Les moyennes de contention¹¹⁶ :

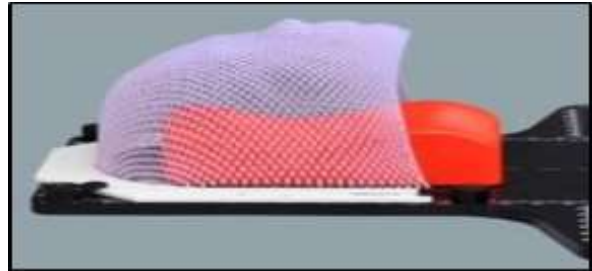
La contention en RTH externe est définie comme une technique utilisée pour maintenir le patient immobile pendant le traitement afin de garantir la précision de l'irradiation et minimiser

les effets indésirables. L'objectif de la contention est de s'assurer que le patient ne bouge pas pendant l'administration de la dose et qu'il reste dans la même position que lors de la simulation.

Il existe un grand nombre de moyens et d'accessoires pour assurer la contention des patients. On distingue généralement les dispositifs de contention au niveau de tête- ORL, du thorax et du pelvis. Dans ce contexte, nous nous intéressons particulièrement aux moyens de contention de la tête et la région ORL, parmi lesquels figurent :



Figure III.8 : Plan cérébrale



**Figure III.9 : Le masque thermoformé
cérébral et ORL**



Figure III.10 : Les appuie-têtes

III. Protocole de prévention de l'ostéoradionécrose en radiothérapie ORL :

Afin de réduire l'incidence de l'ostéoradionécrose chez les patients atteints de cancers ORL recevant une radiothérapie, un protocole multidisciplinaire est recommandé. Il repose sur les étapes suivantes :

1. Avant la radiothérapie :

- Bilan bucco-dentaire complet réalisé par un chirurgien-dentiste référent.
- Élimination des foyers infectieux : caries profondes, racines, dents mobiles.

- Extractions dentaires prophylactiques au moins 14 jours avant le début de l'irradiation.
- Éducation du patient sur les risques bucco-dentaires, les signes d'alerte et l'hygiène bucco-dentaire.

2. Pendant la radiothérapie :

- Surveillance régulière des muqueuses, de la salivation et de l'état parodontal.
- Hygiène renforcée : brossage doux, bains de bouche antiseptiques (ex. : chlorhexidine).
- Adaptation du plan de traitement dosimétrique pour limiter la dose osseuse mandibulaire (<60 Gy si possible).
- Utilisation de moyens de contention adaptés pour garantir la reproductibilité du positionnement.

3. Après la radiothérapie :

- Suivi régulier tous les 3 à 6 mois la première année.
- Éviter les gestes invasifs (extractions, implantologie) sauf en milieu hospitalier avec mesures spécifiques.
- Prescription de fluor, salive artificielle ou gels hydratants en cas de xérostomie.
- En cas de doute clinique ou radiologique : IRM ou CBCT et avis spécialisé.

4. En cas de risque élevé (irradiation > 60 Gy, comorbidités, antécédents dentaires sévères) :

- Considération d'une oxygénothérapie hyperbare préventive pour les extractions post-radiques.
- Prescription de traitements antifibrosants (ex. : Pentoclo) en prévention chez certains patients.

IV. Rôle du physicien médical:

Le physicien médical joue un rôle central dans la prévention de l'ostéoradionécrose à travers les actions suivantes :

- La planification précise des doses afin de minimiser l'exposition des mâchoires au rayonnement.
- L'utilisation de logiciels avancés pour optimiser la répartition des faisceaux sur les tissus.

- La participation à la conception et à la mise en place des dispositifs d'immobilisation, garantissant la stabilité du patient pendant les séances.
- Le respect strict des limites de sécurité radiologique pour préserver les tissus sains.
- La coordination avec l'équipe médicale pour définir les champs de traitement de manière à réduire les effets secondaires.

Aspect méthodologique :

1. Le type de l'étude

Il s'agit d'une étude descriptive transversale menée auprès de cinq patients atteints principalement d'un cancer du cavum, suivis ou traités par radiothérapie. Cette étude repose sur la collecte de données à un moment donné à l'aide d'un questionnaire structuré afin de recueillir des informations sur leur parcours médical, les soins bucco-dentaires reçus avant, pendant et après la radiothérapie, ainsi que leur perception de la prévention des complications. Elle vise à décrire les pratiques de prévention de l'ostéoradionécrose des mâchoires et à identifier d'éventuelles lacunes en matière d'information et de suivi.

2. Le lieu de l'étude :

Pour avoir des informations variées, nous avons mené notre enquête au Centre de Lutte Contre le Cancer (CAC- Chetouane) dans la wilaya de Tlemcen. Plus précisément, cela s'est passé dans le service de radiothérapie externe.



Figure III.11 : Centre de lutte contre le cancer -Tlemcen-

3. La durée de l'étude :

Notre étude s'est établie du 04 mars 2025 au 12 juin 2025, mais notre enquête s'est étalée du 02 mai 2025 au 30 mai 2025.

4. La population d'étude :

4.1. Population cible :

La population cible de notre étude comprend les patients atteints d'un cancer du cavum suivis en radiothérapie au Centre de Lutte contre le Cancer de Chetouane (Tlemcen). Nous nous sommes particulièrement intéressés à ceux qui ont bénéficié d'un suivi autour de l'application de l'IGRT et des soins bucco-dentaires associés.

4.2. L'échantillonnage :

Nous avons utilisé un échantillonnage raisonné (non probabiliste) en sélectionnant les patients disponibles, coopérants et volontaires au moment de l'enquête. L'échantillon se compose de **cinq patients atteints d'un cancer du cavum** traité par radiothérapie.

5. Critères de sélection

5.1. Critères d'inclusion :

- Patients traités pour un cancer du cavum ou un cancer ORL par radiothérapie.
- Suivis dans le service de radiothérapie du Centre de Chetouane.
- Ayant accepté de participer à l'enquête.
- Disponibles durant la période de collecte (février à mars 2025).

5.2. Critères d'exclusion :

- Patients non traités en radiothérapie.
- Patients ne présentant pas de cancer ORL.
- Patients non disponibles ou ayant refusé de répondre au questionnaire.
- Dossiers incomplets ou non exploitables.

6. Méthode de collecte des données

6.1. Instruments de collecte des données :

La collecte des données s'est faite à l'aide d'un **questionnaire semi-directif** distribué aux patients. Ce questionnaire contenait des questions simples, en langage courant, portant sur :

- Le profil général du patient (sexe, âge, antécédents, stade du traitement).
- L'information reçue avant la radiothérapie.
- Les soins bucco-dentaires préventifs réalisés.
- Les effets secondaires ressentis pendant et après le traitement.
- Leur satisfaction concernant les explications données.

Résultats et Discussion :

1. Présentation et interprétation des résultats du questionnaire adressé aux patients atteints de cancer du cavum :

Les réponses recueillies à travers notre enquête ont été organisées et présentées sous forme de tableaux et de graphiques, afin d'assurer une clarté optimale, une représentation fidèle des données, et de faciliter leur interprétation.

Rubrique N°01 : « Informations générales »

Remarque : Le patient n°6, atteint d'un cancer cérébral, a été exclu de l'étude. Il n'a reçu aucune information ni soins bucco-dentaires avant la radiothérapie, contrairement aux patients ORL. Ce cas souligne l'importance de généraliser la prévention bucco-dentaire à tous les patients traités par radiothérapie.

➤ Le tableau suivant présente les réponses des cinq patients inclus dans l'étude.

