

RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE POPULAIRE

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITÉ MOULOUD MAMMERI, TIZI-OUZOU

FACULTÉ DE MÉDECINE

DÉPARTEMENT DE MÉDECINE DENTAIRE



MÉMOIRE

DE FIN D'ÉTUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME DE DOCTEUR EN MÉDECINE DENTAIRE

THÈME

L'IMAGERIE EN ODF

Réalisé par :

GUEZI ANIA

BOUDJELOUA DJOUHER

KHELIL YAMINA

DRIDI YOUSRA

BELAID SONIA

Encadrés par : Dr. MISSARA .B

Présenté et soutenu publiquement :

Le 29/06/2025

Devant le jury:

| | | | |
|------------------------|------------|-------|---------------------|
| Pr. KACI.N | Professeur | UMMTO | Président |
| Dr .MISSARA . B | MAHU | UMMTO | Encadreur |
| Dr. BOUAFIA .O | Assistant | UMMTO | Examineur |
| Dr. BOUDINA .A | Assistant | UMMTO | Examineur |
| Dr. HAMZAOUI .Y | Assistant | UMMTO | Examinatrice |

Année universitaire :

2024 /2025

Avant toute chose, je dis MERCI à DIEU, le seul véritable guide de nos pas. Il m'a permis de devenir dentiste, ce n'est point par mon choix, mais par Sa volonté divine. Il m'a ouvert la voie, et m'a offert cette destinée que je chéris aujourd'hui.

Après Dieu, c'est à ma mère que vont mes pensées les plus profondes. À celle qui a sacrifié ses rêves pour nourrir les miens. Qui a vécu à travers moi, oubliant parfois son propre souffle pour faire battre le mien. Maman, ton amour m'a porté plus loin que les mots ne peuvent le dire. Tu es le cœur de mon courage, la source de ma persévérance.

Je n'oublie pas mon père, paix à son âme. Son absence n'a jamais effacé sa présence en moi. Son souvenir me parle dans le silence, sa force vit dans mes choix, et son amour m'a toujours accompagné, même au-delà de l'absence.

Je tiens à remercier de tout cœur chaque professeur qui, avec passion et dévouement, a semé en nous les graines du savoir. À vous qui avez offert votre temps, votre énergie, et parfois votre patience, pour forger les médecins et les dentistes de demain, je vous adresse un respect sincère.

À toutes celles et ceux qui, un jour, ont traversé ma vie, que ce soit pour un instant ou pour un chapitre, et qui m'ont appris une leçon, parfois dans la douceur, parfois dans l'épreuve : merci. Pour votre présence, vos gestes, ont bâti la personne que je suis.

Et enfin... à moi-même. À celle que je suis devenue malgré les chutes, malgré les échecs, malgré le poids du passé. À celle qui n'a jamais cessé d'essayer, de rêver, de se reconstruire. Merci à moi, d'avoir choisi la lumière même dans l'obscurité, de continuer à me relever pour devenir, chaque jour, une version plus forte, plus sage, plus humaine — pour être, un jour, la dentiste que j'ai été destinée à devenir.

QUEZI ANA

Au nom d'Allah le tout puissant

Je dédie ce mémoire :

A Mes chers parents :

Qui ont cru en moi quand je doutais de moi-même, merci pour votre amour inconditionnel, votre soutien permanent et vos encouragements tout au long de mes études. Merci d'être toujours avec moi.

A ma sœur Takoua et mon frère Yasser :

Merci pour votre soutien inépuisable, pour vos mots pleins de sagesse et votre confiance à moi.

A mon mari :

Merci pour ton écoute, ta patience, ta compréhension et ta présence constante à mes côtés tout au long de ce parcours et me redonner le sourire quand tout semblait difficile.

A tous les membres de ma famille, petits et grands.

Dridi Youssra

Avant tous : MERCI DIEU

Ce n'est pas parce que la tradition exige que cette page se trouve dans ce travail, mais par ce que les gens à qui s'adressent nos remerciements les méritent vraiment.

Chers parents, je vous serai éternellement reconnaissant pour votre amour, vos conseils et votre soutien indéfectible. Les valeurs que vous m'avez inculquées continuent de façonner ma vie, et j'ai tellement de chance de vous avoir comme parents.

*Je tiens à remercier mes chers frères **YDIR, HAKIM** et **MOURAD** et toute ma famille.*

*Je souhaite aussi remercier notre professeur **Dr MISSARA** de nous avoir donné le privilège d'encadrer nos travaux.*

Aussi, je tiens à présenter mes remerciements munis d'expression de reconnaissance et de considération à tous les professeurs et au cadre administratif de notre faculté.

Enfin, je tiens à témoigner toute ma gratitude à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Merci à vous tous

Sonia Belaid

Je remercie mes parents et mes frères

Khelil Yamina

Je dédier ce mémoire

A mon très cher père merci de d'avoir été toujours là pour moi ; un grand soutien tout au long de mes études et des mots ne pourront jamais exprimer la profondeur de mon respect ma considération, ma reconnaissance, et mon amour éternel.

A ma très chère mère, tu représentes pour moi la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi, tu n'as pas cessé de me soutenir, ton amour ta générosité exemplaire ta présence constante en fait de moi ce que je suis aujourd'hui.

A mes frères et sœurs et toute la famille, je vous dédier ce travail en témoignant de mon amour et mon attachement.

A mon fiancé SALAH, ton encouragement et ton soutien éteint la bouffée d'oxygène qui me ressourçait dans les moments pénibles merci d'être toujours à mes côtés, par ta présence, par ton amour dévoué et ta tendresse et mabelle-famille je ne pourrais jamais exprimer le respect que doit pour vous, puisse dieu le tout puissant vous préserver du mal et vous combler de santé.

Boudjelouadjouher

Remerciements

Ce mémoire marque la fin d'un parcours, mais aussi l'aboutissement de plusieurs mois de travail, d'efforts, de doutes parfois, et de belles découvertes. À ce titre, je souhaite remercier toutes les personnes qui ont, chacune à leur manière contribué à cette aventure.

Avant tous on tient à remercier DIEU le tous puissant grâce à lui qu'on est tous là.

On tient à adresser nos sincères remerciements à Dr MISSARA.B pour son encadrement bienveillant, sa patience, ses conseils éclairés, et surtout pour nous avoir accordé sa confiance tout au long de ce travail. Ses remarques pertinentes et son accompagnement nous ont permis de progresser et de structurer nos idées avec clarté.

On remercie également tous les enseignants et intervenants rencontrés durant notre cursus et pour la richesse de leur enseignement et leur engagement.

Un grand merci à nos membres de jury Pr Kaci.N Dr BOUAFIA.O Dr BOUNDIA.A et Dr HEMZAOUY.Y.

Enfin, un merci du fond du cœur à nos familles, un véritable pilier tout au long de notre parcours. Merci pour votre soutien indéfectible, vos encouragements constants, et votre confiance en nos capacités. Sans vous, rien n'aurait été possible.

Liste des abréviations

PACS: Pictures Archiving and Communicating System.

SID : La distance source-image

PO : Le porion

BW: Bite-Wing

DDM: Dysharmoniedento-maxillaire

RVG : Radiovisiographie

OPT, OPG : Orthopantomogramme

Sv : Sievert

ATM : Articulation temporo-mandibulaire

N2A : Nasion biauriculaire

OM : Orbito-méatal

S : Sagittal

ORL : Otorhinolaryngologie

IRM : Imagerie par résonance magnétique

FOV: FieldOf View (Champ de vision)

PA : Antéropostérieur

CVMS : Stade de maturation des vertèbres cervicale

TLR: Téléradiographie

DICOM: Digitalimaging and communication in Medecine.

CT: Computed tomography

TDM : Tomodensitométrie

UH :Unité de Hounsfield

TEP : Tomographie par émission de position

CBCT: Cone beam computed tomography

M.A.R.S: Metallic Artefacts Reduction Software

RMN : Résonance magnétique nucléaire

ADN : AcideDysoxyribo Nucléaire.

ARN : Acide RyboNucléaire.

QI : Quotient intellectuel

CIPR : Commission Internationale de Protection Radiologique

IA :Intelligenceartificielle

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Spectre electromagnetique des longueurs d'ondes | 3 |
| Figure 2 : Tube à rayons x avec les principaux composants étiquetés (sanjay m. mallya)..... | 4 |
| Figure 3 : Rayonnement de freinage (sanjay m. mallya). | 5 |
| Figure 4 : Production de rayonnement caractéristique (Sanjay M. Mallya) | 5 |
| Figure 5 : Effet photoelectrique (sanjay m. mallya)..... | 7 |
| Figure 6 : Diffusion Compton (Sanjay M. Mallya)..... | 8 |
| Figure 7 : Image montrant la difference d'attenuation de rayon X par les objets | 8 |
| Figure 8 : Radiologie pulmonaire montrant la différence du contraste..... | 10 |
| Figure 9 : La différence résolution spatiale des pixels | 11 |
| Figure 10 : règles géométriques lors de la projection de l'image radiologique | 11 |
| Figure 11 : Artéfacts causés par une boucle d'oreille [Bourzgui, et al., 2000]..... | 14 |
| Figure 12 : Artefacts métalliques (Dr Rufino Felizardo) | 15 |
| Figure 13 : Artefacts cinétiques (Dr Rufino Felizardo) | 15 |
| Figure 14: Schéma illustrant la méthode de Pordes, Ewan et Clark | 19 |
| Figure 15 : La technique de bissectrice. (Sanjay M. Mallya). | 20 |
| Figure 16 : Technique de parallélisme (sanjay m. mallya). | 21 |
| Figure 17 : illustration d'une radiographie retro coronaire | 23 |
| Figure 18 : Incidence dysocclusale mediane..... | 24 |
| Figure 19 : Incidence dysocclusale laterale..... | 25 |
| Figure 20 : Incidence ortho occlusale mandibulaire | 25 |
| Figure 21 : Incidence dusocclusale mediane..... | 26 |
| Figure 22 : Incidence dysocclusale laterale..... | 26 |
| Figure 23: Illustration d'un angulateur | 27 |
| Figure 24 : Schéma descriptif d'un appareil de radiographie panoramique | 30 |
| Figure 25 : Différence entre collimateur intraoral et panoramique..... | 31 |
| Figure 26 : Description de principe du panoramique | 32 |
| Figure 27 : Description de mouvement du récepteur et du tube radiogene..... | 33 |
| Figure 28 : Production d'une image panoramique | 33 |
| Figure 29 : Vue schématique des relations entre la source de rayons X, le patient, le collimateur secondaire et le récepteur d'image (Sanjay M. Mallya)..... | 34 |
| Figure 30 : Centre de rotation glissant du tube à rayons X Al-Fahdawi M. | 34 |
| Figure 31 : Image montrant l'ensemble du récepteur et collimateur (Al-Fahdawi M) | 35 |
| Figure 32 : FOSSE FOCALE | 35 |
| Figure 33 : Formation d'images réelles, doubles et fantômes. | 37 |
| Figure 34 : Exemple de positionnement..... | 38 |
| Figure 35 : Erreurs de positionnements (Sanjay M. Mallya) | 39 |
| Figure 36 : Schéma des projections de clarté aérique et superposition de tissus mous sur une radiographie panoramique..... | 42 |
| Figure 37 : Radiographie présentant l'image d'une prothèse amovible mandibulaire | 42 |
| Figure 38 : Position du plan sagittal médian | 43 |

| | |
|--|----|
| Figure 39 : Position du plan orbitoméatal | 44 |
| Figure 40 : Description de la technique de lecture des angles | 45 |
| Figure 41 : Réalisation de l'incidence de la mandibule de face, bouche ouverte au maximum, avec une table classique (Friedrich A. Pasler). | 46 |
| Figure 42 : Incidence face haute | 47 |
| Figure 43 : Réalisation de l'incidence de Blondeau (Friedrich A. Pasler)..... | 47 |
| Figure 44 : Incidence de waters (incidenceoccipito_ mentonnaire) (EricWhaites, Nicholas Drage)..... | 48 |
| Figure 45 : APosition pour l'incidence PA des mâchoires/PA mandibulaire . B. schéma de positionnement (EricWhaites, Nicholas Drage)..... | 49 |
| Figure 46 : A Position pour l'incidence latérale vraie . B. schéma de positionnement (EricWhaites, Nicholas Drage) | 50 |
| Figure 47 : Incidence du schuller | 52 |
| Figure 48 : Incidence Hirtz (Nacer H). | 53 |
| Figure 49 : Réalisation de l'incidence axiale selon Hirtz (Friedrich A. Pasler)..... | 54 |
| Figure 50 : Système pour une téléradiographie de profil, d'après W. Proffit..... | 55 |
| Figure 51 : Analyse céphalométrique de face de Ricketts | 56 |
| Figure 52 : Points osseux (M-J. Boileau)..... | 59 |
| Figure 53 : Les principaux points céphalométriques. (M-J. Boileau) | 60 |
| Figure 54: les lignes et plans utilises | 60 |
| Figure 55 : Les Variables linéaires du sens sagittal. | 61 |
| Figure 56 : Analyse de DELAIRE | 62 |
| Figure 57 : les vertèbres cervicales sur une radiographie de profil..... | 63 |
| Figure 58 : Schéma sur les différents stades des vertèbres cervicales | 63 |
| Figure 59 :(a)rendu volumétriquelatéral avec analyse céphalométrique3D, (b) image comparable à une image de céphalométrie2D, les2 issus d'un CBCT (Harrell et al ,2018)... | 66 |
| Figure 60 : Position de la main de patient..... | 67 |
| Figure 61 : Illustration anatomique des os de la main..... | 67 |
| Figure 62 : Image radiologique du poignet et de la main ouverte..... | 67 |
| Figure 63 : les stades de croissance..... | 68 |
| Figure 64 : l'os sesamoide..... | 69 |
| Figure 65 : Courbe de croissance de BJORK..... | 70 |
| Figure 66 : Système de Tomodensitométrie Multi coupe Siemens en Environnement Hospitalier | 70 |
| Figure 67 : Schémas illustrant les Limites de l'imagerie conventionnelle 2D..... | 71 |
| Figure 68 : Principaux constituants de la TDM | 71 |
| Figure 69 : Principe de fonctionnement | 71 |
| Figure 70 : TDM de première génération..... | 72 |
| Figure 71 : TDM de deuxième génération | 72 |
| Figure 72 : Représentation schématisée des différentes générations de scanners tomographiques (C. Thiery and JL Gerstenmayer)..... | 73 |
| Figure 73 : La tomodensitométrie multi barrette | 73 |
| Figure 74 : Échelle de Hounsfield selon la densité des tissus | 75 |

| | |
|--|-----|
| Figure 75: Scout views visualisant la pile de coupes acquises dans le plan axial pour les reconstructions dentascanner : examen de la mandibule (a) et examen du maxillaire (b). Programmation des reconstructions coronales obliques mandibulaires (C) et maxillaires (d). | 77 |
| Figure 76 : Fracture radiculaire de 23 | 78 |
| Figure 77 : Dent de sagesse incluse dont les apex entourent le canal mandibulaire. | 79 |
| Figure 78 : Scanner à Rx du patient présentant une ankylose de 13 incluse avec résorption ayant débutée par la pointe canine. (a) et (b) reconstruction para-sagittale droite. | 79 |
| Figure 79 : Scanner préopératoire d'une patiente présentant une hypercondylien gauche. (a) coupe coronale, (b) modélisation 3D en rendu de face. | 80 |
| Figure 80 : Comparaison entre l'activité métabolique cérébrale entre un patient sain et un patient atteint d'Alzheimer | 82 |
| Figure 81 : Schema expliquant le principe de fonctionnement du tep scan | 83 |
| Figure 82 : PET-scan permettant de visualiser le contour anatomique exact de la région mandibulaire touchée avec une activité métabolique accrue. | 84 |
| Figure 83 : Fixation importante des marqueurs au niveau de l'angle droit et de la branche montante mandibulaire (flèche) signant un turn-over métabolique très actif de l'os. | 87 |
| Figure 84 : Principe d'acquisition Pauwel & al, 2018 | 88 |
| Figure 85 : Principe de reconstitution 3D des images en Cône BEAM | 89 |
| Figure 86 : Schémas des différentes étapes de la production d'image CBCT (Pauwels & al, 2018). | 89 |
| Figure 87 : Les champs d'exploration du cbct (Pauwels & al, 2018) | 90 |
| Figure 88 : Illustration des différents modes d'affichage des données CBCT | 90 |
| Figure 89 : Planification implantaire numérique avec Quick Vision 3D | 93 |
| Figure 90 : Dent incluse au CBCT et dent surnuméraire | 94 |
| Figure 91 : Panoramique reconstruite (a), rendu de surface en vue latérale droit (b) et images axiales séquentielles (c) d'un patient présentant une hypoplasie maxillaire avec déficience transversale et fente unilatérale droite complète et une mésioposition du secteur droit. Scarfe & al, 2018 | 94 |
| Figure 92 : Visualisation en mode MIP, d'un patient adulte présentant une rétrognathie maxillaire associée à une latéromandibulie droite entraînant une occlusion inversée antérieure et latérale droite. Maeda et al, 2006 | 94 |
| Figure 93 : Intérêt du CBCT dans le diagnostic d'une résorption radiculaire sur la dent 22. Le Gall & al, 2021 | 95 |
| Figure 94 : Panoramique reconstituée (a), projection frontale à intensité maximale (b), et l'images séquentielles en coupes sagittales de 1 mm d'épaisseur (c) : l'imagerie explique l'échec du mouvement orthodontique de l'incisive centrale maxillaire gauche par le diagnostic d'une dilacération coronaradiculaire sévère au milieu de la racine de cette dent empêche tout mouvement et Alignements contrôlés. | 95 |
| Figure 95 : Réalisation numérique, impression et utilisation du guide chirurgical. | 95 |
| Figure 96 : Le phenomene d'echo utilisé par les dauphins | 97 |
| Figure 97 : Appareil d'échographie médicale | 98 |
| Figure 98 : Principe de l'échographie | 99 |
| Figure 99 : Principes de l'échographie | 100 |

| | |
|---|-----|
| Figure 100 : Image échographique 3D D'un fœtus ayant une fente labiale unilatérale gauche. | 101 |
| Figure 101 : Fente labiale sur une échographie..... | 102 |
| Figure 102 : Précession du Spin : Analogie entre un Toupie en Rotation et un Noyau d'Hydrogène en RMN..... | 104 |
| Figure 103 : Description du bobinage supra conducteur..... | 105 |
| Figure 104 : Génération du Champ Magnétique dans une IRM : Rôle de la Bobine et du Courant Électrique..... | 106 |
| Figure 105 : Principe de L'IRM..... | 107 |
| Figure 106 : Magnétisation | 107 |
| Figure 107 : La Résonance..... | 108 |
| Figure 108 : Relaxation | 109 |
| Figure 109 : Relaxation longitudinale et transversale | 109 |
| Figure 110 : Principe de formation de l'image en IRM | 110 |
| Figure 111 : Formation de l'image à partir du plan de coupe | 111 |
| Figure 112 : Image caractéristique de coupe sagittale en IRM. | 112 |
| Figure 113 : Principales grandeurs et unités internationales utilisées dans le domaine des rayonnements ionisants | 104 |
| Figure 114 : Effet déterministes décrits pour expositions à des rayonnements gamma ou x | 107 |
| Figure 115 : Coefficients multiplicateurs concernant les risques des différentes classes d'âge | 108 |
| Figure 116 : Estimation du risque cancéreux chez l'adulte pour les différents examens radiologiques | 108 |
| Figure 117 : les doses efficaces de différentes techniques radiologiques | 110 |
| Figure 118 : Schéma indiquant comment l'imagerie médicale est justifiée | 111 |
| Figure 119 : Les classifications des zones de travail | 113 |
| Figure 120 :Exemples de protections plombées thyroïdiennes (A collier plombe, Bbouclierrotatif)..... | 114 |
| Figure 121 : Indications des examens radiographiques en denture mixte..... | 128 |
| Figure 122 : Indications des examens dentaires en denture adolescente et adulte..... | 130 |
| Figure 123 : Indication des examens faciaux en denture adolescente et adulte..... | 131 |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----|
| Tableau 1: Comparaison entre scanner et dentascan :..... | 77 |
| Tableau 2: Les principales différences techniques entre un Cône BEAM et un scanner..... | 91 |
| Tableau 3: Les contre-indications de l'IRM | 112 |

Table des matières

Dédicaces

Remerciements

Table des matières

| | |
|---|------|
| Liste des abréviations | ii |
| Liste des figures | ii |
| Liste des tableaux | vii |
| Table des matières | viii |
| Introduction..... | 1 |
| Chapitre I | 1 |
| Généralités | 1 |
| 1. Historique : | 2 |
| 2. Définition et propriétés des rayons X :..... | 3 |
| 2.1. Définition de rayon x : | 3 |
| 2.2. Production des rayons X :..... | 3 |
| 2.3. Formation de l'image radiologique : | 6 |
| 2.4. Les caractéristiques de l'image radiographique :..... | 9 |
| 2.5. Les paramètres qui interviennent dans l'exécution d'une radiographie : | 12 |
| 2.6. Bruits et artefacts : | 13 |
| Chapitre II | 2 |
| Les Radiographies intra buccales | 2 |
| 1. La rétro-alvéolaire : | 18 |
| 1.1. Définition : | 18 |
| 1.2. Intérêt du rétro alvéolaire : | 18 |
| 1.3. Incidences rétro alvéolaires : | 19 |
| 1.4. La réalisation proprement dite : | 21 |
| 1.5. Les limites de la retro alvéolaire : | 22 |
| 2. La radiographie rétro-coronaires ou bite-Wing : | 22 |
| 2.1. Définition : | 22 |
| 2.2. Intérêt : | 22 |
| 3. Le mordu occlusal : | 23 |
| 3.1. Définition : | 23 |
| 3.2. Indications : | 23 |
| 3.3. Les incidences : | 24 |
| 4. La radiovisiographie - RVG : | 26 |
| 5. Les angulateurs : | 27 |

| | |
|---|----|
| 5.1. Constitution d'un angulateur : | 27 |
| 5.2. Types d'angulateurs | 27 |
| 6. Limite de la radiographie intra buccale : | 28 |
| Chapitre III | 18 |
| Panoramique dentaire | 18 |
| 1. Définition : | 30 |
| 2. Principe du panoramique dentaire | 30 |
| 3. Positionnement du patient: | 37 |
| 4. Les indications du panoramique en ODF : | 39 |
| 5. Limites : | 40 |
| Chapitre IV | 30 |
| Les incidences extra-orales | 30 |
| 1. Définition | 43 |
| 2. Équipement, positionnement et incidences | 45 |
| 2.1. Incidences de face : | 45 |
| 2.2. Incidences De profil : | 49 |
| 2.3. Incidences axiales : | 52 |
| 3. LA TELERADIOGRAPHIE : | 54 |
| 3.1. Définition : | 54 |
| 3.2. Principes de réalisation : | 54 |
| 3.3. Téléradiographie frontale (incidence céphalométrique PA des mâchoires) : | 55 |
| 3.4. La téléradiographie axiale : | 57 |
| 3.5. La téléradiographie de profil : | 57 |
| Chapitre V | 43 |
| Radiographie de la main | 43 |
| 1. Définition : | 66 |
| 2. Terminologie : | 66 |
| 3. Technique d'examen : | 66 |
| 4. Les indications en ODF : | 67 |
| Chapitre VI | 66 |
| La Tomodensitométrie | 66 |
| 1. Définition : | 70 |
| 2. Limites de l'imagerie conventionnelle 2D : | 70 |
| 3. Matériel et appareillage : | 71 |
| 4. Principe de base : | 74 |
| 4.1. La théorie de Radon | 74 |

| | |
|--|-----|
| 4.2. L'échelle de Hounsfield : | 74 |
| 4.3. Le fenêtrage..... | 74 |
| 4.4. Le processus : | 75 |
| 5. Réalisation de l'examen : | 76 |
| 6. Le dentascanner | 76 |
| 7. Indications : | 78 |
| 8. Avantages : | 80 |
| 9. Inconvénients et risques : | 80 |
| Chapitre VII | 82 |
| TEP Scan | 82 |
| 1. Définition | 82 |
| 2. Déroulement de l'examen : | 82 |
| 3. Principe de fonctionnement : | 82 |
| 4. Déroulement du couplage TEP-TDM : | 83 |
| 5. Les indications de TEP scan en odontostomatologie : | 83 |
| Chapitre VIII | 82 |
| La Scintigraphie | 82 |
| 1. Définition | 85 |
| 2. Le remodelage osseux : | 85 |
| 3. Objectifs de la scintigraphie | 85 |
| 4. Déroulement de l'examen : | 86 |
| 5. Applications spécifiques en odontologie : | 87 |
| Chapitre IX | 85 |
| Le Cône BEAM | 85 |
| 1. Définition | 88 |
| 2. Principe physique : | 88 |
| 3. Les principales différences techniques entre un Cône BEAM et un scanner[62] | 91 |
| 4. Avantages du Cône BEAM comparé au scanner : | 91 |
| 5. Les indications du Cône BEAM : | 92 |
| 6. Limites de Cbct : | 95 |
| Chapitre X | 88 |
| Echographie | 88 |
| 1. Définition : | 97 |
| 2. Principe d'émission-réception : | 97 |
| 3. Déroulement d'une échographie : | 98 |
| 4. Principe de fonctionnement de l'échographie : | 100 |

| | |
|--|-----|
| 5. Types d'échographie :..... | 101 |
| 6. Applications de l'échographie en odontologie :..... | 102 |
| Chapitre XI..... | 97 |
| L'IRM 97 | |
| 1. Définition, généralités :..... | 104 |
| 2. Rappels biophysiques :..... | 104 |
| 3. Appareillage :..... | 105 |
| 4. Principe général de l'IRM :..... | 106 |
| 4.1. La résonance magnétique nucléaire..... | 106 |
| 4.2. Formation de l'image dans l'Imagerie par Résonance Magnétique IRM..... | 110 |
| 4.3. Reconstruction de l'Image IRM :..... | 110 |
| 4.4. Affichage et Post-Traitement de l'Image :..... | 111 |
| 5. Intérêt de l'IRM en orthopédie dento faciale :..... | 111 |
| Chapitre XII..... | 104 |
| La Radioprotection..... | 104 |
| 1. Définition :..... | 104 |
| 2. Effet biologique du rayonnement ionisant :..... | 105 |
| 2.1. Classification des effets biologiques :..... | 106 |
| 3. Radioprotection :..... | 110 |
| 3.1. La justification..... | 110 |
| 3.2. L'optimisation..... | 111 |
| 3.3. La limitation..... | 111 |
| 3.4. Règles générales :..... | 113 |
| Chapitre XIII..... | 104 |
| Stratégie d'exploration du cliché radiographique en ODF..... | 104 |
| 1. Indications des examens radiographiques en ODF..... | 127 |
| 1.1. Denture temporaire (avant l'éruption de la première dent permanente, en moyenne 6 ans ± 10 mois) :..... | 127 |
| 1.2. Denture mixte (après l'éruption de la première dent permanente jusqu'à l'apparition de la première prémolaire ou canine, en moyenne 6 ans ± 10 mois à 10 ans ± 6 mois) :..... | 127 |
| 1.3. Denture adolescente et denture adulte jeune (après l'apparition de la première canine ou prémolaire et jusqu'à l'apparition de la troisième molaire, en moyenne 10 ans ± 6 mois à 17/21 ans)..... | 128 |
| Chapitre XIV..... | 128 |
| Intelligence Artificielle..... | 128 |
| 2. Applications de l'IA en radiologie :..... | 132 |
| Conclusion générale..... | 133 |

Références bibliographiques 135

Introduction générale

Introduction

La dentisterie est une discipline médicale qui s'intéresse à l'étude des dents et des tissus environnants, désignés sous le terme de parodonte, constitué du cément, du desmodonte, de l'os alvéolaire et de la gencive. Elle se décline en plusieurs spécialités dont l'odontologie conservatrice et l'endodontie, la prothèse, la parodontologie, la pathologie buccodentaire et l'orthopédie dento-faciale (ODF). Cette dernière a pour objectif de prévenir, intercepter et corriger les dysharmonies dento-maxillo-faciales chez l'enfant afin d'optimiser sa croissance et son développement. Avec le temps, le terme « orthodontie » a émergé pour désigner plus précisément les traitements de déplacement dentaire, permettant ainsi une prise en charge croissante des patients adultes.

En ODF, l'examen clinique constitue la première étape essentielle de la prise en charge. Il comporte un examen exo-buccal, un examen endo-buccal et certains examens spécifiques, auxquels s'ajoutent des examens complémentaires tels que les moulages, les radiographies et les photographies. Ces éléments permettent d'établir un diagnostic précis et de définir une décision thérapeutique adaptée. L'imagerie médicale joue ainsi un rôle fondamental dans chaque étape du diagnostic et du traitement en orthopédie dento-faciale, devenant incontournable dans la pratique quotidienne [1]. Elle se définit comme la représentation, sous forme d'images, d'informations anatomiques et/ou fonctionnelles in vivo des différentes structures du corps humain. Ces images sont obtenues pour répondre à une indication médicale, en utilisant des techniques adaptées et en veillant à limiter les risques et les coûts pour le patient [1,2].

Parmi les techniques d'imagerie les plus utilisées en ODF figurent la radiographie conventionnelle, la tomodensitométrie (TDM), l'imagerie par résonance magnétique (IRM), la scintigraphie, le TEP-scan et l'échographie. Dans ce cadre, il apparaît pertinent de s'interroger sur la manière dont ces différentes techniques d'imagerie allient principes physiques, performances diagnostiques et respect des exigences cliniques et radio protectrices afin de guider efficacement les décisions thérapeutiques en orthopédie dento-faciale.

Chapitre I

Généralités

1. Historique :

L'histoire de la radiologie a commencé avec la découverte des rayons X par Wilhelm CONRAD Roentgen en 1895 alors qu'il étudie le rayon cathodique à l'aide d'un tube de Crookes il remarque un écran fluorescent s'illumine malgré l'obstruction du tube ce qui l'amène à identifier un nouveau type de rayonnement invisible. Ces Etudes ont conduit de manière inattendue à la découverte de rayons invisibles capables de traverser la plupart des substances, laissant des ombres qui pourraient être enregistrées sur des plaques photographiques. En raison de la nature inconnue de ces rayons à l'époque, Roentgen les a alors qualifiés de « rayons X » il réalise alors le premier cliché sur la main de sa femme[3,4].

2 semaines plus tard, le dentiste allemand Otto Walkhoff réalise sur lui-même la première Radiographie dentaire au prix d'une pose de 25 minutes. Elle sera obtenue sur une plaque Photographique en verre maintenue verticalement en bouche, en arrière des dents. Cette Technique est l'application fidèle du principe initial d'imagerie de Roentgen, qui utilise un Faisceau de rayon X ouvert et de géométrie conique[3,4].

La nouvelle de cette découverte s'est rapidement répandue, en particulier dans le milieu médical. En février 1896, les applications cliniques ont commencé à être mises en œuvre[3].

À Partir de 1918 la radiographie fait un saut technologique avec l'introduction du film par le fondateur de la Eastman Kodak Company, George Eastman tandis qu'avant ils utilisaient des plaques photographiques en verre[3,4].

Les progrès technologiques au fil des années ont contribué à l'évolution continue de l'imagerie médicale. La médecine de la Seconde Guerre mondiale jusqu'aux années 1950 a propagé la technologie des ultrasons modernes. Par la suite, les années 1970 ont vu l'arrivée d'autres méthodes d'imagerie, largement utilisées de nos jours, telles que la tomodensitométrie et l'imagerie par résonance magnétique (IRM)[3,4].

En 1982, Francis Mouyen (Toulouse), par la mise au point de la radiovisiographie ou RVG, donne à l'évaluation odontologique intra-buccale la possibilité numérique de l'image qu'elle Attendait[3,4].

Depuis, l'imagerie médicale n'a pas cessé d'évoluer, de se perfectionner et de proposer des technologies de plus en plus précises, performantes et novatrices comme l'intelligence artificielle qui a beaucoup révolutionné le domaine de la radiologie par des algorithmes permettant de diagnostiquer précocement certaines maladies[3,4].

Pour conclure, une récente étude européenne menée par le cabinet IPSOS auprès de plus de 4000 européens a placé l'imagerie médicale comme la 2eme innovation santé la plus importante de ces 50 dernières années justes après la greffe d'organe[3,4].

2.Définition et propriétés des rayons X :

2.1. Définition de rayon x :

Est un rayonnement invisible qui est une forme de propagation d'énergie à travers l'espace sous forme d'onde électromagnétique au même titre que la lumière visible, l'ultra-violet, l'infrarouge, les micro-ondes. ces ondes sont dues à un champ électrique et un champ magnétique perpendiculaires oscillants en phase, elle se propage dans le vide à la vitesse de la lumière, il est constitué de photons dont la longueur d'onde est comprise approximativement entre 0,01 nanomètre et 10 nanomètres [5–7].

Les rayons x possèdent la capacité de traverser le corps humain et sont arrêtés partiellement par lui. La différence d'atténuation du rayonnement X provoquée par les différents composants du corps humain (os, graisse, muscles, eau, air, vaisseaux...) permet de créer l'image en radiologie[6,7].

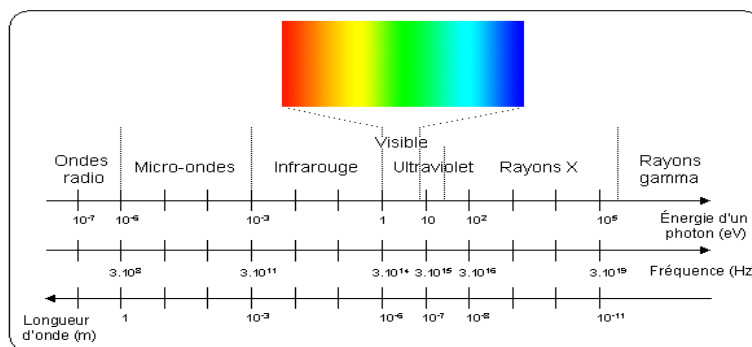


Figure 1 : Spectre électromagnétique des longueurs d'ondes

2.2. Production des rayons X :

-Tube à rayon X :

Les rayons X sont produits dans des tubes également appelés tubes de Coolidge ou tubes à cathode chaude ; Le tube est l'élément essentiel d'une chaîne radiogène, il est constitué d'une cathode (-) et d'une anode (+) mis sous vide (dans une enceinte en verre) pour éviter les

interactions entre les électrons et l'air, et entouré de plusieurs enveloppes de protection permettant d'assurer une protection thermique, électrique et mécanique[6–8]

-La cathode

Est la source des électrons. Il s'agit d'un filament en forme de spirale, composé généralement de tungstène, placé dans une pièce de concentration (métallique en cuvette) ; ce filament s'échauffe par le passage d'un courant électrique, pour laisser échapper les électrons[5–8].