	Âge	Sexe	Antécédents médicaux	Statut de la radiothérapie	Dose de radiothérapie
N°1	51 ans	Homme	Aucun	Terminée depuis plus de 3 ans	2 Gy/jour, 5 j/sem, pendant 6 à 7 semaines
N°2	57 ans	Femme	Diabète, Hypertension	Pas encore commencée	2 Gy/jour, 5 j/sem, pendant 6 à 7 semaines
N°3	63 ans	Homme	Diabète, Hypertension	En cours de traitement	2 Gy/jour, 5 j/sem, pendant 6 à 7 semaines
N°4	63 ans	Homme	Hypertension	Terminée depuis plus de 6 mois	2 Gy/jour, 5 j/sem, pendant 6 à 7 semaines
N°5	47 ans	Homme	Aucun	En cours de traitement	2 Gy/jour, 5 j/sem, pendant 6 à 7 semaines

Tableau III.4 : Informations générales des patients atteints de cancer du cavum dans le

cadre de la prévention de l'ostéoradionécrose des mâchoires

Analyse et interprétation :

Le tableau présente les réponses de cinq patients atteints d'un cancer du cavum suivis en radiothérapie. Quatre sont des hommes et une seule est une femme, ce qui reflète la prévalence masculine bien connue de cette pathologie, souvent liée au tabagisme, à l'exposition professionnelle (poussières, solvants) et à certains facteurs génétiques ou environnementaux.

Les patients sont âgés de 47 à 63 ans, une tranche d'âge typique pour ce type de cancer. Trois d'entre eux présentent des antécédents médicaux chroniques (diabète, hypertension), qui peuvent augmenter le risque de complications bucco-dentaires post-radiothérapie.

Ils sont à différents stades du traitement : deux l'ont terminé, deux sont en cours, et un ne l'a pas encore commencé. Cette diversité permet une analyse complète des pratiques de prévention, des effets secondaires, et du suivi post-thérapeutique.

Globalement, l'étude révèle une bonne prise en charge préventive, mais souligne un suivi dentaire après radiothérapie encore insuffisant, malgré la fréquence élevée des effets secondaires.

Rubrique N°02 : « Évaluation des pratiques systématiques avant et pendant la radiothérapie »

Parmi les questions du questionnaire, plusieurs ont obtenu un taux de réponse de 100 % de la part des cinq patients atteints de cancer du cavum. Il s'agit notamment de l'information reçue sur les risques bucco-dentaires liés à la radiothérapie, du conseil médical de consulter un dentiste avant le traitement, de la consultation effective d'un dentiste, des recommandations sur l'hygiène bucco-dentaire, de la présence d'effets secondaires pendant la radiothérapie, de l'absence de difficultés d'accès aux soins, du sentiment d'avoir reçu assez d'informations sur la prévention, ainsi que de la source unique d'information : le médecin oncologue.

Ces résultats traduisent une bonne intégration des mesures de prévention avant le traitement, avec un encadrement clair et structuré par l'équipe médicale. Le fait que tous les patients aient été orientés vers un dentiste et aient reçu des recommandations sur l'hygiène

montre une application rigoureuse des protocoles cliniques en matière de soins ORL. Toutefois, le fait que l'oncologue soit la seule source d'information met en évidence une absence de collaboration active avec les chirurgiens-dentistes, ce qui pourrait limiter la qualité de la prévention à long terme. De plus, bien que tous les patients aient ressenti des effets secondaires, ils n'ont signalé aucune difficulté à obtenir des soins, ce qui est un point très positif sur l'accessibilité du système de prise en charge.

Rubrique N°03 : « Évaluation différenciée des soins et du suivi radiothérapeutique »

Patient	Soins reçus avant radiothérapie	Douleur pendant radiothérapie	Complications après radiothérapie	Suivi post-radiothérapie	Produits utilisés	Informations sur ostéoradionécrose	Les effets secondaires
1	Extraction dentaire, détartrage, application de fluor	Oui	Non	Oui	Bains de bouche antiseptiques + hydratants buccaux	Oui	Sècheresse buccale, Difficulté à mâcher ou avaler
2	Détartrage uniquement	Non traité	Non traité	Non	Non concerné	Non	Sècheresse buccale (précoce)
3	Extraction dentaire	Oui	Non	Non	Bains de bouche antiseptiques	Non	Sècheresse buccale, Difficulté à mâcher ou avaler
4	Extraction dentaire, application de fluor	Oui	Non	Oui	Bains de bouche antiseptiques	Oui	Sècheresse buccale, Inflammation ou ulcères, Difficulté à mâcher ou avaler
5	Extraction dentaire	Oui	Non	Non	Bains de bouche antiseptiques	Oui	Sècheresse buccale, Difficulté à mâcher ou avaler

Tableau III.5 : Répartition des réponses des patients aux questions présentant une

variabilité

Le tableau met en évidence des différences dans la prise en charge des patients :

- **Avant la radiothérapie** : La plupart des patients ont reçu des soins préventifs (extractions, détartrage), mais le fluor n'a été utilisé que chez deux patients, ce qui est insuffisant pour une prévention complète.
- **Pendant la radiothérapie** : Quatre patients ont ressenti des douleurs, ce qui est courant. Un patient ne l'a pas encore commencée.
- **Après la radiothérapie** : Aucune complication grave n'a été signalée, mais le recul est probablement trop court pour détecter les complications tardives comme l'ostéoradionécrose.
- **Suivi post-radiothérapie** : Seulement deux patients ont bénéficié d'un suivi, ce qui montre un manque de continuité dans les soins.
- **Produits utilisés** : Les bains de bouche antiseptiques sont les plus utilisés, mais la diversité des produits est limitée (peu de fluor, peu d'hydratants).
- **Information sur l'ostéoradionécrose** : Seulement trois patients ont reçu une information à ce sujet, ce qui montre un déficit d'éducation thérapeutique.
- **Effets secondaires** : Tous les patients traités présentent une sécheresse buccale, avec souvent des difficultés à mâcher ou à avaler, parfois des ulcères ou inflammations.

La prévention initiale est relativement bien assurée, mais le suivi après traitement est insuffisant. Il est important d'améliorer l'accompagnement des patients après la radiothérapie et de renforcer l'information sur les risques, notamment l'ostéoradionécrose, pour garantir une meilleure qualité de vie et limiter les complications à long terme..

Conclusion globale :

L'analyse des réponses des cinq patients atteints de cancer du cavum met en évidence plusieurs points essentiels concernant la prévention de l'ostéoradionécrose liée à la radiothérapie.

Tout d'abord, la majorité des patients ont bénéficié d'une bonne préparation avant le traitement, incluant une information claire, une orientation vers un dentiste et la réalisation de soins préventifs. Ces éléments montrent que les recommandations sont globalement bien appliquées en amont du protocole thérapeutique.

Cependant, des écarts apparaissent après la radiothérapie. Le suivi dentaire post-thérapeutique reste inégal, les produits spécifiques sont utilisés de manière partielle, et l'information sur le risque d'ostéoradionécrose n'est pas toujours transmise à tous les patients. De plus, l'ensemble des informations est délivré uniquement par le médecin oncologue, sans réelle collaboration du chirurgien-dentiste.

Malgré l'absence de cas d'ostéoradionécrose dans ce petit échantillon, ces résultats soulignent la nécessité de renforcer la coordination entre les professionnels de santé, d'étendre les protocoles préventifs à tous les patients irradiés, et de standardiser le suivi post-traitement afin d'assurer une prévention durable et complète des complications bucco-dentaires.