-L'anode (fixe ou tournante)

Est la cible des électrons et le lieu de production des rayons x. La surface de bombardement des électrons sur l'anode s'appelle le foyer. La surface de l'anode est oblique par rapport à la direction du faisceau d'électron de manière à permettre à davantage de rayons x de pouvoir sortir du tube. Le tube radiogène doit être relié à un générateur de haute tension (environ 100 kV), à un générateur secondaire de basse tension et à un système de refroidissement[5–8].

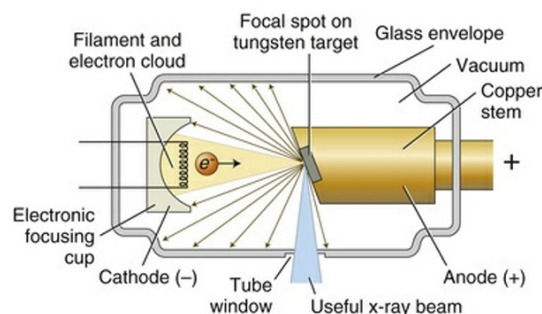


Figure 2 : Tube à rayons x avec les principaux composants étiquetés (sanjay m. mallya)

-Principes physiques :

Les électrons émis par une cathode chauffées par le passage d'un courant électrique de basse tension « effet thermo-ionique ou effet EDISON » sont accélérés par une différence de potentiel élevée délivrée par un générateur de haute tension en direction d'une cible (anode) La production de photons X est due à la décélération rapide des électrons lors de leur impact sur la cible, selon deux mécanismes :

- le rayonnement de freinage (ou rayonnement de Bremsstrahlung)
- le rayonnement caractéristique (ou rayonnement de fluorescence)

Une faible portion, 1% environ de l'énergie cinétique cédée par les électrons est rayonnée sous forme de rayons X, les 99 % restants sont convertis en énergie thermique[5].

a) Le rayonnement de freinage : Quand l'électron passe à proximité du noyau, soumis à la charge positive nucléaire, il est ralenti et sa trajectoire est modifiée (attiré). Ce ralentissement est associé à une perte d'énergie cinétique sous forme de rayons X. Le rayonnement de freinage constitue le mode principal de formation des rayons X en radiologie[5,7].



Figure 3 : Rayonnement de freinage (sanjay m. mallya).

b) Le rayonnement caractéristique : Lorsque l'électron incident entre en collision avec un électron situé sur une orbitale proche du noyau de l'atome, l'électron incident change de vitesse et de trajectoire et l'électron percuté est éjecté créant un espace vacant. Ainsi, il se produit une réorganisation électronique et un électron d'une orbitale plus externe, remplaçant l'électron éjecté, et la différence d'énergie de liaison entre les 2 couches est libérée sous la forme de rayon X. Le rayonnement caractéristique participe seulement à une petite fraction de la production des rayons X[5,7].

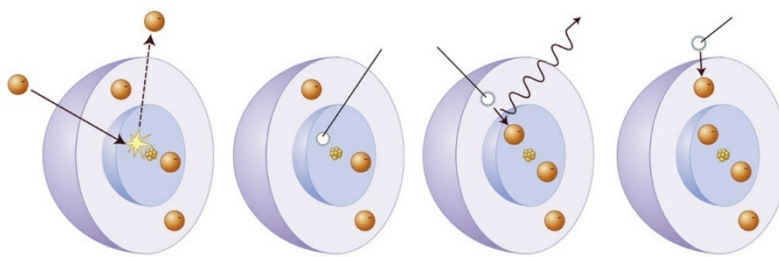


Figure 4 : Production de rayonnement caractéristique (Sanjay M. Mallya)

c) Spectre d'émission des rayons X : Le rayonnement qui émane du tube à rayons X a la particularité d'être poly énergétique. Le filtre Placé contre la fenêtre de sortie de la gaine en verre permet d'homogénéiser l'énergie du faisceau X en éliminant les photons de trop faibles énergies qui sont non seulement inutiles mais aussi nuisible[7].

2.3. Formation de l'image radiologique :

Dans l'imagerie dentaire et maxillo-faciale, le faisceau de rayons X entre dans le visage d'un patient, interagit avec les tissus durs et mous, et frappe un capteur numérique ou un film. Le faisceau incident contient des photons de nombreuses énergies mais est spatialement homogène. C'est-à-dire que l'intensité du faisceau est essentiellement uniforme du centre du faisceau vers l'extérieur. À mesure que le faisceau traverse le patient, son intensité est réduite (atténuée). Cette atténuation résulte de l'absorption des photons individuels dans le faisceau par des atomes dans les tissus ou par des photons étant dispersés en dehors du faisceau[7].

Dans les interactions d'absorption, les photons interagissent avec les atomes des tissus et cessent d'exister. Dans les interactions de diffusion, les photons interagissent également avec les atomes des tissus mais se déplacent ensuite dans une autre direction. La fréquence de ces interactions dépend du type de tissu exposé (par exemple, l'os contre les tissus mous). L'os est plus susceptible d'absorber les photons de rayons X, tandis que les tissus mous sont plus susceptibles de les laisser passer à travers. Bien que le faisceau incident frappant le patient soit spatialement homogène, le faisceau résiduel (le faisceau atténué qui sort du patient) est spatialement hétérogène en raison de l'absorption différentielle par les structures anatomiques à travers lesquelles il est passé. Cette exposition différentielle du film ou du capteur numérique forme une image radiographique. Il existe deux moyens essentiels d'atténuation du faisceau[7].

-Effet photoélectrique :

L'absorption photoélectrique est essentielle en imagerie diagnostique car elle constitue la base de la formation d'images radiographiques. Ce processus se produit lorsqu'un photon incident interagit avec un électron dans une orbitale interne d'un atome du patient. Le photon incident perd toute son énergie au profit de l'électron et cesse d'exister. L'énergie absorbée par l'électron est utilisée pour surmonter l'énergie de liaison, et le reste de l'énergie reste sous forme d'énergie cinétique de l'électron alors qu'il s'échappe des limites de son orbitale. L'énergie cinétique transférée à l'électron (appelée électron de recul ou photoélectron) est égale à l'énergie du photon incident moins l'énergie de liaison de l'électron. Dans le cas des atomes à faible numéro atomique (par exemple, les atomes dans la plupart des molécules biologiques), l'énergie de liaison est faible et le photoélectron acquiert la majeure partie de l'énergie du photon incident[7].

L'interaction photoélectrique provoque l'ionisation de l'atome en raison de la perte d'un électron. Cette déficience en électrons est immédiatement comblée, généralement par un électron d'une orbitale plus externe, avec la libération d'un rayonnement caractéristique[7].

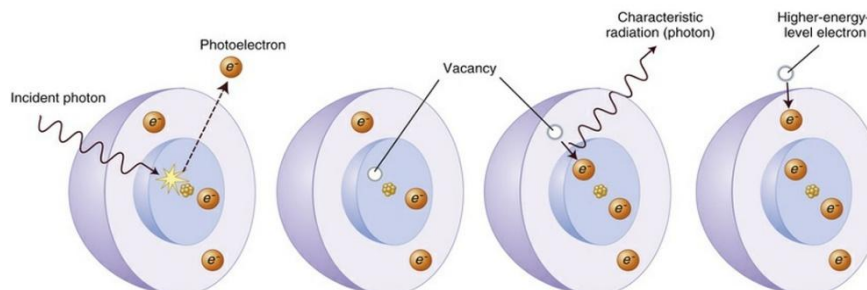


Figure 5 : Effet photoélectrique (sanjay m. mallya)

Absorption photoélectrique. (A) L'absorption photoélectrique se produit lorsqu'un photon incident cède toute son énergie à un électron interne, qui est éjecté de l'atome (un photoélectron). L'électron incident cesse d'exister à ce stade. (B) L'atome ionisé a maintenant un vide d'électron dans l'orbitale interne. (C) Un électron d'un niveau d'énergie supérieur comble le vide et émet une radiation caractéristique. (D) Tous les orbitales sont ensuite remplies, complétant l'échange d'énergie (Sanjay M. Mallya).

-Effet Compton :

La diffusion de Compton se produit lorsqu'un photon interagit avec un électron de l'orbital externe, Environ 57 % des interactions dans une exposition aux rayons X dentaires impliquent une diffusion de Compton. Dans cette interaction, le photon incident entre en collision avec un électron de l'orbital externe, qui reçoit de l'énergie cinétique et se rétracte du point d'impact. Le chemin du photon incident est dévié par cette interaction et est dispersé dans une nouvelle direction. L'énergie de ce photon diffusé est égale à l'énergie du photon incident moins la somme de l'énergie cinétique acquise par l'électron en recul et de son énergie de liaison. Dans la plage d'énergie diagnostique, la plupart de l'énergie est conservée par le photon diffusé qui peut alors provoquer des ionisations supplémentaires, souvent aux sites de tissu en dehors de la circonférence du faisceau incident. Lorsque ces photons diffusés atteignent le récepteur d'image, ils provoquent une dégradation de l'image. Pour limiter l'effet Compton, une grille anti diffusante est utilisée ; il s'agit d'une mince grille constituée de fines lames de plomb de quelques millimètres de largeur et quelques centièmes de millimètres d'épaisseur, disposées parallèlement sur un cadre sur toute la longueur du champ du film radiologique, de telle sorte qu'elles soient orientées vers le tube à rayons X[7].

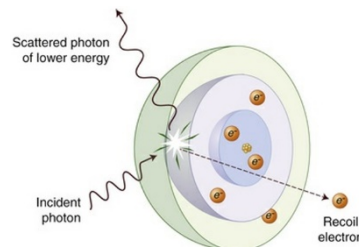


Figure 6 : Diffusion Compton (Sanjay M. Mallya).

La formation de l'image radiologique est la résultante des différences d'atténuation du faisceau de rayons X dans les milieux traversés, en effet l'atténuation des rayons X par les différents tissus traversés, est variable de par la variation de leurs épaisseurs et leurs natures physique et chimique[7].

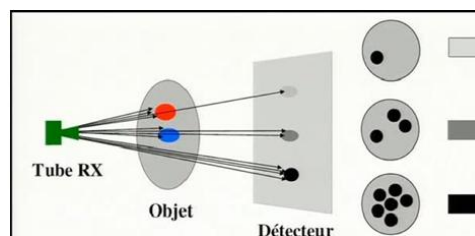


Figure 7 : Image monyquant la difference d atténuation de rayon X par les objets[9]

-Système de recueil de l'information radiologique :

L'image radiante, créée, n'est pas directement interprétable cliniquement, et nécessite un détecteur qui reçoit le faisceau à rayon X et le transforme en une image radiologique. Et cela se fait selon 2 approches[10] :

1. Radiologie analogique : repose sur l'utilisation de film radiographique pour capturer les images obtenues lors des examens radiologique

-Caractéristiques :

- **Acquisition :** Les rayons X sont projetés sur un film photosensible qui est ensuite développé chimiquement.
- **Stockage :** Les images sont conservées sous forme de films physiques, souvent archivés manuellement.
- **Qualité d'image :** Dépendante des conditions de développement et des caractéristiques du film.

-Limites :

- Nécessité de manipuler et de stocker physiquement les films.
- Qualité d'image fixe (pas d'amélioration possible après acquisition).

2. Radiologie numérique : utilise des capteurs électroniques pour convertir les rayons X en signaux numériques, qui sont ensuite transformés en images visualisables sur des écrans.

-Caractéristiques :

- Acquisition : Les détecteurs numériques remplacent les films, comme les capteurs à écran plat ou les plaques à mémoire phosphorent.
- Stockage : Les images sont enregistrées dans des systèmes informatiques (PACS) pour un accès facile et sécurisé[11,12].
- Résolution élevée.
- Possibilité de manipuler et d'améliorer les images (ajustement du contraste, zoom, etc.).

-Avantages :

- Partage rapide entre les professionnels via des réseaux informatiques.
- Réduction des coûts liés aux films et au développement chimique.
- Compatibilité avec l'intelligence artificielle pour une analyse automatisée.

2.4. Les caractéristiques de l'image radiographique :

La netteté : l'image doit être nette sans flou, c'est à dire parfaitement délimitée (une ligne précise sépare les zones claires et sombres)

L'absence de cette caractéristique est le flou, défaut que l'on efforce à réduire.

Les sources du flou sont :

Flou géométrique (flou du foyer) : déterminé par la dimension du foyer. Il est dû au fait que le foyer d'émission des rayons X n'est pas ponctuel et que l'objet n'est pas directement au contact du récepteur. Il peut être réduit : En approchant le patient le plus proche possible de la plaque. En éloignant le tube. En diminuant la taille du foyer en agissant sur le diaphragme[9,13].

Flou cinétique : lié au déplacement de l'objet. Il est dû à tout mouvement du patient ou de l'organe, pour le diminuer : si c'est un mouvement volontaire : immobilisation du patient soit de manière coopérative soit par contention ou préméditation. Si c'est un mouvement involontaire (battements cardiaques) : réduction du temps de pose[9,13].

Flou lié au rayonnement diffusé : rayonnement secondaire émis par l'objet. Il correspond au rayonnement X qui prend naissance au niveau de la cible, essentiellement par effet Compton ou par l'émission de fluorescence, pour le diminuer: Diminuer le volume irradié => Diminuer la taille du champ => Localisateur et collimation, utiliser une grille anti-diffusante[9,13].

Flou du récepteur : Il est dû à l'épaisseur non négligeable de l'émulsion du film[9,13].

Le contraste : est défini en fonction des luminances de deux zones d'images donc la différence d'opacité entre deux points voisins du film sur l'image Il dépend de :

Epaisseur des structures traversées.

Coefficient d'atténuation des structures traversées.

Tension d'accélération (énergie du faisceau incident). Pour améliorer le contraste il faut utiliser une basse tension mais au dépend d'un temps de pose plus long et une dose reçue plus importante[9,13].

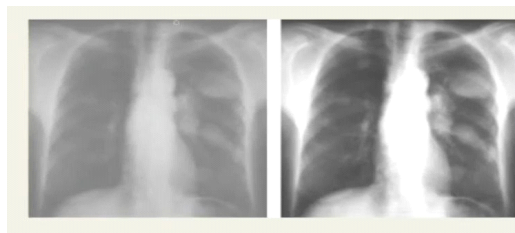


Figure 8 :Radiologie pulmonaire montrant la différence du contraste

Résolution spatiale : est la capacité à distinguer des structures fines et les détails de l'image C'est la plus petite distance qui doit séparer deux objets ponctuels pour pouvoir encore distinguer deux images radiographiques distinctes de ces objets[14].

La résolution est exprimée en nombre de pixels par unité de mesure (pouce ou centimètre). On utilise aussi le mot résolution pour désigner le nombre total de pixels[14].

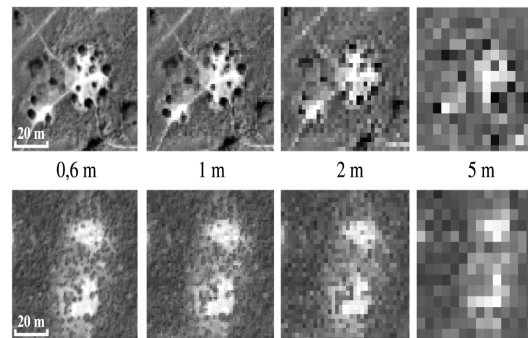


Figure 9 : La différente résolution spatiale des pixels

Centrage: l'image doit se trouver au centre du film [13].

Bruit : est une impression de moutonnement du fond. Il est considéré comme un phénomène brusque de variation de l'intensité d'un pixel par rapport à ses voisins, il provient de l'éclairage des dispositifs optiques et électroniques du capteur. Le bruit est dû à [13] :

La qualité de l'appareil d'acquisition.

Les conditions de prise de vue luminosité, mouvement de la scène, ... etc.

Il est toujours présent.

Il varie avec le temps.

Règles géométriques de la formation de l'image radiante : la projection de l'image radiologique obéit à des règles géométriques très simples :

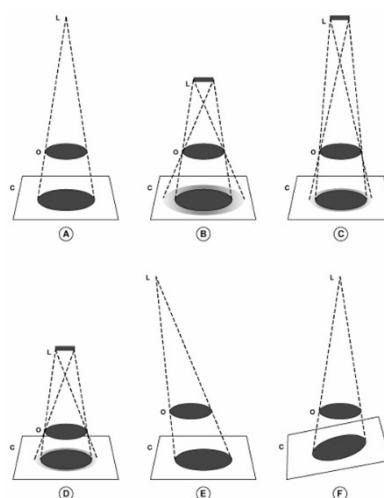


Figure 10 : règles géométriques lors de la projection de l'image radiologique [15]

- La projection forme une ombre qui est généralement plus grande que l'objet, c'est l'agrandissement (distorsion de taille)
- 2 objets égaux à des distances différentes du détecteur et du foyer forment des images inégales. Le plus éloigné du détecteur donne l'image la plus grande
- Une projection perpendiculaire agrandit mais ne modifie pas la forme d'un objet parallèle au plan du détecteur mais une projection oblique non perpendiculaire au plan du capteur, modifie dans tous les cas la forme de l'objet (distorsion de forme).
- 2 objets superposés dans le sens de propagation des RX forment une ombre composite où les objets ne sont discernables que par différence d'opacité. Par projection oblique les 2 objets peuvent être séparés; le + éloigné s'écarte en direction opposée à celle du foyer de RX[15].

2.5. Les paramètres qui interviennent dans l'exécution d'une radiographie :

Lors de l'exécution d'une radiographie, plusieurs paramètres techniques jouent un rôle crucial dans la qualité de l'image obtenue. Ces paramètres influencent directement la précision du diagnostic et la sécurité du patient. Parmi les facteurs clés, on retrouve

- **Le kilo voltage KV ou la tension de tube :** considéré comme facteur de qualité du faisceau, influence indirectement la densité radiographique, Il détermine l'énergie du rayonnement X produit (on pourrait dire la qualité des photons X)[16].
- **L'intensité électrique (ou « milli ampérage ») en mA :** la quantité de photons X produits pour un voltage donné et un patient donné, cette quantité conditionne l'exposition correcte du détecteur, la surexposition (image trop noire : trop de photons) ou la sous-exposition (image trop blanche : pas assez de photons)[16].
- **Le temps d'exposition en seconde :** la durée pendant laquelle le faisceau de rayons X est émis. Un temps d'exposition plus long permet une meilleure capture des rayons X, mais augmente aussi la dose d'irradiation et peut entraîner un flou dû au mouvement du patient[16].

Les deux derniers paramètres sont le plus souvent réunis par leur produit exprimé en mA/s qui détermine la quantité de photons X produits par seconde[16].

La gestion optimale assure usuellement le plus petit temps de pose en choisissant l'intensité maximale du courant (en mA) que le tube peut supporter sans dommage[16].

- **La distance source-image** : c'est la distance entre la source des rayons X (le tube) et le détecteur d'image (film, capteur numérique, etc.). Elle joue un rôle clé dans la qualité de l'image radiographique et la dose de rayonnement reçue par le patient[16].

Une SID plus grande réduit la divergence des rayons X, ce qui diminue les distorsions et améliore la netteté et la résolution de l'image, Une petite SID peut entraîner une augmentation de la taille apparente des structures (effet d'agrandissement) et des flous.

- **LA filtration** : en radiologie le spectre de rayons X est essentiellement un spectre de freinage très large alors ils ont mis en place un système de filtrage physique qui consiste à placer des structures absorbantes préférentiellement des rayons de basse énergie à la sortie du faisceau X, et cela a pour effet une limitation d'irradiation du patient par l'élimination des photons non nécessaires[16].
- **La collimation** : La collimation consiste à limiter la zone d'irradiation aux parties nécessaires de l'anatomie, ce qui réduit la dose de rayonnement et améliore la qualité de l'image en limitant les artefacts et cela par le biais du collimateur qui est directement fixé sous le tube à rayons X [16].
- **Le positionnement du patient** : Lors d'une radiographie, il est important que la partie du corps concernée du patient soit positionnée de telle sorte à être le plus stable possible pour garantir une image correcte en un seul cliché. Si le patient devait être instable lors d'une radiographie cela signifierait qu'il serait sujet à une exposition inutile aux rayons[16].
- **La qualité du détecteur** : Les différences du nombre et de la qualité des photons X qui arrivent au système de détecteurs sont responsables du contraste de l'image[16].

2.6. Bruits et artefacts :

-les artefacts :

Il s'agit d'un élément dans une image qui ne représente pas la réalité. Les artéfacts sont responsables de fausses images en modifiant le contraste, la netteté ou en ajoutant des images dites « fantômes ». Il est important que le praticien interprétant l'examen radiologique, les connaisse afin d'éviter toute erreur diagnostic[17].

Certains artefacts sont prévisibles et inévitables, d'autres, comme ceux provoqués par des mouvements peuvent être liés à la coopération du patient[17].

Les artefacts peuvent rendre l'examen inapproprié ou non interprétable et conduire le médecin à proposer une autre technique d'examen.

En radiologie conventionnelle, beaucoup de facteurs concourent à la qualité des images, pour une exposition adaptée avec un bon contraste. On peut citer la corpulence du malade, les paramètres techniques d'exposition, la qualité des films et de leur traitement. La radiologie numérisée apporte de nouvelles possibilités de contrôle du contraste[17].



Figure 11 : Artefacts causés par une boucle d'oreille [Bourzgui, et al., 2000]

-Artefacts en imagerie dentaire

Les principaux artefacts en imagerie dentaire sont :

Artefacts métalliques : apparaissent généralement lorsque le faisceau de rayons X rencontre des transitions trop abruptes (brusque) de densités dans le volume exploré. En effet le faisceau de rayons X est poly énergétique avant de pénétrer dans le volume à explorer. Lorsque ce dernier contient des objets de forte densité (couronne métallique/ implant etc..) les rayons de basse énergie vont être complètement atténués engendrant ainsi un durcissement du faisceau. Ils peuvent se caractériser par la présence de plages de perturbations hypodenses, plus ou moins intenses (zones d'ombre, bandes sombres) de stries radiaires noires ou blanches qui sont centrées sur la structure métallique tels que les fausses images lacunaires pouvant mimer une lésion carieuse ou une résorption coronaire/radiculaire souvent à proximité d'un amalgame. Il est nécessaire de retirer tous les objets métalliques amovibles se situant dans le volume exploré (prothèse amovible, piercing, bijoux, lunettes...)[18].

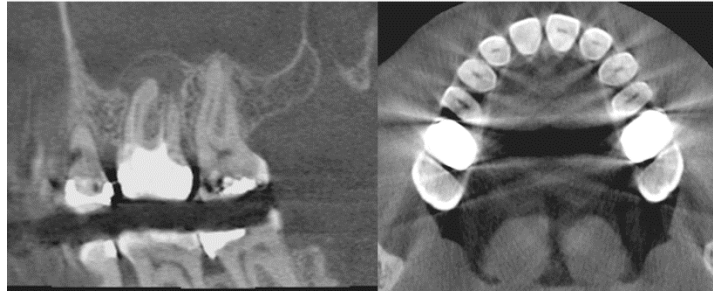


Figure 12 : Artefacts métalliques (Dr Rufino Felizardo)

Artefacts de durcissement du faisceau (BeamHardening) [19]: Causée par absorption différentielle des rayons X de basse énergie, laissant des photons de plus haute énergie.

Effet : Zones sombres ou brillantes autour des objets denses (ex. : os, métal).

Artefacts de mouvement /cinétiques : Causés par mouvement du patient pendant l'acquisition (mâchoire, langue, etc.). Ils se traduisent par un dédoublement de l'image lors de l'interprétation., rendant difficile l'identification des structures fines[20].

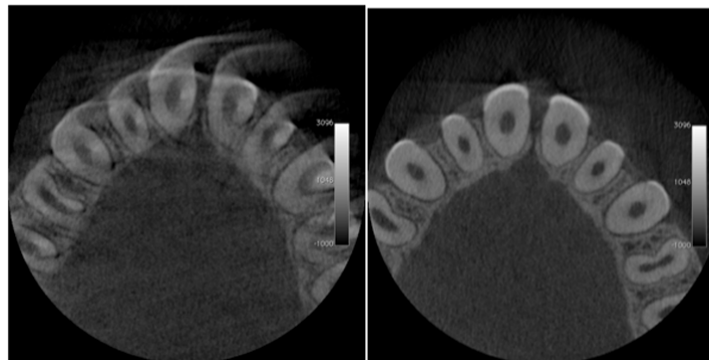


Figure 13 : Artefacts cinétiques (Dr Rufino Felizardo)

Artefacts de volume partiel : Engendrés par mélange de plusieurs densités à l'intérieur d'un même voxel qui a comme effet une mauvaise représentation des structures fines, telle que les espaces entre les dents [conditions de clarté du champ de vision en 2D lorsque dans un voxel se trouve une dent et un espace, pouvant donner lieu à une pression excessive sur le diagramme des histogrammes qui entraîne une fausse représentation des deux informations.

Artefacts de reconstruction : engendrés par des erreurs dans des algorithmes de reconstruction 3D (principalement en tomodensitométrie dentaire et/ou CBCT).

Effet : Distorsions géométriques ou fausses représentations (réduction de la possibilité d'interprétation correcte des informations d'une image)[21].

Artefacts de halo : Réfractions ou diffractions autour des objets très denses. Conduisant à la formation ombres autour des structures[22].

-Les bruits :

Définition : est un phénomène aléatoire qui se surajoute à l'image idéale et qui pourra induire une détérioration de la résolution spatiale ou même rendre les images complètement illisibles. Il s'agit de variations de l'intensité du signal, qui se traduit visuellement par un grain sur l'image. Il peut être dû à de nombreux facteurs, comme le niveau d'irradiation, la sensibilité du capteur ou les processus de traitement numérique[17,21].

A chaque étape de l'acquisition d'une scène, des perturbations (rayures, poussières, caméra, amplification, quantification) vont détériorer la qualité de l'image. Le bruit peut être groupé en deux classes :

1. Bruit indépendant (on parle de bruit aléatoire).
2. Bruit qui dépend des données de l'image.

-Causes du bruit[23,24] :

- Limites des capteurs : bruit électronique des détecteurs, nombre limité de photons détectés.
- Conditions d'acquisition : La mobilité du patient, les paramètres d'acquisition (temps d'acquisition et la dose d'exposition).

-Conséquences[23,24] :

- Diminution du contraste : Il devient plus difficile de différencier entre les différentes structures anatomiques.
- Perte de résolution rendant les détails fins invisibles
- L'interprétation devient difficile pouvant masquer des lésions ou engendrer de faux positifs.

-Prévention et correction et réglage technique optimisé[24] :

- Ajustement de la dose de rayons X, des paramètres d'acquisition (kV, mA) pour réduire le bruit quantique.
- Logiciels de correction : Utilisation de filtres antibruit ou d'algorithmes pour atténuer les artefacts métalliques et le durcissement du faisceau.

- Dispositifs d’immobilisation : Réduction des artefacts de mouvement par une meilleure stabilisation du patient.
- Protocoles adaptés : Choix de protocoles spécifiques en fonction des objectifs diagnostiques pour minimiser les artefacts.

Chapitre II
Les Radiographies intra buccales

1. La rétro-alvéolaire :**1.1. Définition :**

C'est la méthode de base de la radiographie intra buccale, elle fait apparaître 2 à 4 dents avec un fort grossissement et apporte une vision précise de la dent et de son environnement adjacent en obtenant des images d'une grande finesse. La dose d'irradiation : 0.1mGy (Gray).Le patient peut rester dans le fauteuil d'examen[10].

1.2.Intérêt du rétro alvéolaire :

Elle permet de voir : La forme et le nombre des racines, la région péri-apicale, l'état parodontal et le rapport des dents avec certaines zones anatomiques ainsi que le contrôle du traitement endodontique.

Elle Permet de préciser les foyers apicaux, latéro-radiculaires, les atteintes du Septum inter dentaire et les raréfactions osseuses inter radiculaires, les résorptions radiculaire[10].

-En orthopédie dento-faciale :

Elle permet d'apprécier l'espace inter dentaire radiculaire pour l'insertion de mini-vis[25].

Elle permet d'évaluer potentiel de déplacement d'une dent et cela grâce à l'image bien précise qu'elle offre de la dent, de l'état de sa racine (longueur, forme, et des éventuelles résorptions radiculaires avant la mise en place d'appareils orthodontiques) et de son parodonte et l'os alvéolaire qu'il l'entoure. Elle Permet aussi d'évaluer l'effet du traitement orthodontique sur une dent ou un Groupe de Dent et les tissus environnants ces clichés sont également utiles pour apprécier les rapports entre les germes des dents permanentes et les racines en particulier des molaires temporaires, mesurer le rapport couronne/ racine, a visualisation du ligament parodontal et la présence d'éventuelle ankylose.

Apprécier la position des dents incluse dans le plan verticale et mésio-distale.

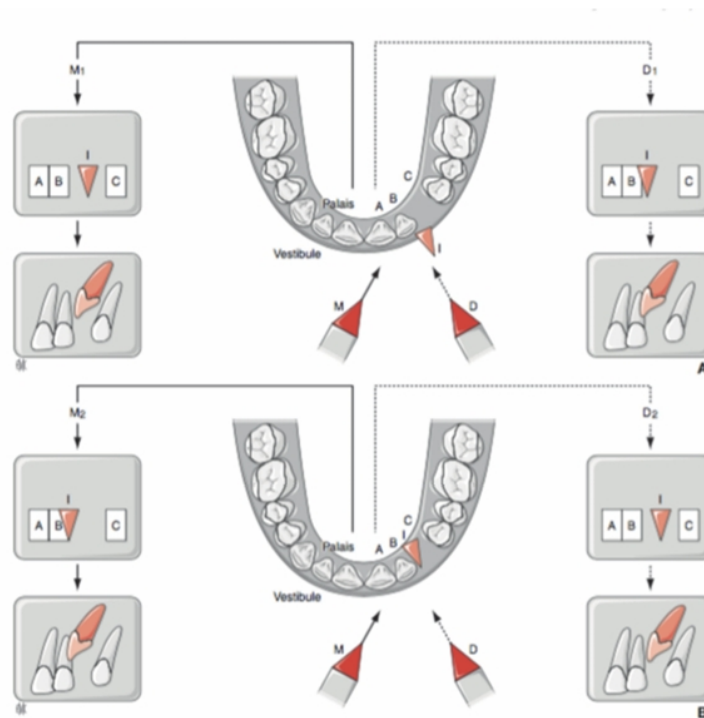


Figure 14: Schéma illustrant la méthode de Pordes, Ewan et Clark

Pordes, Ewan et Clark ont mis au point une technique basée sur l'angulation du Faisceau de Rayons X permettant d'obtenir des informations quant à la position de la dent incluse dans le sens vestibulo-palatin. Ainsi, deux clichés rétro-alvéolaires successifs sont réalisés, l'un avec une incidence mésiale et l'autre avec une incidence distale. Si, sur le deuxième cliché, la dent semble se déplacer dans le même sens que le générateur alors elle est palatine. Au contraire, si la dent semble se déplacer dans le sens opposé alors la canine est en position vestibulaire. Cette méthode est néanmoins insuffisante pour localiser avec précision la canine incluse et déterminer ses rapports avec les structures adjacentes. Mais cette technique est de moins en moins utilisée avec la présence du mordus occlusal et l'arrivée des radiographies 3D[26].

1.3. Incidences rétro alvéolaires :

Deux types de cône radio peuvent être utilisés :

-Un **cône court** : la source est alors relativement proche de l'objet et l'agrandissement est important[10].

-Un **cône long** : l'utilisation d'un long tube, 30 à 40 cm, permet de visualiser avec précision une ou plusieurs dents avec leurs racines, ligament alvéolo dentaire et os

environnant. L'image est très peu agrandie et permet des mesures assez précises permettant ainsi d'évaluer la qualité de l'os avant pose d'implants ou de mini vis [27,28].

-Les différentes techniques :

Technique de la bissectrice (Méthode de DIECK) : Le rayonnement centré sur la région apicale est perpendiculaire à la bissectrice formée par le grand axe de la dent et le plan de film selon la règle d'isométrie de Ciezinski. Il en résulte une image de mêmes dimensions que l'objet, mais présentant une distorsion d'autant plus importante que l'on s'éloigne de l'apex [7,8].

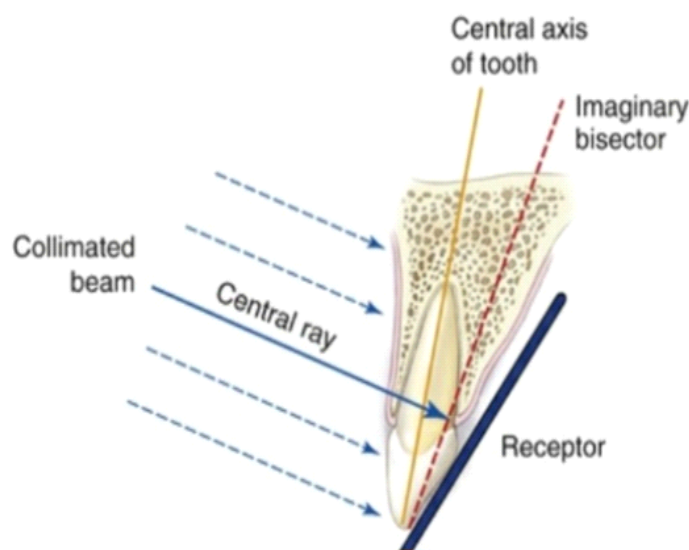


Figure 15 : La technique de bissectrice montre que le rayon central est dirigé à angle droit par rapport au plan qui bissecte l'angle entre l'axe long de la dent et le récepteur. (Sanjay M. Mallya).