2. Etude de cas :

Tableau III.6 : Exemple d'une étude à Constantine entre 2014 -2023 et Tlemcen 2025

Élément comparé	Tlemcen	Constantine ¹¹⁷
Nombre de patients suivis (Radiothérapie cervico-faciale)	5(2025)	223(2014-2023)
Prévalence d'ORN	0 %	4 % (9 cas)
Localisation du cancer	Cavum uniquement	67,7 % cavum, 11,4 % langue, autres cibles
Extractions antérieures à la survenue d'ORN	Mineures, bien préparées	56 % des cas d'ORN suite à une extraction
Délai moyen d'apparition de l'ORN	Non applicable	Non précisé (après X mois, localisation mandibulaire 89 %, bimaxillaire 11 %)
Traitement de l'ORN	Non applicable	Traitement conservateur ou

		chirurgical, 100 % de réponse
--	--	--------------------------------------

Discussion comparative

Prévalence de l'ORN

- À Tlemcen, aucun cas n'a été constaté, ce qui s'explique notamment par une préparation bucco-dentaire stricte avant la radiothérapie.
- À Constantine, 4 % des patients (9 sur 223) ont développé une ORN, ce qui correspond aux seuils généralement rapportés dans la littérature

Extraction dentaire et risques associés

- Les 56 % des cas d'ORN à Constantine sont survenus après une extraction, ce qui confirme que les extractions dentaires post-radiothérapie représentent un facteur de risque majeur
- À Tlemcen, les extractions sont réalisées systématiquement avant le début du traitement, ce qui réduit fortement ce risque.

Profil des patients

- L'étude de Constantine inclut des cancers du cavum (67,7 %) mais aussi d'autres localisations, ce qui rend l'échantillon plus hétérogène.
- Tlemcen se concentre uniquement sur le cancer du cavum, ce qui permet une étude plus ciblée et une comparaison plus pertinente avec la littérature spécialisée.

Prise en charge de l'ORN

- À Constantine, chaque cas a bénéficié d'une réponse favorable au traitement, qu'il soit conservateur ou chirurgical
- À Tlemcen, l'absence de cas empêche toute analyse, mais elle témoigne de l'efficacité d'un protocole de prévention rigoureux.

Cette comparaison montre que la prévention bucco-dentaire en amont du traitement (consultation, extractions, hygiène) joue un rôle crucial dans la prévention du risque d'ORN. La

stratégie appliquée à Tlemcen, ciblée et rigoureuse, semble efficace pour prévenir l'ORN, comparativement à Constantine, où l'ORN apparaît dans un taux conforme à la moyenne nationale. À partir de ces observations, il serait opportun de proposer un protocole national standardisé, inspiré des bonnes pratiques de Tlemcen, pour toutes les wilayas concernées.

3. Comparaison de nos résultats avec d'autres études scientifiques :

Dans notre étude, nous avons suivi 5 patients atteints d'un cancer du cavum, traités par radiothérapie avec des doses allant de 60 à 70 Gy. Nous avons ensuite comparé nos observations à celles décrites dans d'autres publications scientifiques, notamment celles de **Janine Mayra da Silva et al. (2016)**¹¹⁸, **Ping Han et al. (2018)**¹¹⁹, mais aussi **Chen et al. (2019)**¹²⁰ et **Lee et al. (2020)**¹²¹.

3.1. Aucun cas d'ostéoradionécrose observé

Chez notre 5 patients, aucun cas d'ostéoradionécrose (ORN) n'a été constaté, ni pendant, ni après la radiothérapie. Ce résultat est encourageant, et il rejoint les conclusions de **Janine Mayra da Silva et al. (2016)**, qui rapportent une incidence très faible (environ 1 %) même chez des patients exposés à des doses similaires.

Dans la même lignée, **Chen et al. (2019)** soulignent que lorsque des soins dentaires préventifs sont réalisés avant la radiothérapie, le risque d'ORN diminue considérablement. Cette cohérence entre les données suggère que la qualité de la prise en charge pré-radiothérapie joue un rôle essentiel dans la prévention de cette complication.

3.2. Effets secondaires buccaux fréquents, mais modérés

Plusieurs de nos patients ont rapporté des effets secondaires comme la sécheresse buccale, des douleurs à la mastication ou des troubles de la déglutition, surtout pendant le traitement. Ces effets sont connus et largement rapportés. Par exemple, **Janine Mayra da Silva et al. (2016)** notent également que la xérostomie reste l'un des effets indésirables les plus fréquents.

De leur côté, **Lee et al. (2020)** insistent sur le fait que même si ces symptômes ne sont pas graves, ils ont un impact direct sur la qualité de vie. Nos observations confirment donc que, malgré l'absence de complications sévères comme l'ORN, les effets secondaires bucco-dentaires restent un vrai enjeu à prendre en compte dans la prise en charge des patients.

3.3. Information des patients : globalement satisfaisante

La plupart de notre patients ont indiqué avoir été informés des risques bucco-dentaires liés à la radiothérapie par leur médecin oncologue. Ce point est essentiel. Comme le rappellent **Ping Han et al. (2018)**, une bonne prévention commence toujours par une information claire et complète.

Toutefois, un des patients n'a pas reçu cette information, ce qui souligne que des efforts restent à faire pour garantir une communication systématique et homogène.

3.4. Suivi dentaire après traitement : un point faible

Seulement un patient sur les six a bénéficié d'un suivi dentaire après la radiothérapie. Ce chiffre est faible, et c'est un élément préoccupant. D'ailleurs, **Janine Mayra da Silva et al. (2016)** mettent en évidence ce manque de suivi comme étant un facteur de risque potentiel à long terme.

Chen et al. (2019) insistent eux aussi sur l'importance du suivi post-traitement, non seulement pour détecter les signes précoces d'ORN, mais aussi pour accompagner les patients dans la gestion des séquelles fonctionnelles et esthétiques.

Thème	Résultats du questionnaire (5 patients)	Résultats des études scientifiques (da Silva et al., 2016 ; Han et al., 2018 ; Chen et al., 2019 ; Lee et al., 2020)
Prévention avant la radiothérapie	80 % des patients informés et orientés vers un dentiste avant le traitement	Préparation dentaire avant traitement = baisse significative du risque d'ORN (Chen et al., 2019)
Effets secondaires bucco-dentaires	Sécheresse buccale, gêne à la mastication, déglutition – effets modérés	Xérostomie, troubles fonctionnels fréquents mais rarement graves (da Silva et al., 2016 ; Lee et al., 2020)
Ostéoradionécrose observée	Aucun cas d'ORN détecté	Faible incidence si prévention réalisée (da Silva et al., 2016 ; Han et al., 2018 ; Chen et al., 2019)
Information reçue	Majoritairement transmise par l'oncologue uniquement	Importance soulignée d'une information claire et systématique (Han et al., 2018)
Suivi post-radiothérapie	Un seul patient bénéficie d'un réel suivi (20 %)	Suivi souvent insuffisant dans la réalité clinique (Chen et al., 2019 ; da Silva et al., 2016)

Thème	Résultats du questionnaire (5 patients)	Résultats des études scientifiques (da Silva et al., 2016 ; Han et al., 2018 ; Chen et al., 2019 ; Lee et al., 2020)
Produits spécifiques utilisés	80 % utilisent au moins un produit préventif bucco-dentaire	Mesures recommandées : bains de bouche, fluor, hydratants (conformes aux recommandations cliniques)

Tableau III.7 : Résultats du questionnaire vs. Résultats des études scientifiques

Analyse synthétique

- L'absence d'ostéoradionécrose malgré des doses élevées de radiothérapie confirme l'efficacité d'une bonne **préparation dentaire préalable**.
- Les **effets secondaires bucco-dentaires** sont fréquents mais modérés, ce qui correspond à ce qui est décrit dans la littérature.
- La **faiblesse majeure** constatée dans les deux cas reste le **manque de suivi post-radiothérapie**, pourtant crucial pour la détection précoce de complications.
- La transmission de l'information repose **presque uniquement sur le médecin oncologue**, ce qui laisse peu de place à une éducation bucco-dentaire globale et approfondie.