Téléradiographie intra oral (technique du long cône/parallélisme) : le film est maintenu en bouche par un porte-film, en arrière et parallèlement au grand axe de la dent, le rayon directeur est perpendiculaire à eux, ayant pour avantages une absence de déformation et d'agrandissement rendant l'image directement et facilement mesurable [7, 8,29]

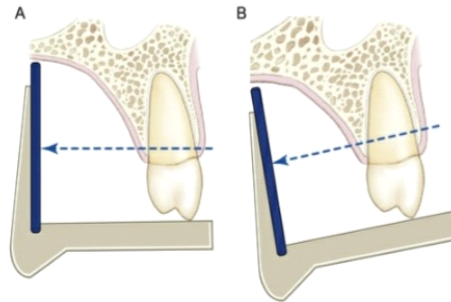


Figure 16 :Technique de parallélisme (sanjay m. mallya).

Contraintes anatomiques dans l'utilisation de la technique de parallélisme. (A) Position optimale du récepteur parallèle à l'axe long de la dent. (B) Un palais peu profond limite le placement du récepteur parallèle à la dent. Notez que le faisceau de rayons X est perpendiculaire au récepteur mais pas à la dent, ce qui entraîne une distorsion.

-Incidence excentrique A visée oblique :

Utilisées pour la visualisation de complications au niveau des canaux radiculaires, de racines superposées ou encore la localisation de dents incluses[7,8].

1.4. La réalisation proprement dite :

Le patient est installé confortablement sur le fauteuil, plan d'occlusion parallèle au sol. Le film est placé derrière la dent concernée[7].

Au maxillaire Le cône est positionné au niveau des apex sur la ligne tragus- aile du nez selon une angulation (avec le PO) de : 40° à 45° (Incisives) 45° à 50° (Canines) 30° à 40° (Prémolaires) 20° à 30° (Molaires)[7].

A la mandibule Le cône est positionné au niveau des apex gonion-menton selon une angulation (avec le PO) de : -15° à -20° (Incisives) -20° à -25° (Canines) -10° à -15° (Prémolaires) -5° à 0° (Molaires)M[7].

-Manœuvres à éviter :

La déformation : Film ou objet non perpendiculaire au faisceau.

L'angle d'exposition entre l'appareil de radiographie et le film est très important parce qu'il permet d'avoir une image plus fidèle Ainsi, le film et l'angle du cône de radiologie doivent être perpendiculaire afin de ne pas induire de déformation dans l'image[8].

L'agrandissement : Minimiser la distance film/objet[8].

Les erreurs d'angulation : Responsables de chevauchements à l'origine de perte d'informations précises[8].

1.5. Les limites de la retro alvéolaire :

- Image limité à la dent et la région adjacente [23].
- Les régions profondes ne sont pas bien visualisées[23].
- Le capteur est rigide et présente une épaisseur non négligeable pouvant rendre difficile leurs installation en bouche[23].
- Mauvais positionnement du capteur nécessite de refaire les clichés[23].

2. La radiographie rétro-coronaires ou bite-Wing :

2.1. Définition :

BW (bite-wing car on mord sur le support) Le film ou le capteur est disposé juste derrière les couronnes dentaires. Il permet de visualiser les caries interdentaires et d'apprécier l'état osseux proche des couronnes. Il s'agit d'une variante de la radiographie rétro-alvéolaire. La position de la plaque (film ou capteur) est différente. On ne vise pas les racines, et les dents du haut et du bas peuvent être examinées ensemble. On mord généralement sur une petite ailette, une seule de ces radiographies permet de voir jusqu'à 8 dents. Elle est essentiellement utilisée pour mettre en évidence les syndromes du septum[7].

2.2. Intérêt :

- Déterminer la présence ou non des caries inter proximales débutante.
- Déterminer les limites de la chambre pulpaire et la hauteur des cornes pulpaires.
- Dans les cas de DDM légère on a recours au stripping inter dentaire et cette incidence nous guide par la mesure de l'épaisseur des couches amélaire interproximale.
- Donner une meilleure définition de la jonction amélo-dentinaire (zone importante chez l'enfant).
- Détecter les récives de caries sous amalgame[7].
- Déterminer le rapport carie/pulpe[7].

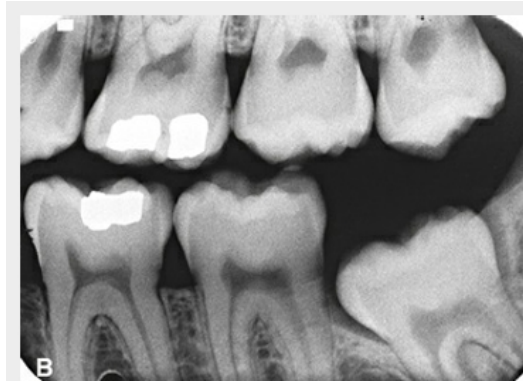


Figure 17 :illustration d'une radiographie retro coronaire[7]

3. Le mordu occlusal :

3.1. Définition :

C'est une incidence complémentaire de 2eme intention permettant de préciser la situation antéro-postérieure et transversale d'un élément par rapport aux autres. Il utilise un film de 57x 76 qui va être placé sur l'arcade parallèlement au plan d'occlusion centré sur le secteur à explorer maintenu par légère morsure du patient en plan horizontal du volume maxillo-dentaire [7].

3.2. Indications :

- Dépistage précoce des caries proximales[7].
- Evaluer les rapports pulpe-carie et la profondeur de l'obturation avec la pulpe[7].
- Diagnostic et suivi des lésions parodontales[7].
- Appréciation du volume de la chambre pulpaire et ses limites[7].
- Diagnostic des obturations débordante[7].
- Fractures coronaires. Visualiser les dimensions, l'étendu et les positions des grosses lésions (tumeurs, kystes ...)[7].
- Visualiser un trait de fracture de l'arcade mandibulaire[7].
- La mise en évidence des fractures radiculaire incisives[7].
- Dans les cas de traumatismes en denture temporaire, le cliché occlusal permet de visualiser la position relative des racines des dents. Les clichés occlusaux Facile à réaliser même chez le jeune enfant, ce cliché nous renseigne sur les anomalies de forme ou de position des dents du secteur antérieur[7].
- Permet une première approche de la localisation de dents surnuméraires ainsi que leurs rapports avec les dents adjacentes tels que les odontome de la région incisive supérieure[7].

- Préciser la position des dents incluses et ectopiques, notamment les canines définitives[7].
- Pour localiser les corps étrangers dans les mâchoires et le plancher buccal[7].
- Ces clichés donnent des informations dans les dimensions vestibulo-linguales et transversales.
- Le mordue occlusal permet Évaluer et surveiller les changements dans la suture Médio palatine pendant l'expansion palatine orthodontique Permet aussi de voir la Position des Dents ectopiques et surnuméraires dans les sens horizontal et sagittal[7,8].
- Il permet également d'évaluer les espaces disponibles pour un éventuel alignement des dents.

3.3. Les incidences :

3.3.1. Les incidences dysocclusales maxillaires :

a-Incidence dysocclusale médiane :elle permet la localisation dans le plan horizontal d'éléments inclus ou de lésions développées dans les maxillaires. Le patient est assis avec la tête soutenue, le plan occlusal étant horizontal et le récepteur d'image est placé à plat dans la bouche sur les surfaces occlusales des dents mandibulaires ; il est demandé au patient de le serrer en douceur ; Le générateur de rayon X est placé au-dessus du patient sur la ligne médiane visant vers le bas à travers l'arrête nasale à un angle de 60-70 par rapport au récepteur de l'image[7].

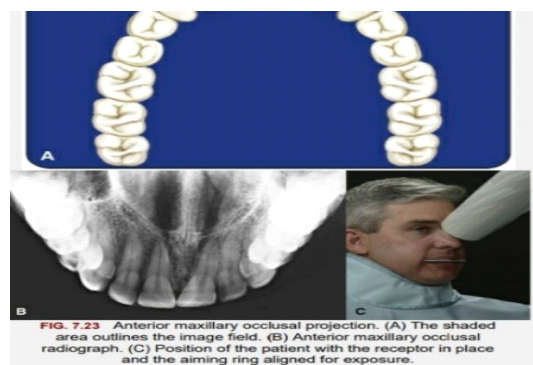


Figure 18 : Incidence dysocclusale médiane[7]

b-Incidence dysocclusale latérale: droite ou gauche, montre la partie antérieure des maxillaires et les dents postérieures maxillaires d'un côté le générateur de rayon X est placé sur le côté du visage visant vers le bas à travers la joue à un angle de 60-70 par rapport au plan du récepteur, centré sur la région à explorer[7].

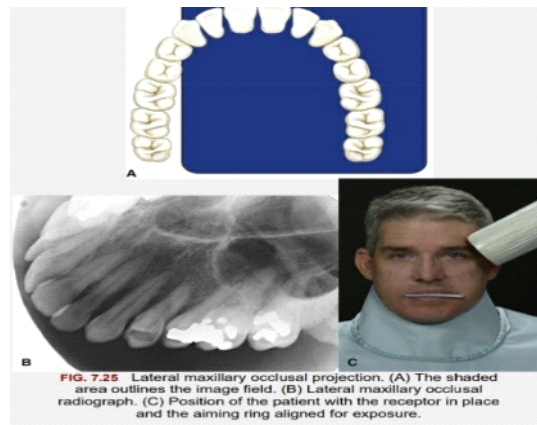


Figure 19 : Incidence dysocclusalelatérale[7]

3.3.2. Incidences dysocclusales mandibulaire :

a-Incidence ortho-occlusale : Cette incidence montre une vue à plat du plancher buccale et de la portion de l'os mandibulaire portant les dents. Elle permet d'évaluer la position vestibulo-linguale des inclusions mandibulaires. Le récepteur de l'image est placé au centre de la bouche sur les surfaces occlusales des dents mandibulaires avec son grand axe en position transversal. Il est demandé au patient de serrer légèrement dessus, Le patient ensuite se penche en avant puis incliner la tête en arrière autant qu'il peut Le tube radiogène est placé sous le menton sur la ligne médiane à un angle de 90° par rapport au récepteur[7].

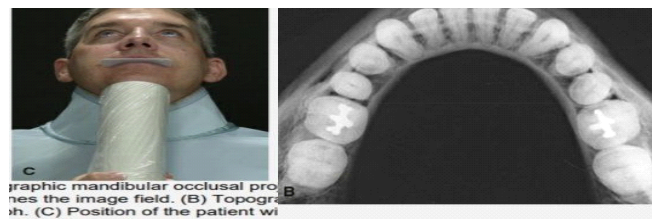


Figure 20 : Incidence ortho occlusale mandibulaire [7]

(B)Radiographie occlusale topographique mandibulaire. (C) Position du patient avec le récepteur en place et l'anneau d'alignement positionné pour l'exposition (Sanjay M. Mallya).

b- Incidence dysocclusale médiane : elle est utilisée pour montrer les dents mandibulaires et les parties antérieures de la mandibule le récepteur d'image est placé au milieu dans la bouche sur les surfaces occlusales des dents mandibulaire, il est demandé au patient de refermer la bouche et serrer légèrement, le tube radiogène est placé sur la ligne médiane centré sur le point menton à un angle de $45 - 55$ par rapport à l'écran récepteur[7].

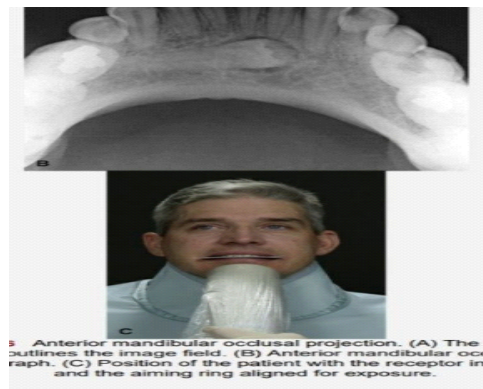


Figure 21 : Incidence dusocclusalemediane[7]

(B) Radiographie occlusale antérieure mandibulaire. (C) Position du patient avec le capteur en place et l'anneau de visée aligné pour l'exposition (Sanjay M. Mallya).

c-Incidence dysocclusale latérale : droite ou gauche, elle permet d'évaluer la position vestibulo-lingual de la 3ème molaire mandibulaires incluses, la tête de patient est soutenue puis tournée en l'éloignant du côté à explorer le menton est surélevé, le cône radiogène vise vers le haut et vers l'avant en direction récepteur de l'image et aborde la région en dessous et en arrière

de l'angle mandibulaire[7]

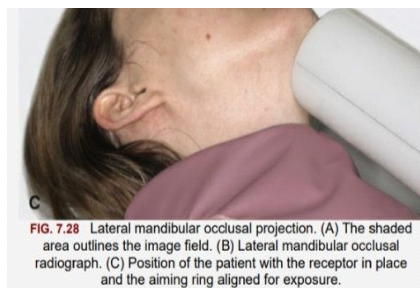


Figure 22 : Incidence dysocclusalelatérale[7].

4. La radiovisiographie - RVG :

La RVG présente un cône radiogène classique relié à une unité de production, A la place du film, on utilise un capteur. L'image est transmise à un ordinateur ou un écran télévisé pour donner une photo numérisée[8].

-Avantages :[8]

- 50 fois moins de dose de rayonnement par rapport à une radiographie normale.
- Pas de développement de films
- Possibilité de transfert et d'enregistrement des images

5. Les angulateurs :

Le porte-récepteur est aussi connu sous le nom de porte-film, porte-capteur, porte-écran ou plus généralement angulateur (Rouas et Hauret, 2014). C'est un dispositif médical de positionnement qui guide le tube à rayons X et maintient le capteur ou film intra-oral dans la bouche du patient de manière précise. Il permet de respecter les bonnes angulations verticales et horizontales pour la prise du cliché rétro-alvéolaire qui doit être stérilisable ou alors à usage unique pour des raisons d'hygiène (ADA et FDA, 2012 ; ADA, 2006 ; CDC, 2003).

5.1. Constitution d'un angulateur :



Figure 23: Illustration d'un angulateur

-Anneau de visée : Sert de repère externe pour aligner le tube de la radio avec précision. Il assure le bon axe horizontal et vertical[8].

-Tige métallique Rigidifie le dispositif. Elle relie l'anneau au porte-film. La longueur et l'orientation varient [8].

-Porte-film ou portecapteur: c'est l'élément qui va tenir le capteur ou le film en position intra-orale. Il est conçu pour respecter le parallélisme[8].

5.2. Types d'angulateurs :

Il existe des angulateurs spécifiques selon la région à radiographier[8]

Antérieur maxillaire/mandibulaire : porte-film droit, film placé verticalement.

Postérieur maxillaire/mandibulaire : tige coudée, film placé horizontalement.

-Avantages :[8]

- Meilleure qualité d'image.
- Réduction des reprises donc moins d'exposition aux rayons X.

- Positionnement standardisé et reproductible.
- Moins de distorsions géométriques (agrandissement, raccourcissement).

6. Limite de la radiographie intra buccale :

-Infection

Une infection des structures oro-faciales peut entraîner un œdème et provoquer un trismus de certains muscles de la mastication. En conséquence, la radiographie intraorale peut être douloureuse pour le patient et difficile à réaliser pour le patient et le radiologiste. Dans de telles circonstances, les techniques panoramiques ou occlusales peuvent représenter la seule possibilité d'examen. En cas d'œdème dans une zone à examiner, le temps d'exposition doit être augmenté pour compenser l'atténuation accrue des rayons X due au gonflement des tissus[7].

-Traumatisme

Un patient ayant subi un traumatisme peut présenter une fracture dentaire ou faciale. Les fractures dentaires sont bien visualisées sur des radiographies péri-apicales ou occlusales. Une attention particulière doit être portée à la réalisation de ces vues en raison de l'état du patient. Les fractures squelettiques sont généralement mieux visualisées avec des vues panoramiques, d'autres vues extra-orales ou un examen tomодensitométrique. Dans certains cas, les patients présentant des fractures du squelette facial peuvent être non ambulatoires en raison d'autres blessures. Par conséquent, un examen radiographique extra-oral avec le patient en position allongée peut être nécessaire. Cependant, les circonstances ne doivent pas compromettre les techniques, et des images intra-orales satisfaisantes peuvent être produites si les positions relatives appropriées du tube, du patient et du récepteur sont respectées[7].

-Patients ayant des déficiences mentales

Les patients ayant des déficiences mentales peuvent poser certaines difficultés, généralement dues à un manque de coordination ou à une incapacité à comprendre ce qui est attendu d'eux. Lorsque l'examen radiographique est réalisé rapidement, les mouvements imprévisibles du patient peuvent être minimisés. Dans certains cas, une sédation peut être nécessaire[7].

-Patients ayant des handicaps physiques

Les patients ayant des handicaps physiques (par exemple, perte de la vision, de l'audition, de l'usage de certaines ou de toutes les extrémités, ou des malformations congénitales comme une fente palatine) peuvent nécessiter une prise en charge particulière lors d'un examen radiographique. Les membres de la famille du patient peuvent souvent être utiles pour aider le patient à s'installer dans le fauteuil d'examen, à positionner le récepteur et à le maintenir, car ils connaissent généralement bien l'état du patient et savent comment y faire face[7].