4. Impact de la précision du calcul de dose et rôle du physicien médical :

Après la comparaison de nos résultats avec ceux d'autres études, il apparaît clairement que l'efficacité de la prévention des complications liées à la radiothérapie, notamment l'ostéoradionécrose, dépend fortement de la précision du calcul et de la répartition des doses administrées. C'est dans ce contexte que le rôle du physicien médical prend toute son importance, en tant que responsable des aspects techniques du traitement visant à assurer une irradiation optimale de la tumeur tout en protégeant les tissus sains, en particulier les structures osseuses comme la mandibule.

Sur le plan théorique, la dose absorbée est définie comme l'énergie déposée par unité de masse. Elle s'exprime selon la relation suivante :

$$D = \frac{E}{m}$$

où D est la dose absorbée (en Gray), E l'énergie déposée (en joules), et m la masse du tissu (en kilogrammes).

À titre d'exemple, le patient n°4 de notre étude, atteint d'un cancer du cavum, a reçu une radiothérapie avec une dose totale de **70 Gy** répartie sur **35 séances** (2 Gy par séance). En supposant que la masse osseuse irradiée est d'environ **0.185 kg**, l'énergie absorbée peut être estimée par la formule $D = \frac{E}{m}$, soit :

$$E = D \times m = 70 \text{ Gy} \times 0,185 \text{ kg} = 12,95 \text{ J}$$

Ainsi, **12,95 joules d'énergie ont été absorbés dans cette région osseuse**. Ce calcul simplifié démontre l'importance d'une planification dosimétrique précise, assurée par le physicien médical, afin d'éviter une surexposition aux tissus sensibles comme la mandibule et de prévenir des complications graves telles que l'ostéoradionécrose

Cependant, dans la pratique clinique, le calcul de la dose est réalisé à l'aide de logiciels de planification thérapeutique (Treatment Planning Systems), tels que Eclipse, Monaco ou RayStation, qui permettent de modéliser en trois dimensions le corps du patient et de simuler la distribution des doses avec une grande précision.

Le physicien médical saisit l'ensemble des paramètres techniques et anatomiques (énergie du faisceau, angles d'irradiation, images scanner, etc.) et vérifie que la dose prescrite est bien délivrée à la tumeur tout en respectant les limites imposées aux organes à risque. Grâce à cette planification, le physicien contribue de manière essentielle à réduire les effets secondaires et à prévenir les complications comme l'ostéoradionécrose.



Conclusion



Dans notre recherche intitulée « La prévention de l'ostéoradionécrose des mâchoires chez les patients soumis à une radiothérapie », nous avons cherché à mettre en lumière l'une des complications les plus graves de la radiothérapie, représentant un véritable défi en oncologie et en physique médicale.

Ainsi, à travers les différents chapitres de ce travail, nous avons étudié les mécanismes biologiques et physiques sous-jacents à ce phénomène, tout en analysant les moyens de prévention, en nous appuyant sur une méthodologie analytique et descriptive, fondée sur une revue rigoureuse des sources scientifiques et médicales.

Chaque chapitre a abouti à des résultats distincts.

Dans le premier chapitre, nous avons constaté que :

- L'ostéoradionécrose est une pathologie résultant d'un trouble de la vascularisation osseuse, d'une hypoxie et d'un déficit en cellules responsables de la régénération.
- Plusieurs facteurs augmentent le risque de survenue, notamment le tabagisme, le diabète, la malnutrition, ainsi que les interventions chirurgicales post-radiothérapie.
- Le diagnostic précoce, fondé sur les signes cliniques et les examens radiologiques, est essentiel pour prévenir l'aggravation des complications.

Dans le deuxième chapitre, nos résultats ont montré que :

- La compréhension des principes physiques de l'irradiation est fondamentale pour cerner son effet sur les tissus, en particulier sur l'os.
- La dose d'irradiation joue un rôle direct dans la genèse de cette infection : un seuil de 60 Gy étant associé à une probabilité accrue d'apparition.
- L'importance des technologies modernes de planification dosimétrique pour réduire l'exposition inutile de la mandibule.

Quant aux résultats du troisième chapitre, ils ont mis en évidence que :

- La prévention débute avant même la radiothérapie, par un examen bucco-dentaire complet.
- Il est indispensable d'impliquer un chirurgien-dentiste dans l'équipe thérapeutique afin de limiter les risques.

- L'adoption de protocoles médicaux, tels que l'oxygénothérapie hyperbare et certains traitements médicamenteux, peut contribuer à retarder ou limiter l'évolution de l'ostéoradionécrose.

Sur la base de ces résultats, on peut conclure que l'ostéoradionécrose est le fruit d'une interaction complexe entre facteurs thérapeutiques et facteurs individuels, et que sa prévention exige une coordination interdisciplinaire et une planification thérapeutique minutieuse prenant en compte les spécificités de chaque patient.

Comparées aux études antérieures, nos conclusions s'accordent avec les recherches récentes en physique médicale et en oncologie, qui insistent sur la nécessité d'un examen buccal préalable, la réduction des doses dirigées vers la mâchoire chaque fois que possible, ainsi que l'intégration des spécialistes en santé dentaire dans les protocoles de traitement radiothérapeutique.

Parmi les recommandations clés issues de cette étude, nous retenons :

- Rendre l'examen bucco-dentaire obligatoire avant toute radiothérapie de la région cervico-faciale.
- Renforcer la collaboration entre oncologues, physiciens médicaux et chirurgiens-dentistes.
- Encourager l'utilisation de techniques de planification dosimétrique 3D de haute précision afin d'éviter une irradiation osseuse non nécessaire.
- Mettre en place des programmes de suivi post-radiothérapie pour détecter précocement les signes de nécrose.
- Promouvoir la recherche clinique sur l'efficacité des traitements complémentaires comme l'oxygénothérapie hyperbare.

Aujourd'hui, la sécurité thérapeutique est devenue un impératif indissociable de la qualité des soins, et la prévention des complications médicales s'avère d'autant plus cruciale à mesure que les moyens thérapeutiques progressent, notamment avec l'essor rapide des technologies médicales et physiques.

En conclusion, nous espérons que ce travail a couvert les différents aspects du sujet, en répondant aux exigences de la recherche scientifique. Toutefois, la recherche dans ce domaine

reste en perpétuelle évolution. Dans cette perspective, une nouvelle problématique pourrait émerger autour de l'impact des technologies d'intelligence artificielle sur l'optimisation de la distribution des doses et la réduction des effets secondaires. Serons-nous capables, dans un avenir proche, de concevoir des plans de traitement intelligents, personnalisés et sûrs, capables de protéger les patients tout en évitant de telles complications ?

Parmi les principales difficultés rencontrées au cours de ce travail, figurent la difficulté d'accès à des données cliniques concrètes, la complexité technique de certaines sources spécialisées, ainsi que l'absence temporaire d'un terrain d'étude pratique, ce qui a limité notre démarche à une approche essentiellement bibliographique à ce stade.

Annexes

Questionnaire :



I. Informations générales :

1. Sexe :

Homme Femme

2. Quel est votre âge ?

Entre 40 et 50ans Entre 50 et 60 ans Plus de 60ans

3. Avez-vous des antécédents médicaux particuliers ?

Diabète Hypertension Maladie osseuse Autre :

4. Depuis combien de temps avez-vous termine votre radiothérapie ?

Moins de 6 mois 6 mois - 1 an 1 - 3 ans Plus de 3 ans

II. Évaluation des pratiques systématiques avant et pendant la radiothérapie

5. Avant la radiothérapie votre médecin vous a-t-il informe des risques pour votre bouche et vos mâchoires ?

Oui, en détail Oui, mais brièvement Non, pas du tout

6. Votre équipe médicale vous a-t-elle conseillée de consulter un dentiste avant la radiothérapie ?

Oui Non

7. Avez-vous consulté un dentiste avant la radiothérapie ?

Oui Non

8. Avez-vous reçu des recommandations sur l'hygiène bucco-dentaire à suivre avant et pendant la radiothérapie ?

Oui Non

9. Avez-vous remarqué des effets secondaires au niveau de votre bouche ?

Oui Non

10. En cas de problème dentaire, avez-vous rencontré des difficultés à obtenir un traitement ?

11. Pensez-vous avoir reçu assez d'information sur la prévention des complications bucco-dentaires après la radiothérapie ?

12. Quelles sources d'information avez-vous utilisées pour vous informer sur les risques dentaires liés à la radiothérapie ?

III. Évaluation différenciée des soins et du suivi radiothérapeutique

13. Quels soins dentaires avez-vous reçus avant la radiothérapie ?

14. Avez-vous ressenti des douleurs ou des changements dans votre bouche pendant la radiothérapie ?

15. Après la radiothérapie, avez-vous souffert de complications bucco-dentaires ?

Oui, infections dentaires Oui, douleurs osseuses Oui, exposition osseuse suspectée

16. Avez-vous eu un suivi dentaire après votre radiothérapie ?

Oui, régulièrement Oui, mais rarement Non

17. Utilisez-vous des produits spécifiques pour protéger vos dents et vos gencives ?

Chapitre III : Radioprotection et aspects pratiques


Bains de bouche antiseptiques Gel fluore Hydratants buccaux Aucun

18. Votre dentiste vous va-t-il déjà parlé du risque d'ostéoradionécrose ?

Oui Non

19. Quelles sont les des effets secondaires au niveau de votre bouche ?

Sècheresse buccale Inflammation ou ulcères Difficulté à mâcher ou avaler Aucune modification




Centre Hospitalo-Universitaire de Tlemcen

Unité de Lutte Contre le Cancer

Service de radiothérapie

Fiche Technique



service de radiothérapie

SERVICE DE RADIOTHÉRAPIE

Appareils:

TRILOGY I

TRILOGY II

TRUE BEAM

TRAITEMENT N° :

- HOSPITALISÉ / LIT N° :

- HÔPITAL DU JOUR :

VALIDE CHAISE BRANCARDS

NUMÉRO DE DOSSIER :

1025 / 106114

Date : Le 29/05/25

NUMÉRO Electronique (ID) :

1025 / 10608

Date : Le 26/05/25

Nom : [REDACTED]

Prénom : [REDACTED]

SEXE : M - F

DATE DE NAISSANCE : [REDACTED]

LIEU DE NAISSANCE :

PROFESSION : Religiéuse

ADRESSE : Dzedkema

TÉLÉPHONE : [REDACTED]

LOCALISATION : Cavum (ucnt.)

Dr : A. YAHIA

Envoyé Par Dr :

PLAN DE TRAITEMENT

VOLUME CIBLE	RAYONS	Dose TOTALE	Dose HEBDO	DATES (Début/Fin)
P2V ₁ + N ₁	1006	50Gy	10Gy	
P2V ₁ 70	1006	70Gy	10Gy	
P2V ₁ 40	1006	66Gy	10Gy	
[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	[REDACTED]	
		RCC		

CT SIM : le 26/05/25

CONTOUR (a) : le 05/06/25

ISODOSES : le

PHYSICIEN : Radji

TRT : le

Valide le 12/06/25



ACE BUZZ 4

2025-06-17 11:05:09

Références Bibliographiques

-
- ¹ P. Piret, J.M. Deneufbourg, l'ostéoradionécrose mandibulaire : épée de damoclès de la radiothérapie cervico-faciale, *rev med liege*, 2002, volume 57 (6), page 394
- ² Paul Thierry, ostéoradionécrose : facteurs de risque, prise en charge et perspectives en 2024, faculté de chirurgie dentaire, université de Lille, 2024, page 51
- ³ Académie nationale de médecine. Dictionnaire médical en ligne [Internet]. Disponible sur : <https://www.academie-medecine.fr/le-dictionnaire/index.php?q=os>
- ⁴ Pulsations – Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG), La mâchoire : un mécanisme complexe, 14 avril 2023. Disponible sur : <https://pulsations.hug.ch/article/la-machoire>
- ⁵ Pulsations – Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG), La mâchoire : un mécanisme complexe, 14 avril 2023. Disponible sur : <https://pulsations.hug.ch/article/la-machoire>
- ⁶ Delmas, V., Brémond-Gignac, D., Douard, R., Dupont, S., Latrémouille, C., Le Mineur, J.M., Pirró, N., Sèbe, P., Vacher, C., & Yiou, R, Anatomie générale, ELSEVIER MASSON S.A.S, France, 4ème éd, 2008, p. 47.
- ⁷ KAMINA, Anatomie Clinique, 3ème édition, page 57
- ⁸ Berichard, Os maxillaire, https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Os_maxillaire
- ⁹ KAMINA, Anatomie Clinique, 3ème édition, page 67
- ¹⁰ Frank H. Netter, MD, Traduction de Pierre Kamina et Jean-Pierre Richer, Atlas d'anatomie humaine, ELSEVIER MASSON, 6ème Édition, page 17
- ¹¹ Delanian S, Lefaix JL. The radiation-induced fibroatrophic process: therapeutic perspective via the antioxidant pathway. *Radiother Oncol.* 2004;73(2):119–131.
- ¹² Kumar V, Abbas AK, Aster JC. Robbins and Cotran – Pathologic Basis of Disease. 10e éd. Elsevier; 2021. Ostéoradionécrose des mâchoires :
- ¹³ Marx, R. E. (1983). Osteoradionecrosis: A Review of the Literature. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 41(6), 391–399. Est-ce que ça juste
- ¹⁴ Takahashi, T., Yamakawa, Y., & Takeuchi, A. (2017). Histopathology of Osteoradionecrosis: A Review of Current Concepts. *Journal of Craniofacial Surgery*, 28(7), 1903–1908.
- ¹⁵ Santos PSS, et al. Osteoradionecrosis Related to Radiotherapy in Head and Neck Cancer Patients: A Retrospective Study. *Braz Oral Res.* 2020;34:e013
- ¹⁶ Vrebos J. Ostéoradionécrose de la mâchoire : aspects cliniques, prévention et traitement. *Rev Belge Med Dent.* 2002;57(2):101–109
- ¹⁷ Vrebos J. Ostéoradionécrose de la mâchoire : aspects cliniques, prévention et traitement. *Rev Belge Med Dent.* 2002;57(2):101–109
- ¹⁸ Le Bars F, et al. Ostéoradionécroses des mâchoires : épidémiologie, facteurs de risque et prévention. *Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale.* 2022;123(4):261–269.
- ¹⁹ Santos PSS, et al. Osteoradionecrosis Related to Radiotherapy in Head and Neck Cancer Patients: A Retrospective Study. *Braz Oral Res.* 2020;34:e013.
- ²⁰ Le Bars F, et al. Ostéoradionécroses des mâchoires : épidémiologie, facteurs de risque et prévention. *Rev Stomatol Chir Maxillofac Chir Orale.* 2022;123(4):261–269.
- ²¹ Nabil S, Samman N. Incidence and prevention of osteoradionecrosis after dental extraction in irradiated patients: a systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011;40(3):229–243
- ²² Bachaud JM, et al. Radiothérapie des cancers ORL : protocoles et effets secondaires. *Radiothérapie Oncologie.* 2010;94(4):343–351.
- ²³ Bensadoun RJ, et al. Complications osseuses de la radiothérapie en ORL. *Cancer Radiother.* 2014;18(3):221–228.
- ²⁴ Santos PSS, et al. Osteoradionecrosis Related to Radiotherapy in Head and Neck Cancer Patients: A Retrospective Study. *Braz Oral Res.* 2020;34:e013.
- ²⁵ Vrebos J. Ostéoradionécrose de la mâchoire : aspects cliniques, prévention et traitement. *Rev Belge Med Dent.* 2002;57(2):101–109
- ²⁶ Chronopoulos A, Zarra T, Ehrenfeld M, Otto S. Osteoradionecrosis of the jaws: definition, epidemiology, staging and clinical and radiological findings. A concise review. *International Dental Journal.* 1 févr 2018;68(1):22-30.
- ²⁷ Masson E. Ostéoradionécroses des mâchoires [Internet]. EM-