-Réflexe nauséux

Parfois, les patients nécessitant un examen radiographique manifestent un réflexe nauséux au moindre stimulus. Pour surmonter cette difficulté, le radiologiste doit essayer de détendre et de rassurer le patient. Il peut décrire et expliquer les procédures. Le réflexe nauséux est souvent plus intense lorsque le patient est fatigué ; il est donc conseillé de réaliser l'examen le matin, lorsque le patient est bien reposé, en particulier dans le cas d'un enfant[7].

La radiographie intra-buccale ne permet de visualiser qu'une zone restreinte de la cavité buccale. Elle est donc inadaptée pour examiner des structures plus larges comme l'ensemble de la mâchoire ou les articulations temporo-mandibulaires. En plus de ça Les structures anatomiques proches peuvent se superposer sur l'image, rendant difficile l'interprétation des détails. Également, elle offre uniquement une image bidimensionnelle limitant la perception de la profondeur[7].

Chapitre III

Panoramique dentaire

1. Définition :

En complément de l'examen clinique, la radiographie panoramique est l'examen d'imagerie de première intention qui permet l'exploration des deux maxillaires. Le cliché le plus fréquemment prescrit par l'orthodontiste, il demeure un élément médico-légal clé du dossier orthodontique. Le panoramique dentaire (ou radiographie panoramique dentaire) ou Un orthopantomogramme, abrégé par les signes OPT ou Optes une radiographie extra buccale qui utilise le faisceaux a rayon a une dose d'irradiation égale à 10 uSv (sievert) permettant de visualiser l'ensemble de la denture , réalisée grâce à un appareil qui produit une image radiographique de la cavité buccale en un seul cliché de deux dimensions.

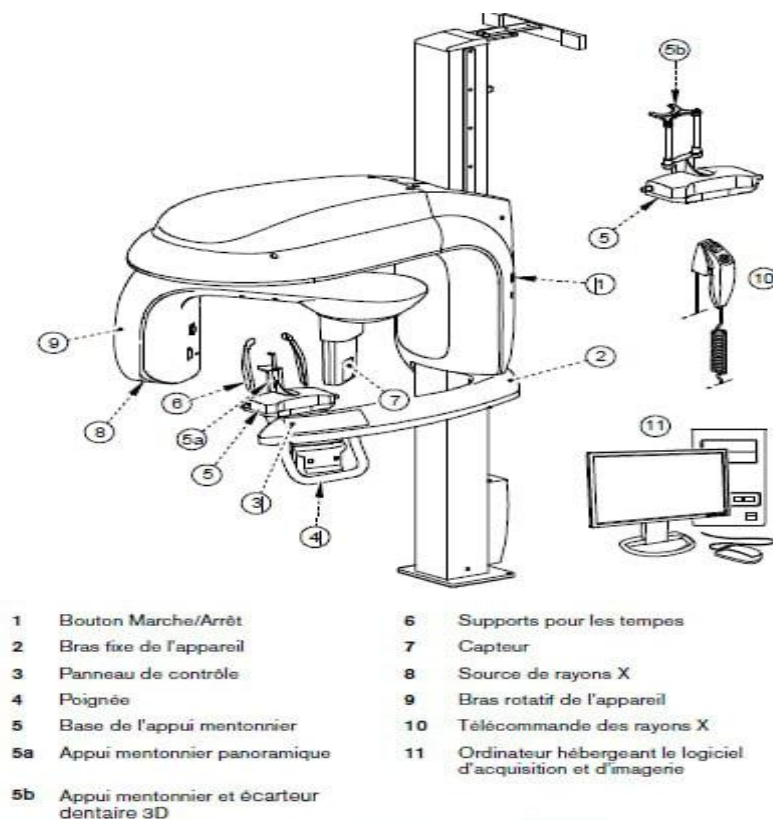


Figure 24 : Schéma descriptif d'un appareil de radiographie panoramique[30]

2.Principe du panoramique dentaire

Elle repose sur la rotation simultanée d'une source de rayons X et d'un récepteur autour de la tête du patient, créant une image large et courbée[31].

Il existe un grand nombre d'appareils panoramique disponibles sur le marché, bien qu'ils soient différents aux niveaux de leur design et de leur apparence, ils sont tous composé

de quatre éléments principaux (un générateur de rayons x, un récepteur d'image, un tableau de commande, un système de positionnement du patient) avec un logiciel de traitement d'image. La structure de la machine de panoramique dentaire est conçue pour permettre une rotation précise autour de la tête du patient et assurer une imagerie de qualité. Elle se compose principalement des éléments suivants [31] :

- Colonne verticale : support principal de l'appareil, elle permet d'ajuster la hauteur selon la taille du patient (debout ou assis).
- Bras rotatif : partie mobile qui effectue un mouvement circulaire autour de la tête. Il relie le tube à rayons X et le capteur.
- Tube à rayons X : situé d'un côté du bras rotatif, il émet un faisceau étroit de rayons X dirigé vers le capteur
- Capteur ou récepteur d'image : placé en face du tube, il capte les rayons X traversant la tête du patient pour créer l'image.
- Collimation : Afin de limiter l'exposition du patient, le faisceau de rayons X est collimaté. Le collimateur contrôle la taille et la forme du faisceau de rayons X.

Dans la radiographie intra-orale le faisceau de rayons X est soit rond, soit rectangulaire et est suffisamment grand pour couvrir l'ensemble du film intra-orale. Le collimateur pour la radiographie panoramique produit un faisceau de rayons X étroit et rectangulaire qui expose une petite portion du film tandis que le tube et le film tournent autour du patient [7,29].

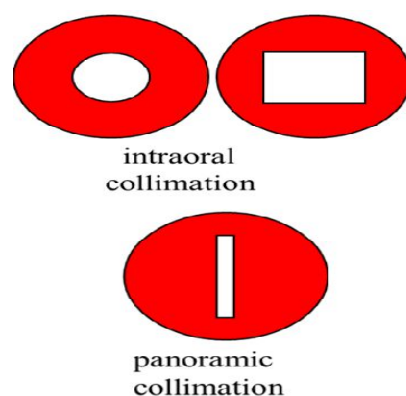


Figure 25 : Différence entre collimateur intraoral et panoramique [31]

- Appui-tête et mentonnière : dispositifs de positionnement qui maintiennent la tête immobile pour éviter les flous.

- Console de commande : permet au professionnel de régler les paramètres de l'examen (exposition, durée, type de patient).

L'ensemble de la structure est conçu pour une grande stabilité, une précision de mouvement et un confort optimal pour le patient.

-Principe de Tomographie :

La tomographie est une technique radiographique qui permet d'imager une partie ou une section du corps tout en floutant les images des structures dans d'autres plans. Le principe repose sur l'acquisition de multiples images à partir de différents angles, qui sont ensuite reconstruites par un ordinateur pour créer une image en 2D très précise de l'intérieur du corps[7].

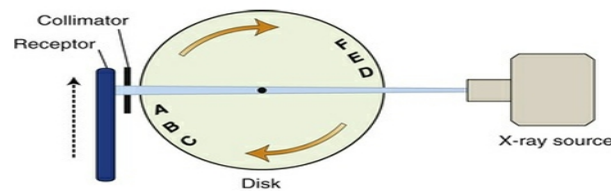


Figure 26 : Description de principe du panoramique

Dans cette vue conceptuelle, la source de rayons X et le collimateur sont maintenus immobiles. Le récepteur se déplace à travers le faisceau, et le disque en rotation transporte également des objets A-F à travers le faisceau. Les objets A-C se déplacent dans le faisceau à la même vitesse et dans la même direction que le récepteur d'image et sont bien imagés. Les objets D-F se déplacent dans le faisceau à la même vitesse que le récepteur, mais dans la direction opposée, et leurs images sont donc floues. Les principes de formation de l'image panoramique sont les mêmes pour les systèmes filmiques et numériques (Sanjay M. Mallya).

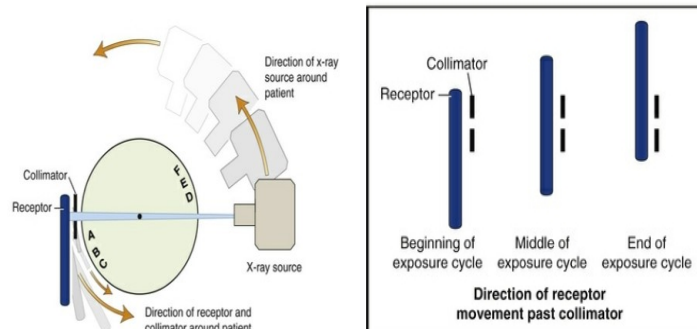


Figure 27 : Description de mouvement du récepteur et du tube radiogène

Le disque est maintenu immobile pendant que la source de rayons X, le récepteur et le collimateur tournent autour du centre du disque. Néanmoins, le faisceau de rayons X traverse toujours les objets jusqu'au récepteur d'image dans la même direction que sur la précédente, et les mêmes résultats d'imagerie sont obtenus. L'encart met l'accent sur la façon dont le récepteur se déplace au-delà du collimateur pendant son mouvement autour du disque (Sanjay M. Mallya).

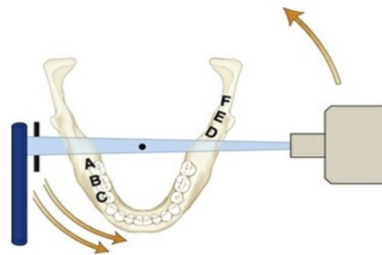


Figure 28 : Production d'une image panoramique

La géométrie de l'imagerie est la même que celle des figures précédentes, mais le disque et les objets sont remplacés par un patient. La vitesse à laquelle le récepteur se déplace à travers le faisceau est la même que la vitesse à laquelle le faisceau traverse les objets A, C ; ainsi, seule la denture dans la mandibule près du récepteur (objets A-C) est bien imagée. Les structures situées de l'autre côté de la mandibule (objets D-F) sont floues au point d'être méconnaissables (Sanjay M. Mallya).

-Centre de rotation :

- La tête du tube tourne en arc de cercle autour de l'arrière de la tête du patient[31].
- Le film tourne devant le patient, le centre de cette rotation varie à mesure que la tête de tube tourne, produisant un centre de rotation glissant[31].

- L'angle vertical ne peut pas être modifié. Le faisceau de rayons X est dirigé légèrement vers le haut [31].

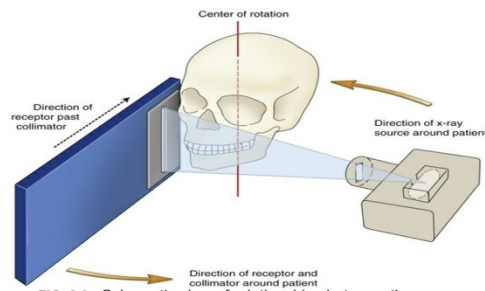


Figure 29 : Vue schématique des relations entre la source de rayons X, le patient, le collimateur secondaire et le récepteur d'image (Sanjay M. Mallya).

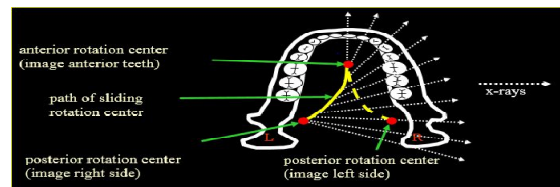


Figure 30 : Centre de rotation glissant du tube à rayons X Al-Fahdawi M.

Au point de départ avec le tube à rayons X du côté gauche du patient, le centre de rotation est situé postérieurement, du même côté que le tube à rayons X, comme indiqué ci-dessus. A mesure que le tube de rayonnement se déplace derrière le patient, le centre de rotation « glisse » vers l'avant. Alors que la tête du tube continue de se déplacer vers la droite du patient, le centre de rotation « glisse » vers l'arrière[31].

-Rotation de la tête de tube :

Alors que la tête de tube tourne autour du patient, le récepteur tourne également afin qu'il soit toujours aligné avec le faisceau de rayons X. Le faisceau de rayons X passe à travers une ouverture verticale étroite dans le bouclier de la cassette, ce qui permet d'exposer seulement une petite portion du film à la fois. Le film/cassette glisse à l'intérieur de cet écran, exposant constamment différentes parties du film à mesure que l'ensemble de l'unité tourne[31].

Alors que le tube de radiographie tourne autour du patient, le faisceau de rayons X traverse différentes parties des mâchoires, produisant plusieurs images qui apparaissent comme une image continue sur le film (vue panoramique)[31].

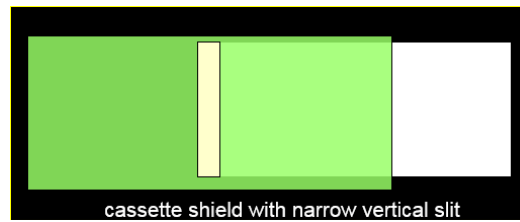


Figure 31 : Image montrant l'ensemble du récepteur et collimateur (Al-Fahdawi M)

Le mouvement synchronisé est conçu de manière à ce que seule une fine couche courbée reste en permanence dans le foyer d'image : c'est le plan focal ou calque focale[31].

-Plan focal :

La calque focale ou couche d'image est une large zone incurvée tridimensionnelle, où les structures positionnées dans cette zone sont raisonnablement bien définies sur l'image panoramique. Les structures anatomiques observées sur une image panoramique sont principalement celles positionnées dans le creux focal lors de l'imagerie. Les structures positionnées au centre de l'auge focale sont les plus claires et celles qui sont progressivement plus éloignées deviennent progressivement moins claires. Les objets à l'extérieur du creux focal sont flous, agrandis ou de taille réduite et sont parfois déformés au point de ne plus être reconnaissables[7,8,31].

La forme de l'auge focale varie en fonction de la marque de l'équipement utilisé, ainsi que du protocole d'imagerie sélectionné au sein de chaque unité. La forme et la largeur de l'auge focale sont déterminées par la trajectoire et la vitesse du récepteur et de la tête du tube à rayons X, l'alignement du faisceau de rayons X et la largeur du collimateur. L'emplacement de l'auge focale peut changer en cas d'utilisation intensive de la machine, de sorte qu'un recalibrage peut être nécessaire si des images constamment sous-optimales sont produites[7,8,31].

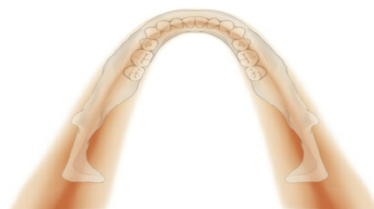


Figure 32 : FOSSE FOCALE

La source et le récepteur en mouvement génèrent une zone de netteté, connue sous le nom de fosse focale ou couche d'image. Plus une structure anatomique est positionnée près du centre

de la fosse, plus elle est clairement représentée sur le radiogramme résultant. Les machines panoramiques fournissent généralement des faisceaux laser pour permettre à l'opérateur de positionner de manière optimale la denture du patient dans la fosse focale (Sanjay M. Mallya).

-Fonctionnement :

Lorsqu'un objet est dans le plan focal, la source de rayons X et le récepteur se déplacent à des vitesses relatives qui permettent une superposition correcte de l'ombre projetée sur le récepteur[7].

En revanche,

- Si l'objet est trop proche de la source (donc en dehors du plan focal du côté lingual), il apparaîtra agrandi et flou, et son image sera inversée c'est l'image fantôme.
- Si l'objet est trop proche du récepteur (côté buccal), il apparaîtra également flou et parfois rétréci
- Dans certains appareils panoramiques, la forme et la taille de l'auge focale peuvent être ajustées pour mieux s'adapter à l'anatomie maxillo-mandibulaire des patients, ce qui permet une meilleure imagerie des enfants, des patients présentant une morphologie atypique de la mâchoire ou des sites anatomiques d'intérêt spécifiques tels que l'ATM ou les sinus maxillaires. Cette modification est obtenue en diminuant l'arc de rotation du mouvement source-récepteur de rayons X afin de réduire la taille de l'auge focale pour mieux s'adapter aux mâchoires pédiatriques. La diminution de l'arc de rotation entraîne également une réduction de l'exposition du patient aux rayonnements. Dans certaines unités panoramiques, l'angle de projection du faisceau de rayons X est modifié pour produire des images avec un chevauchement réduit des dents adjacentes et avec une superposition minimale des structures du côté opposé de la mâchoire[7].

-Types d'images obtenues :

- Images réelles : Structures entre le centre de rotation et le récepteur[7].
- Images doubles : Objets postérieurs au centre de rotation, visibles deux fois[7].

- Images fantômes : Objets entre la source et le centre de rotation, projetés du côté opposé avec un agrandissement et une position modifiée[7].