-
- ²⁸ Gaêta-Araujo H, Vanderhaeghen O, Vasconcelos K de F, Coucke W, Coropciuc R, Politis C, et al. Osteomyelitis, osteoradionecrosis, or medication-related osteonecrosis of the jaws? Can CBCT enhance radiographic diagnosis? *Oral Dis.* mars 2021;27(2):312-9.
- ²⁹ Owosho AA, Kadempour A, Yom SK, Randazzo J, Jillian Tsai C, Lee NY, et al. Radiographic osteoradionecrosis of the jaw with intact mucosa: Proposal of clinical guidelines for early identification of this condition. *Oral Oncology.* 1 déc 2015;51(12):e93-6.
- ³⁰ Miyamoto I, Tanaka R, Kogi S, Yamaya G, Kawai T, Ohashi Y, et al. Clinical Diagnostic Imaging Study of Osteoradionecrosis of the Jaw: A Retrospective Study. *Journal of Clinical Medicine.* janv 2021;10(20):4704.
- ³¹ Owosho AA, Kadempour A, Yom SK, Randazzo J, Jillian Tsai C, Lee NY, et al. Radiographic osteoradionecrosis of the jaw with intact mucosa: Proposal of clinical guidelines for early identification of this condition. *Oral Oncology.* 1 déc 2015;51(12):e93-6.
- ³² Chronopoulos A, Zarra T, Ehrenfeld M, Otto S. Osteoradionecrosis of the jaws: definition, epidemiology, staging and clinical and radiological findings. A concise review. *International Dental Journal.* 1 févr 2018;68(1):22-30.
- ³³ Miyamoto I, Tanaka R, Kogi S, Yamaya G, Kawai T, Ohashi Y, et al. Clinical Diagnostic Imaging Study of Osteoradionecrosis of the Jaw: A Retrospective Study. *Journal of Clinical Medicine.* janv 2021;10(20):4704.
- ³⁴ Miyamoto I, Tanaka R, Kogi S, Yamaya G, Kawai T, Ohashi Y, et al. Clinical Diagnostic Imaging Study of Osteoradionecrosis of the Jaw: A Retrospective Study. *Journal of Clinical Medicine.* janv 2021;10(20):4704.
- ³⁵ Curi MM, Cardoso CL, Lima HG de, Kowalski LP, Martins MD. Histopathologic and Histomorphometric Analysis of Irradiation Injury in Bone and the Surrounding Soft Tissues of the Jaws. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 1 janv 2016;74(1):190-9.
- ³⁶ He Y, Liu Z, Tian Z, Dai T, Qiu W, Zhang Z. Retrospective analysis of osteoradionecrosis of the mandible: proposing a novel clinical classification and staging system. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 1 déc 2015;44(12):1547-57.
- ³⁷ Jansma J, Vissink A, Spijkervet FKL, et al. Protocol for the prevention and treatment of oral sequelae resulting from head and neck radiation therapy. *Cancer.* 1992;70(8):2171-2180.
- ³⁸ Sroussi HY, Epstein JB, Bensadoun R-J, et al. Common oral complications of head and neck cancer radiation therapy: mucositis, infections, saliva change, fibrosis, sensory dysfunctions, dental caries, periodontal disease, and osteoradionecrosis. *Cancer Medicine.* 2017;6(12):2918-2931.
- ³⁹ Niewald M, Mang K, Barbie O, et al. Dental status, dental treatment procedures and radiotherapy as risk factors for infected osteoradionecrosis (IORN) in patients with oral cancer – a comparison of two 10 years' observation periods. *SpringerPlus.* 2014;3(1).
- ⁴⁰ Studer G, Grätz KW, Glanzmann C. Osteoradionecrosis of the Mandibula in Patients Treated with Different Fractionations. *Strahlentherapie und Onkologie.* 2004;180(4):233-240.
- ⁴¹ Scully C, Epstein JB. Oral health care for the cancer patient. *European Journal of Cancer Part B: Oral Oncology.* 1996;32(5):281-292.
- ⁴² Delanian S, Lefaix J-L. Complete healing of severe osteoradionecrosis with treatment combining pentoxifylline, tocopherol and clodronate. *Br J Radiol.* 2002;75(893):467-469.
- ⁴³ Mainous EG, Hart GB. Osteoradionecrosis of the Mandible: Treatment With Hyperbaric Oxygen. *Archives of Otolaryngology - Head and Neck Surgery.* 1975;101(3):173-177.
- ⁴⁴ Koka VN, Deo R, Lusinchi A, Roland J, Schwaab G. Osteoradionecrosis of the mandible: Study of 104 cases treated by hemimandibulectomy. *The Journal of Laryngology & Otology.* 1990;104(4):305-307.
- ⁴⁵ Chrcanovic BR, Reher P, Sousa AA, Harris M. Osteoradionecrosis of the jaws—a current overview—part 2: dental management and therapeutic options for treatment. *Oral and Maxillofacial Surgery.* 2010;14(2):81-95.
- ⁴⁶ Mallya SM, Tetradis S. Imaging of Radiation- and Medication-Related Osteonecrosis. *Radiol Clin North Am.* 2018;56(1):77-89.
- ⁴⁷ Alam DS, Nuara M, Christian J. Analysis of Outcomes of Vascularized Flap Reconstruction in Patients with Advanced Mandibular Osteoradionecrosis. *Otolaryngology–Head and Neck Surgery.* 2009;141(2):196-201.
- ⁴⁸ Curi MM, Oliveira dos Santos M, Feher O, Faria JCM, Rodrigues ML, Kowalski LP. Management of Extensive Osteoradionecrosis of the Mandible With Radical Resection and Immediate Microvascular Reconstruction. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2007;65(3):434-438.
- ⁴⁹ Beumer, J. et al., "Management of osteoradionecrosis of the jaws", *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 2014