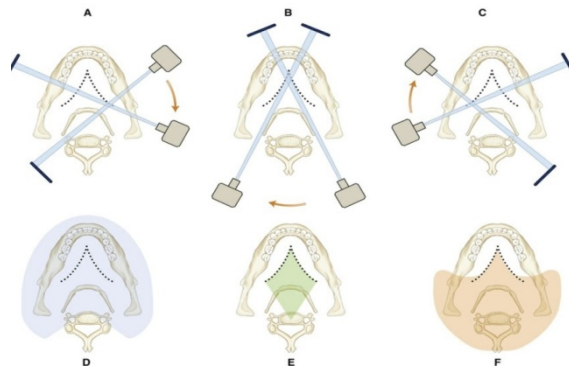


Figure 33 : Formation d'images réelles, doubles et fantômes. (A–C) L'exposition commence avec le tube à rayons X du côté droit du patient et se poursuit avec le tube à rayons X se déplaçant derrière le patient pour se terminer sur le côté gauche. La ligne pointillée représente le chemin du centre de rotation en mouvement pendant le cycle d'exposition. (D) Les structures entre le centre de rotation en mouvement et le récepteur forment des images réelles (zone bleue). (E) Les structures situées entre les centres de rotation en mouvement et le récepteur qui sont imagé twice (zone verte) projettent des images doubles. (F) Les structures situées entre la source de rayons X et le centre de rotation en mouvement (zone orange) projettent des images fantômes (Sanjay M. Mallya).

3. Positionnement du patient:

- Le patient doit être positionné dans l'appareil de telle sorte que son rachis soit droit.
- Il est nécessaire d'indiquer au patient comment positionner en bout à bout ses incisives maxillaires et mandibulaires sur la cale de morsure inter incisive avec le menton correctement en contact avec le support mentonnier [31].
- La tête doit être immobilisée en utilisant les supports temporaux.
- Pour les patients édentés, alignez les crêtes édentées antérieures avec les encoches du bâtonnet [31].
- Pour les patients présentant une occlusion sévère de classe II ou de classe III, alignez les dents de devant aussi près que possible avec les encoches. Divisez la différence entre les deux si les deux arcs ne peuvent pas être alignés dans les encoches[31].
- Il est nécessaire de montrer au patient comment fermer ses lèvres, pousser sa langue au sommet de sa cavité buccale de manière à ce qu'elle soit en contact avec son palais, et ne pas bouger tout au long du cycle d'exposition[31].
- Si le positionnement du patient est incorrect, des erreurs sont susceptibles de se produire. L'erreur de positionnement la plus courante chez le patient se produit lorsque

la langue n'est pas placée assez près du palais. Cela peut être dû au fait que le patient comprend mal les instructions et ne place que le bout de sa langue sur le palais. Un mauvais positionnement de la langue crée une radio clarté près des apex sur le maxillaire, ce qui rend difficile le diagnostic de parodontite et de résorption radiculaire[31].

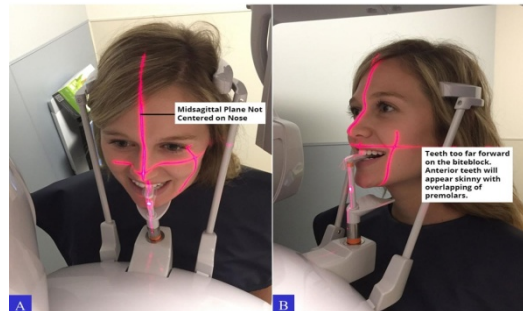


Figure 34 :Exemple de positionnement

(A) Exemple de positionnement incorrect du patient, car le plan médio-sagittal n'est pas centré le long de la ligne médiane du visage. (B) Exemple de positionnement correct du patient avec la langue appuyée contre le palais, les dents dans le sillon du bloc d'occlusion et le voyant lumineux du plan médio-sagittal centré et perpendiculaire au sol (Sanjay M. Mallya).

-Paramètres d'exposition :

Les kV et mA peuvent être réglés sur les machines panoramiques. Le temps d'exposition est fixe et ne peut pas être modifié (**environs 20sec**). Plus le patient est grand, plus les paramètres doivent être élevés. Suivez les suggestions du fabricant pour faire varier les paramètres d'exposition en fonction de la taille du patient. En utilisant ces directives et en reconnaissant les ajustements que vous devez faire en fonction de l'expérience, vous ne devriez avoir aucun problème à choisir les bons facteurs d'exposition pour vos patients[31].

-Erreurs de positionnements :

Le plan focal est calibré pour inclure la mandibule et le maxillaire dans une position standard. Si le patient est mal positionné (trop en avant ou trop en arrière), les dents apparaîtront déformées [7] :

- Trop en arrière : agrandissement horizontal.
- Trop en avant : réduction horizontale.

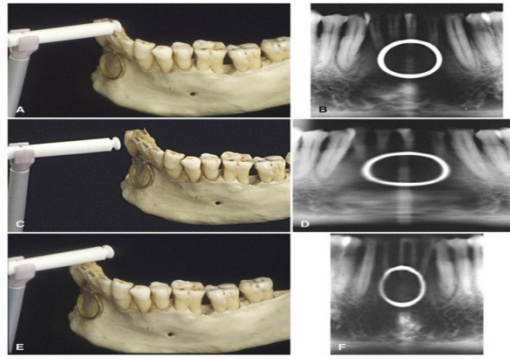


Figure 35 : Erreurs de positionnements (Sanjay M. Mallya)

A et B montrent une mandibule supportant un anneau en laiton correctement aligné au centre de l'auge focale. Un dispositif de positionnement cranté (bloc d'occlusion) désigne le centre de la face antérieure de l'auge focale (Sanjay M. Mallya)[7]

4. Les indications du panoramique en ODF :

Il joue plusieurs rôles cruciaux en orthodontie, au-delà de l'évaluation initiale, notamment pour la planification, le suivi et la gestion de diverses conditions bucco-dentaire en offrant une vue d'ensemble des structures dentaires et osseuses[32].

Il permet de visualiser l'ensemble des dents permanentes et temporaires, ainsi que leur position dans la mâchoire. Cela permet d'identifier des anomalies comme les dents incluses[32].

Permet de détecter des pathologies sous-jacentes, comme des infections, des kystes ou des tumeurs osseuses qui pourraient interférer avec le traitement orthodontique. L'identification précoce de ces anomalies permet d'ajuster le plan de traitement pour éviter des complications pendant le déplacement des dents[32].

Fournit une vue claire des dents, des racines et des os maxillaires, elle permet également d'analyser les relations entre les dents et les mâchoires, d'étudier les anomalies occlusales (mauvais alignement des dents) et de déterminer le type de traitement nécessaire, comme l'utilisation d'appareils fixes ou amovibles[32].

Il permet de suivre l'éruption des dents de sagesse et d'évaluer leur impact potentiel sur l'alignement des autres dents [32].

En cas de traumatisme bucco-dentaire, un panoramique dentaire est utilisé pour examiner les fractures dentaires ou osseuses. Cela permet à l'orthodontiste d'évaluer l'étendue des dommages et de décider du type de traitement orthodontique à adopter pour assurer une guérison adéquate, en particulier pour les fractures de la mâchoire ou des racines dentaires.

Aide à vérifier la position et la santé des racines des dents existantes et à planifier les interventions pour combler les espaces vides créés par la perte de dents. (Planification des traitements pré-prothétiques)[32].

Durant un traitement orthodontique, le panoramique dentaire peut être utilisé pour suivre l'évolution du déplacement des dents, en outre, il permet de détecter toute complication, comme des dents déplacées ou mal positionnées, pendant la progression du traitement[32].

Il permet également d'analyser les os alvéolaires et de détecter des signes de résorption radiculaire ou de lyse osseuse qui peuvent influencer la stratégie de traitement.

-permet de détecter des anomalies spécifiques, comme des dents surnuméraires, des dents manquantes ou des kystes dentaires qui pourraient perturber la dentition et affecter l'alignement des dents. La détection précoce de ces anomalies permet de mieux personnaliser le traitement orthodontique [32].

Il permet de visualiser l'anatomie des mâchoires et des dents pour une éventuelle chirurgie ortho gnathique. Cela aide les chirurgiens et les orthodontistes à planifier l'intervention en toute sécurité et à comprendre l'impact de la chirurgie sur les structures dentaires et osseuses.

Dans le cadre d'une respiration buccale qui est l'étiologie principale de plusieurs dysmorphoses dentoalvéolaires, le panoramique dentaire nous renseigne sur les éventuelles anomalies des structures nasales pouvant expliquer cette respiration pathologique (exemple :hypertrophies des cornets inférieurs, déviation de la cloison nasale)[32].

5. Limites :

L'image est en deux dimensions et ignore la composante vestibulo-linguale et le cliché ne permet pas de prendre des mesures ni de localiser de façon précise un élément à cause de la loi de confusion des plans. Sa lecture est également rendue difficile par la multitude d'éléments qui se superposent.

On retrouve aussi les problèmes liés à la qualité de l'image par exemple les déformations et distorsion.

Les autres problèmes sont les superpositions coronaires postérieures, et le flou occasionné par les artéfacts métalliques et cinétiques. L'insuffisance de cet examen le rend dépendant des clichés complémentaires pour des traitements spécifiques (RA, Cône Beam)[29].

-Artefacts :

Un artefact se définit comme une image artificielle dont l'apparition est liée à la méthode utilisée et pouvant provoquer une erreur d'analyse. Sur une radio panoramique, les artefacts peuvent avoir pour origine :

a. Projections de clartés aréiques : La présence de cavités remplies d'air donne parfois sur un cliché, de larges images radio-claires. L'air contenu dans les cavités nasales forme deux images radio-claires verticales, symétriques, de part et d'autre de la cloison nasale. Le conduit auditif externe donne une image radio-claire ovoïde en arrière du condyle mandibulaire. L'air contenu dans le rhinopharynx, l'oropharynx et le pharyngo-larynx donne une large image radio-claire au niveau de la région latérale du maxillaire et de la branche de la mandibule. Lorsque l'espace de l'oropharynx est réduit à un mince filet radio-claire, il peut simuler un trait de fracture au niveau de la branche montante de la mandibule. La cavité orale provoque une image radio-claire pouvant se superposer aux racines des dents antérieures et limiter leur visibilité. Cet effet peut être évité en s'assurant que le patient positionne sa langue contre le palais. Enfin, l'orifice buccal, correspondant à l'espace créé entre les lèvres supérieures et inférieures, donne une image centrale ovoïde au niveau des incisives maxillaires et mandibulaire. Cet effet peut également être limité en demandant au patient de fermer les lèvres.

b. Superposition des tissus mous Les tissus mous de la sphère oro faciale peuvent également créer des ombres radio- opaques sur une radiographie panoramique et compliquer sa lecture. Les tissus mous du nez peuvent se superposer au sommet des incisives maxillaires et les tissus mous de l'oreille externe au niveau des condyles mandibulaires. L'image la plus importante correspond à celle de la langue qui occupe une grande partie du cliché panoramique. L'épiglotte est parfois visible dans la région inférieure à l'angle de la mandibule. Le voile du palais est également visible de manière symétrique, prolongeant le palais dur dans ses parties latérales, parallèlement à l'image de la langue

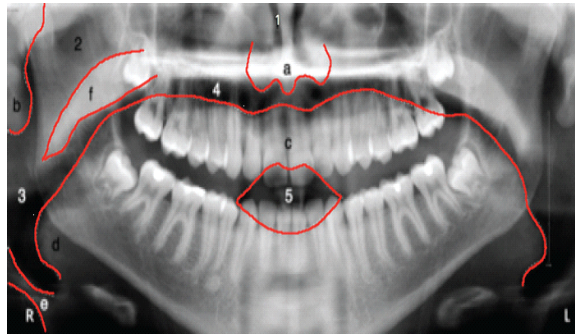


Figure 36 : Schéma des projections de clarté aérique et superposition de tissus mous sur une radiographie panoramique

1 : Cavité nasale, 2 : rhinopharynx, 3 : oropharynx, 4 : Cavité orale, 5 : Orifice buccal
 a : tissus mous du nez, b : lobe de l'oreille, c : langue, d : tissus linguales, e : épiglotte : palais mou

c. Corps étrangers : la présence de corps étrangers au niveau des maxillaires donne des images dont la densité dépend de sa nature. Il peut s'agir de bijoux, de lunettes ou de prothèses dentaires accidentellement oubliées lors de la prise du cliché ou bien de corps étrangers inclus dans les tissus (ex : éclats métalliques). Ces éléments peuvent produire une image nette unilatérale ou bilatérale ainsi qu'une projection dite « fantômes » en fonction de leur localisation par rapport à la source de rayons X et le centre de rotation du déplacement du bras de l'appareil.

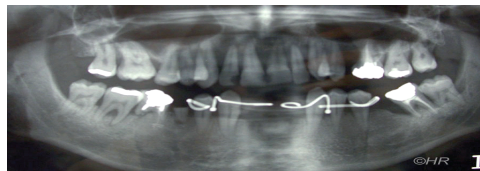


Figure 37 : Radiographie présentant l'image d'une prothèse amovible mandibulaire

Chapitre IV
Les incidences extra-orales

1. Définition

Les radiographies cranio-faciales sont des images médicales utilisées pour examiner en détail la structure du crâne, de la face, des mâchoires et des dents. Ces radiographies sont essentielles en médecine dentaire, en orthodontie, ainsi que dans le diagnostic de diverses pathologies crâniennes et faciales. Elles permettent de visualiser les os du visage, les articulations temporo-mandibulaires (ATM), ainsi que les dents et les structures environnantes, et jouent un rôle clé dans l'évaluation des anomalies et des malformations.

En raison de la complexité structurelle du squelette cranio maxillo- facial un éventail d'incidences a été élaboré selon plusieurs critères en rapport avec la position du patient et la direction du faisceau à rayon x.

2 plans de référence sont utilisés dans la radiographie extra orale qui est perpendiculaires entre eux :

1) Le plan sagittal médian(S) :

Est le plan symétrique de la tête, il passe avant par le nasion(le point le plus profond de la racine du nez), en arrière l'inion (qui définit la protubérance occipitale externe)[33].

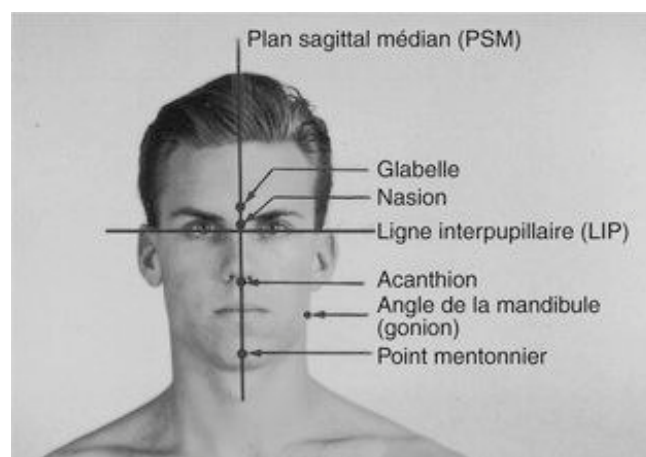


Figure 38 :Position du plan sagittal médian[33]

2) Le plan orbito-meatal (OM) :

Ou, Nasion biauriculaire (N2A) : qui sont très proches, parallèles et peuvent être confondus en pratique. Le plan OM passe par le nasion et Tragiions (qui représente la limite supérieure du tragus, situé en avant et en haut du conduit auditif externe)[33].

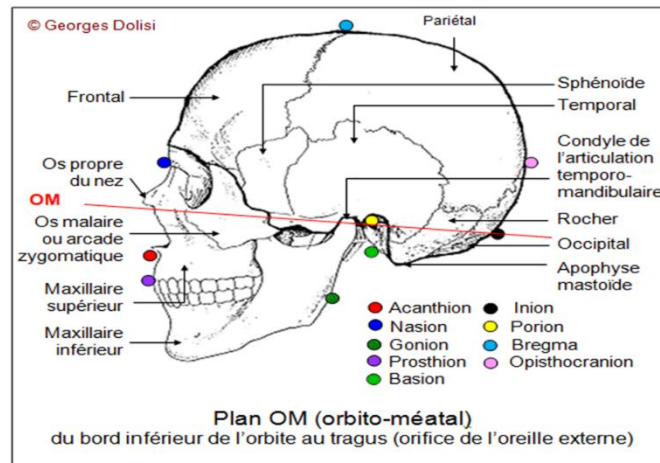


Figure 39 : Position du plan orbitoméatal[33]

Dans la Pratique générale des incidences Trois critères sont importants à définir :

- L'angle formé par le rayon directeur et le plan orbito-mental ;
- L'angle formé par le rayon et le plan sagittal
- Le point d'entrée du rayon.
- Les valeurs des angles sont indépendantes de la direction du rayon (antéropostérieur ou postero-anterieur)
- La notation des angles est bien codifiée :

Par rapport au plan orbito-meatal (OM) : Les angles sont compris entre : 0° et $+90^\circ$ lorsque l'angle formé par le rayonnement et le plan OM est Ouvert en avant et au-dessus de OM.

Les angles sont compris entre 0° et -90° lorsque l'angle formé par le Rayonnement et le plan OM est ouvert en avant et au-dessousde OM.

Par rapport au plan sagittal médian (angle S) : Les angles sont compris entre 0° et $+90^\circ$ lorsque l'angle formé par le rayonnement et le plan S est Ouvert en avant et du coté radiographié.

Les angles sont compris entre 0° et -90 lorsque l'angle formé par le rayonnement et le plan S est ouvert en avant et du coté non radiographié[33].