-
- ⁵⁰ Owosho et al., Oral Oncology, 2016
- ⁵¹ Epstein et al., J Can Dent Assoc, 2002
- ⁵² Marx, Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 1983
- ⁵³ Nabil & Samman, Int J Oral Maxillofac Surg, 2011
- ⁵⁴ Fiche d'information ,commission canadienne de sureté nucléaire, comprendre le rayonnement (pdf, 2pages, 565ko)
- ⁵⁵ Fiche d'information ,commission canadienne de sureté nucléaire, comprendre le rayonnement (pdf, 2pages, 565ko)
- ⁵⁶ Pierre Gauthier, fondation québécoise du cancer, ce qu'il faut savoir sur la radiothérapie, Canada, 3 ème édition, 2009, page 04
- ⁵⁷ J-F. Morère, F. Mormex, M. Piccart, J-M. Nabholz, Thérapeutique du cancer, Springer- Verlag, France, 1 re édition, 2001, p 19
- ⁵⁸ Aissani Marwa et Yahouni Imene: «Dosimetrie des photons de haute energie». Memoire de master, universite Abou Bekr Belkaid Tlemcen, 2011.
- ⁵⁹ E.Dahi et L.Meherchi: «Systeme de double calcul dosimetrique ».Memoire de master 2010, universite Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- ⁶⁰ J.Foos et Rimbart: « manuel radioactivite ».Herman editeurs, ©2009
- ⁶¹ Arrada Naziha: «Simulation Monte Carlo d'un accelerateur de particule lineaire ».Memoire de master, l'universite Jijel 2016.
- ⁶² E.Dahi et L.Meherchi: «Systeme de double calcul dosimetrique ».Memoire de master 2010, universite Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- ⁶³ Fatima Hamek et Imane Bitat « Shielding autour d'un accelerateur lineaire de radiotherapie » mémoire de master, UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BEN YAHIA – JIJEL, 2018
- ⁶⁴ Zaidi H: «Principe de base de physique des radiations», hopitaux universitaires de Geneve, 2011.
- ⁶⁵ Arrada Naziha: «Simulation Monte Carlo d'un accelerateur de particule lineaire ».Memoire de master, l'universite Jijel 2016
- ⁶⁶ Sallai Nabahat: «Controle de qualite mecanique et dosimetrique de l'accelerateur lineaire d'electron ». Memoire 2011, universite Abou Bekr Belkaid Tlemcen.
- ⁶⁷ Elsevier, Effets biologiques associés aux rayons X, <https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/effets-biologiques-associes-aux-rayons-x-risques-et-radioprotection-pratique>
- ⁶⁸ B. Chauvet et J-Jacques : «Blanc de la radiotherapie en France». Societe fran9aise de radiotherapie oncologique. (2013).
- ⁶⁹ Arabdji Meriem, Contrôle de qualité des équipements de simulation virtuelle en radiothérapie externe, Master, Faculté des sciences, Département de physique, Université Saad Dahleb Blida 1, 2017-2018, p 03
- ⁷⁰ Assun kSouri : « etude realisation des references dosimetriques nationales en tennes de kerma dans l'air pour les faisceaux de rayons X de passes et moyennes energies ».these de doctorat CEA saday 2009.
- ⁷¹ Fatima Hamek et Imane Bitat « Shielding autour d'un accelerateur lineaire de radiotherapie »mémoire de master , UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BEN Y AHIA – JIJEL, 2018
- ⁷² Kallouche Hidayet et Bouchikhi Asma: «Les tests d'acceptance du systeme de Planification du traitement en radiotherapie exteme». Memoire de master, universite de Tlemcen, 2011.
- ⁷³ Gustave Roussy, La curiethérapie, www.gustaveroussy.fr/fr/curietherapie
- ⁷⁴ Nicole Bulliard, ligue contre le cancer-la radiothérapie-, 11ème édition, Suisse, 2022, p43
- ⁷⁵ Cours de résidanat sujet 24 dysphagies, juillet 2019, p02
- ⁷⁶ MedicalRF.com, Dysphagia - phases de la déglutition [Image], Adobe Stock. <https://stock.adobe.com/fr/images/dysphagia/1626129508>
- ⁷⁷ Baumlin Marie, la xérostomie : état des lieux et stratégie de prise en charge en médecine générale, diplôme docteur en médecine, faculté de medecine de Strasbourg, université de Strasbourg, 2019-2020, page 19
- ⁷⁸ Nutrident, <https://nutrident.fr/bouche-seche-xerostomie/>
- ⁷⁹ Bensadoun R J et al. Prise en charge préventive et curative de mucites du tractus digestif (mucites buccopharyngées, oesogastro-intestinales et anorectales). RPC Nice Saint-Paul de Vence. Oncologie. 2011, 13(12) : 825-32
- ⁸⁰ Bensadoun R J et al. Prise en charge préventive et curative de mucites du tractus digestif (mucites buccopharyngées, oesogastro-intestinales et anorectales dans le traitement du cancer du sein. La lettre du Cancérologue. 2014, XXIII(3) : 124-29

- ⁸¹ Sroussi HY, Epstein JB, Bensadoun RJ, Saunders DP, Lalla RV, Migliorati therapy: mucositis, infections, saliva change, fibrosis, sensory dysfunctions, dental caries, periodontal disease, and osteoradionecrosis. *Cancer* CA, et al. *Common oral complications of head and neck cancer radiation Medicine*. 2017;6(12):2918-31.
- ⁸² Saint-Jean, M., Tessier, M.-H., Barbarot, S., Billet, J., Stalder, J.-F., & la Société française de dermatologie pédiatrique (SFDP). (2010), *Pathologie buccale de l'enfant [Oral disease in children]*, *Annales de dermatologie et de vénéréologie*, 137(11), page 829
- ⁸³ Landauer , <https://www.landauer-fr.com/mediatheque/base-de-connaissance/dosimetrie/>
- ⁸⁴ B. Chauvet et J-Jacques : «Blanc de la radiothérapie en France». *Societe fran9aise de radiotherapie oncologique* 2013.
- ⁸⁵ Kloug. *Initiation à la dosimétrie, DOC-FO-11_1, Version 1 du 07/12/2010*
- ⁸⁶ RAPPORT S.F.P.M. N° 21 : *Dosimétrie des explorations diagnostiques en radiologie*. Par Albert LISBONA (coordinateur) et al. Groupe de Travail « Dosimétrie des explorations diagnostiques en Radiologie »
- ⁸⁷ RAPPORT S.F.P.M. N° 21 : *Dosimétrie des explorations diagnostiques en radiologie*. Par Albert LISBONA (coordinateur) et al. Groupe de Travail « Dosimétrie des exploration sdiagnostiques en Radiologie »
- ⁸⁸ Ameri Fatima Zahra , Lougmiri kaouthar , *Mise en service et contrôle de qualité en radiothérapie conformationnelle avec modulation d'intensité (RCMI), MÉmoire de Master, Département : Sciences de la Matière, Faculté des SCIENCES, UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT*, page 7
- ⁸⁹ Amaury COSTAGLIOLA, *dosimétrie, école mines-télécom*
- ⁹⁰ DAHI El Hadj Et MEHERCHI Lamia, *Système De Double Calcul Dosimétrique, Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen Faculté Des Sciences Département De Physique, 2010-2011*
- ⁹¹ RAPPORT S.F.P.M. N° 21 : *Dosimétrie des explorations diagnostiques en radiologie*. Par Albert LISBONA (coordinateur) et al. Groupe de Travail « Dosimétrie des explorations diagnostiques en Radiologie ».
- ⁹² Med Benseddik et Med Oumansour: «*Controle de qualite des accelerateurs lineaires et des scanner simulateur-procedure et application*». *Memoire 2016 universite de Tlemcen*.
- ⁹³ Kloug. *Initiation à la dosimétrie, DOC-FO-11_1, Version 1 du 07/12/2010*
- ⁹⁴ Abdulhamid Chaikh. *Méthodologie d'évaluation des impacts cliniques et dosimétriques d'un changement de procédure en radiothérapie: Aspect - Radio physique et médical. Doctorat de L'UNIVERSITÉ DE GRENOBLE, Radio physique Médicale, s. n. 2012.*
- ⁹⁵ Abdel-Majid NOURREDDINE. *METROLOGIE DES RAYONNEMENTS IONISANTS ET MESURES ENVIRONNEMENTALES*, Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien IPHC 23 rue de LSss B.P 28 - 67037 Strasbourg Cedex 2.
- ⁹⁶ C-Boudou: «*Dosimetrie pour la radiotherapie Stereotaxique en rayonnement synchrotron: calculs Monte-Carlo et gels radiosensibles* ». *These de doctorat d'universite, Joseph FourierGrenoble ,2006*
- ⁹⁷ <http://www.asn.fr .13/3/2018 pdf>.
- ⁹⁸ S .Boumaza, W.Bouchakor : « *Etude comparative des doses delivrees aux patient radiologie conventionnelle et en scanographie*» *memoire de master l'Universite de Jijel 2017*.
- ⁹⁹ <http://www.asn.fr .13/3/2018 pdf>.
- ¹⁰⁰ <http://www.nucleide.org/publication/CEA-R-6214-Dosi-Externe13/3/2018 pdf>
- ¹⁰¹ http://www. /memoire/Radioprotection/a/Manuel_RPR0 _2010.13/3/2018pdf.
- ¹⁰² J.Christin et H.Metivier : «*personne competente en radioprotection (principe de radioprotection -reglementation)* ».
- ¹⁰³ J.Christin et H.Metivier : «*personne competente en radioprotection (principe de radioprotection -reglementation)* ».
- ¹⁰⁴ <http://www.controlephysique.be/Mannuel%20de%20radioprotection. 13/3/2018 pdf>
- ¹⁰⁵ <http://www.controlephysique.be/Mannuel%20de%20radioprotection. 13/3/2018 pdf>
- ¹⁰⁶ <http://www.controlephysique.be/Mannuel%20de%20radioprotection. 13/3/2018 pdf>
- ¹⁰⁷ <https://www.asn.fr/annuel-repport/201Ofr/fichers/chap-09-201O.13/3/2018pdf>.
- ¹⁰⁸ . F. Hermant: « *les moyens de radioprotection: comment les utiliser?* » *PCR hopital François QUESNA Y de Mantes la Jolie*.
- ¹⁰⁹ . F. Hermant: « *les moyens de radioprotection: comment les utiliser?* » *PCR hopital François QUESNA Y de Mantes la Jolie*.
- ¹¹⁰ J.Christin et H.Metivier : «*personne competente en radioprotection (principe deradioprotection -reglementation)*
- ¹¹¹ J.Christin et H.Metivier : «*personne competente en radioprotection (principe deradioprotection -reglementation)*
- ¹¹² J.Christin et H.Metivier : «*personne competente en radioprotection (principe deradioprotection -reglementation)*

- ¹¹³ J.Christin et H.Metivier : «personne competente en radioprotection (principe deradioprotection -reglementation) ».
- ¹¹⁴ J.Christin et H.Metivier : «personne competente en radioprotection (principe deradioprotection -reglementation) ».
- ¹¹⁵ Fatima Hamek et Imane Bitat « Shielding autour d'un accelerateur lineaire de radiotherapie »mémoire de master , UNIVERSITE MOHAMED SEDDIK BEN Y AHIA – JIJEL, 2018
- ¹¹⁶ Seffahi. M. &Tarfaoui. G. (2024) Le role de manipulateur en imagerie medicale réduction du décalage de positionnement du patient en radiothérapie externe : (promotion 2024)
- ¹¹⁷ Benouniche N. L'ostéoradionécrose des maxillaires après radiothérapie des cancers ORL : étude rétrospective à propos de 9 cas [Mémoire de Master]. Université Salah Boubnider – Constantine 3 ; 2021. Disponible sur : <https://dspace.univ-constantine3.dz/jspui/handle/123456789/4756>
- ¹¹⁸ Da Silva J.M. et al. (2016). Oral side effects and preventive measures in head and neck cancer radiotherapy: A literature review.
- ¹¹⁹ Han P. et al. (2018). Osteoradionecrosis of the Skull Base in Nasopharyngeal Carcinoma: Incidence and Risk Factors. Int J Radiat Oncol Biol Phys, P552–555.
- ¹²⁰ Chen Y. et al. (2019). Preventive strategies for osteoradionecrosis in head and neck cancer patients undergoing radiotherapy: A systematic review. Support Care Cancer.
- ¹²¹ Lee S.J. et al. (2020). Impact of oral complications on quality of life in head and neck cancer survivors treated with radiotherapy. J Cancer Survivorship.

Résumé :

Dans notre étude, nous avons cherché à mettre en lumière l'importance de la prévention de l'ostéoradionécrose des mâchoires chez les patients soumis à une radiothérapie. Il s'agit d'une complication grave, rare mais invalidante, survenant souvent à la suite de traitements

oncologiques au niveau de la tête et du cou. Cette complication constitue un défi majeur en médecine et en physique médicale, avec pour objectifs de réduire les risques thérapeutiques, d'améliorer la qualité de vie des patients et de garantir la sécurité des traitements radiothérapeutiques. Notre travail s'appuie sur un double échantillon : un volet théorique, fondé sur des sources bibliographiques variées (publications scientifiques, recommandations cliniques, données hospitalières), et un volet pratique, basé sur une enquête menée auprès de patients ayant reçu une radiothérapie cervico-faciale. Nous avons adopté une démarche descriptive à visée qualitative pour identifier les mécanismes en cause et proposer des mesures de prévention visant à renforcer la qualité des soins, optimiser la radioprotection et améliorer la prise en charge des patients.

Mots clés : Ostéoradionécrose – Radiothérapie – Maxillaire – Prévention – Physique médicale – Dosimétrie – Radioprotection – Santé bucco-dentaire

Abstract:

In our study, we aimed to highlight the importance of preventing osteoradionecrosis of the jaws in patients undergoing radiotherapy. This is a rare but serious and debilitating complication, often resulting from oncological treatments in the head and neck region. This condition presents a major challenge in medicine and medical physics, with the goal of reducing therapeutic risks, improving patients' quality of life, and ensuring the safety of radiotherapy treatments. Our work is based on a dual sample: a theoretical component using diverse bibliographic sources (scientific publications, clinical guidelines, hospital data), and a practical component involving a survey of patients who underwent cervico-facial radiotherapy.

We adopted a descriptive, qualitative approach to identify the underlying mechanisms and propose preventive measures to enhance care quality, optimize radioprotection, and improve overall patient management.

Keywords: Osteoradionecrosis – Radiotherapy – Jaw – Prevention – Medical Physics – Dosimetry – Radioprotection – Oral Health

ملخص:

في دراستنا، سعينا إلى تسليط الضوء على أهمية الوقاية من تنخر العظم الإشعاعي في الفك لدى المرضى الخاضعين للعلاج الإشعاعي، وهي مضاعفة نادرة ولكنها خطيرة ومسببة للعجز، وتنتج غالبًا عن علاجات الأورام في منطقة الرأس والعنق. تشكل هذه الحالة تحديًا كبيرًا في مجالي الطب والفيزياء الطبية، وتهدف الجهود إلى تقليل المخاطر العلاجية، وتحسين جودة حياة المرضى، وضمان سلامة العلاجات الإشعاعية. استند عملنا إلى عينة مزدوجة: جانب نظري من خلال مراجعة مصادر علمية متنوعة (منشورات، توصيات سريرية، بيانات مستشفيات)، وجانب تطبيقي من خلال استبيان شمل مرضى خضعوا للعلاج الإشعاعي على مستوى الرأس والعنق. اعتمدنا على منهج وصفي ذي طابع نوعي بهدف تحديد الآليات المسببة واقتراح وسائل وقائية من شأنها تعزيز جودة الرعاية، وتحسين الحماية من الإشعاع، والارتقاء بالتكفل الشامل بالمرضى.

الكلمات المفتاحية: تنخر العظم الإشعاعي – العلاج الإشعاعي – الفك – الوقاية – الفيزياء الطبية – التخطيط الجرعي – الحماية من الإشعاع – الصحة الفموية