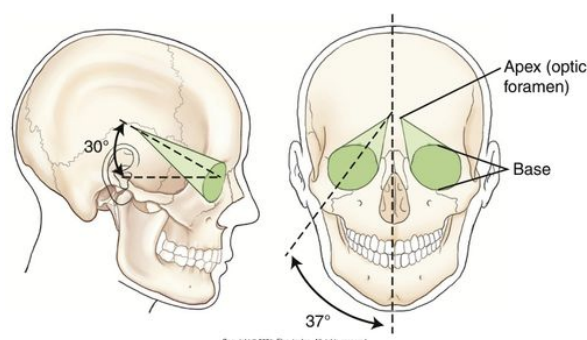


Figure 40 : Description de la technique de lecture des angles[33]

2. Équipement, positionnement et incidences

La plupart des radiographies crâniennes sont réalisées En utilisant un module crânien isocentrique comme l'Orbix°, le patient étant placé fréquemment en position allongée, ou en utilisant un module crânien Conventionnel comme le Craniotome® avec le patient Assis ,et La plupart du temps le récepteur d'image est une Casette (18x 24 cm)contenant soit des écrans renforceurs conventionnels et des films nécessitant un traitement, soit des écrans radio luminescents a mémoire de dimensions appropriées.

Le choix de l'incidence permet de mieux visualiser certaines structures ou d'obtenir une vue d'ensemble de certaines régions anatomiques, tout en minimisant l'exposition inutile aux rayons X[8,10].

2.1. Incidences de face :

-Face basse : incidence nez-front –plaque :

- **Technique :**

Le patient est en appui « front-nez », la bouche en ouverture maximale, le rayon directeur est centré sur la nuque sous l'occipital, et sort au niveau du dos de nez, une symétrie absolue de l'incidence est indispensable, avec projection des rochers à la partie supérieure des orbites. C'est une vue crânienne partielle, où la mandibule et principalement l'angle, le col et le condyle sont projetés libres de toute sur-projection[10,34].

- **Indications :**

La localisation de dents de sagesse supérieure et inférieure incluses en travers, elle donne un accès à la troisième dimension[10,34].

Des traumatismes mandibulaires comme des fractures de l'angle ou du col sont souvent peu évidentes au panoramique dentaire en raison de leur superposition avec la colonne vertébrale[10,34].



Figure 41 : Réalisation de l'incidence de la mandibule de face, bouche ouverte au maximum, avec une table classique (Friedrich A. Pasler).

-Face haute : incidence de CaldWell :

- **Technique :**

Incidence radiographique projetant le bord supérieur des rochers au 1/3 inférieur des orbites.

Cette incidence est obtenue par l'appui sur le récepteur du front et du nez alors que les rayons X incidents font un angle de 0° avec le plan sagittal médian et un angle de -25° avec le plan orbitométal. De direction postéro antérieur [10,34].

- **Indications :**

Les clichés ainsi réalisés permettent l'analyse de la symétrie faciale, des rebords orbitaires supérieurs, des parois internes des orbites, du plancher de la selle turcique, des cellules ethmoïdales, des antres et cuvettes maxillaires, des 2/3 externes des fentes sphénoïdales, aussi utilisé pour la visualisation des [10,34] :

- Sinus frontaux et éthmoïdaux.
- Cavités orbitaires (paroi latérale et rebord orbitaire supérieur).
- Fosses nasales (cloison et cornets).
- Branches montantes de la mandibule.

- La symphyse mandibulaire.
- Les cloisons intersinuso-nasales.

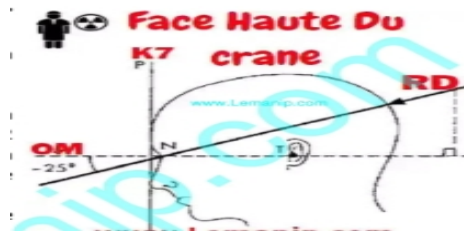


Figure 42 : Incidence face haute

-Incidence –nez –menton (incidence de Blondeau) :

- **Technique :**

Incidence destinée l'étude de la face et de la base du crâne. Elle projette les bords supérieurs des rochers de sorte qu'ils affleurent les cuvettes maxillaires.

En pratique, l'incidence est obtenue par l'appui du menton et du nez (incidence nez-menton), tête légèrement défléchie, sur le récepteur, alors que les rayons X incidents font un angle de 0° avec le plan sagittal médian et un angle de 50° avec le plan orbitoméatal[10,34].

- **Indication :**

Les clichés ainsi réalisés permettent l'analyse des sinus frontaux, des mastoïdes, des malaires, des arcades zygomatiques, et de l'auvent nasal. Pour l'étude de sinus para nasaux, elle s'effectue sur le patient en position assise pour recherche d'un niveau liquide. Cette incidence autorise une exploration préférentielle des sinus maxillaires[10,34].

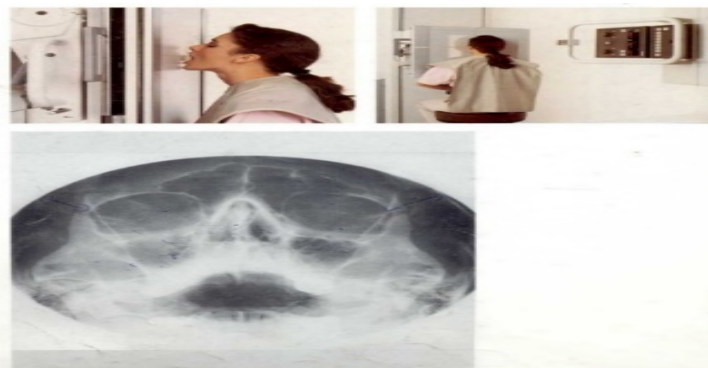


Figure 43 : Réalisation de l'incidence de Blondeau (Friedrich A. Pasler).

-Incidence de waters (incidenceoccipito_mentonnière) :

La seule différence avec l'incidence de Blondeau est l'angulation, créé par la flexion du cou du patient vers l'arrière explore le sinus maxillaire, la pyramide nasale et le malaire[10,34].

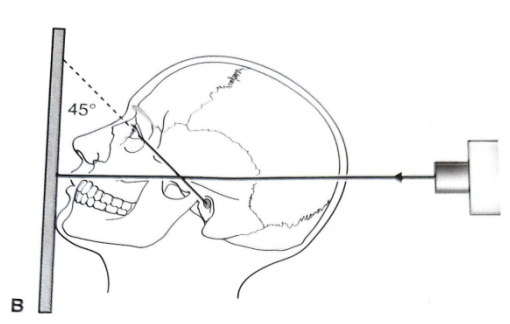


Figure 44 : Incidence de waters (incidenceoccipito_mentonnière) (EricWhaites, Nicholas Drage).

Le récepteur d'image est placé devant le patient et perpendiculaire au plan midsagittal. La tête du patient est inclinée vers le haut de sorte que la ligne cantho-méatale(orbito-meatal) forme un angle de 37 degrés avec le récepteur d'image. Si la bouche du patient est ouverte, le sinus sphénoïdal est vu superposé sur le palais[10,34].

-Incidence de Towne inversée :

Cette incidence montre les têtes et les cols des condyles La vue de Towne originale (une projection antéro-postérieure) était réalisée pour montrer la région occipitale, mais montrait également les condyles. Cependant, depuis que toutes les vues crâniennes sont prises conventionnellement en direction postéro-antérieure, l'incidence de Towne inverse (une incidence postéro-antérieure) est utilisée[10,34].

-Principales indications :

- Fractures hautes des cols des condyles.
- Fractures intracapsulaires des articulations temporo-mandibulaires (ATM); examen de la qualité des surfaces articulaires des têtes des condyles dans les troubles de l'ATM.
- Hypoplasie ou hyperplasie condyloaire

- Technique et positionnement

Ils peuvent être synthétisés comme suit [10,34] :

- Le patient est en position postéro-antérieure, c'est-à-dire la tête inclinée en avant dans la position nez-Front-plaque, mais la cavité buccale est en position ouverte. La ligne de référence radiographique est horizontale et orthogonale par rapport au récepteur d'image. Le fait d'ouvrir la cavité buccale amène les Têtes condyliennes en dehors des fosses mandibulaires des os temporaux, ce qui fait qu'elles peuvent être observées.
- Le tube radiogène vise l'os occipital du bas vers le haut, avec le faisceau primaire à 30° par rapport à l'horizontale, centré sur les condyles.

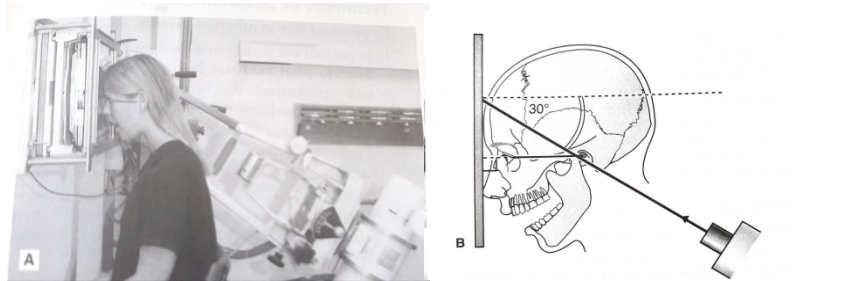


Figure 45 : A. Position pour l'incidence PA des mâchoires/PA mandibulaire : le patient est dans la position nez-front-plaque et le faisceau de rayon X est horizontal, centré sur le Ramus mandibulaire. B. schéma de positionnement : la ligne de référence radiographique est horizontale et orthogonale par rapport au récepteur d'image, et le faisceau de rayon X est également horizontal (EricWhaites, Nicholas Drage).

2.2. Incidences De profil :

-Incidence latérale vraie

Cette incidence montre la voûte crânienne et le squelette facial de côté .Elle est utilisée lorsqu'une simple vue latérale du crâne est nécessaire, mais pas dans le cadre orthodontique ou pour les analyses de croissance.[10]

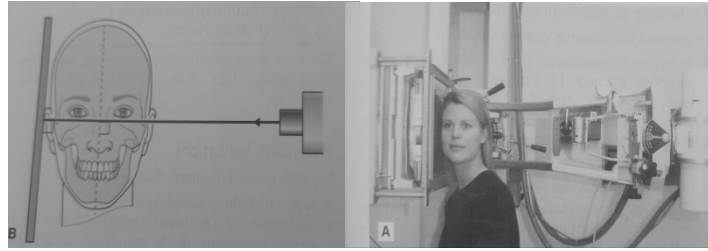


Figure 46 : A Position pour l'incidence latérale vraie : la tête de patient est pivotée à 90° et le faisceau de RX est horizontal, B. schéma de positionnement : le plan sagittal de la tête est parallèle au récepteur d'image et le faisceau de RX est horizontal par rapport au plan sagittal de la tête et au récepteur (EricWhaites, Nicholas Drage)

-Principales indications :

- Fractures du crâne et de la base du crâne.
- Fractures du tiers médian de la face, pour montrer un déplacement possible du maxillaire vers le bas et en arrière.
- Exploration des sinus frontaux, sphénoïdaux, maxillaires.
- Diagnostique des pathologies affectant la voûte crânienne comme: maladie de Paget, myélome multiple, hyperparathyroïdisme.
- Diagnostique des pathologies affectant la selle turcique, comme : tumeur de la glande pituitaire dans l'acromégalie[10,34].

-Technique et positionnement Ils peuvent être résumés comme suit :

Le patient est positionné avec la tête tournée à 90° amenant le côté du visage au contact du récepteur d'image. Dans cette position, le plan sagittal de la tête est parallèle au récepteur.

Le tube radiogène est positionné avec le faisceau primaire horizontal (0) et orthogonal par rapport au plan sagittal et au récepteur d'image, centré sur le méat acoustique externe[10,34].

-Maxillaire défilé :

Incidence destinée à radiographier le corps et l'angle de la mandibule d'un côté en évitant la superposition du côté opposé. Il s'agit d'une incidence oblique de profil[10,34].

-Intérêt :

- L'incidence spécifique modifie la projection sur le film des différents éléments explorés, afin de dégager une zone d'intérêt.

- C'est un cliché de faible coût, complémentaire au panoramique dentaire permettant d'avoir une incidence plus ou moins orthogonale d'une dent (incluse), d'une lésion osseuse, d'un corps étranger, d'un calcul radio-opaque salivaire (c'est une étude topographique et morphologique).
- Il permet une étude sur une zone plus étendue que le cliché rétro alvéolaire.
- Il constitue une bonne parade en cas d'impossibilité d'examen intra-oral.
- Le maxillaire défilé s'oriente surtout vers une exploration préférentielle des secteurs postérieurs[10,34].

-Incidence de Schuller : incidence temporo-tympanique

- **Technique :**

Cette incidence permet l'étude unilatérale de l'articulation temporo mandibulaire et de mouvement du condyle lors de l'ouverture de la cavité buccale [10,34].

- **Position du patient :**

Le patient assis de profil stricte comme pour une incidence de crane de profil, le côté exploré s'appuie sur le plan d'examen, le rayon incident prendra une direction caudale du haut vers le bas avec un angle de 25°, et pour étudier le mouvement de cette articulation il est indispensable de réaliser 2 clichés radiographiques bouche fermée et bouche ouverte. Elle est utile pour diagnostiquer les troubles de l'ATM, comme l'arthrite, les dislocations, ou d'autres anomalies dans cette région[10,34].

-Indications [10,34] :

- Anatomie de l'ATM.
- Fracture condylienne ou sous condylienne.

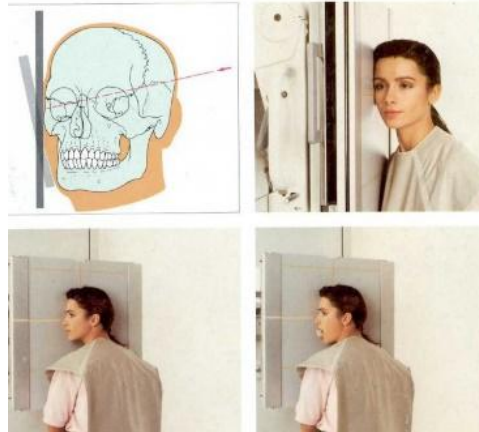


Figure 47 : Incidence du schuller

2.3. Incidences axiales :

-Incidence de Hirtz :

- **Technique :**

Incidence axiale permettant l'étude radiologique de la base du crâne et des sinus. Dans cette incidence, la tête du sujet doit être défléchie le plus possible de façon à ce que la base du crâne soit parallèle au plan du film et le rayon directeur perpendiculaire à ce plan, d'où le nom d'incidence menton-vertex-film, le plan de Francfort est parallèle à la plaque et le rayon directeur est perpendiculaire au milieu de l'arcade zygomatique et au plan du film (passe par le menton)[10,34].

-Indications [10,34] :

- Elle conserve ses indications en ORL et en stomatologie. Elle n'est plus guère utilisée en neurologie car elle est dangereuse chez les patients atteints d'hypertension intracrânienne et se trouve avantageusement remplacée par la scanographie ou l'IRM.
- Elle permet la mise en évidence des asymétries crâniennes (essentiellement des condyles, de leur forme et orientation par rapport au plan sagittal médian), des fractures zygomatiques. Elle est surtout utilisée pour la recherche d'extension tumorale à la fosse ptérygomaxillaire. Cette incidence permet également de

visualiser les sinus sphénoïdales et le squelette faciale envue inférieure, permet aussi d'évaluer l'épaisseur medio latéral de la mandibule avant une ostéotomie, Également elle permet de détecter les fractures de l'os zygomatique.

Remarque: Le positionnement de la tête dans le cadre de cette incidence fait qu'il est contre-indiqué chez les patients chez qui l'on suspecte des blessures au cou et, plus particulièrement, une fracture du processus odontoïde. Elle est contre indiquée chez les patients souffrants d'arthrose cervicale et une insuffisance vertébro- basilaire[34].

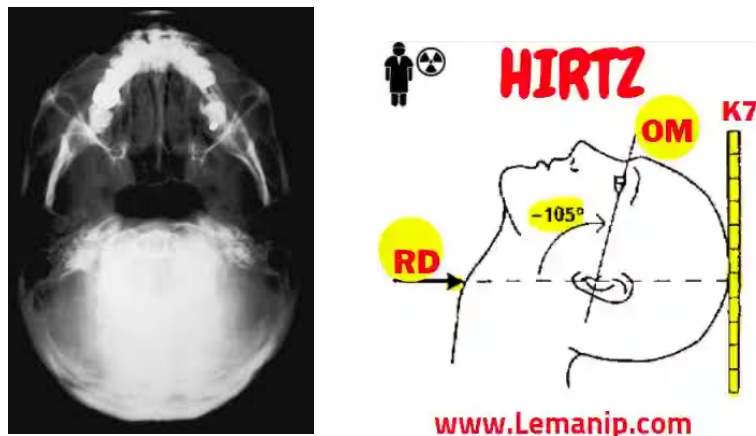


Figure 48 : Incidence Hirtz (Nacer H).

Cette Incidence axiale antéro-postérieure. Elle ne doit être effectuée que si l'on a certitude que le rachis cervical est indemne de toute lésion.

Variantes de l'incidence de Hirtz :

- **Incidence de Hirtz bouche ouverte :** elle nous permet de visualiser les jeux des condyles des 2 articulations contrairement à l'incidence de Schuller qui permet une vue unilatérale (une seule articulation visible).
- **Incidence hyper axiale de Hirtz :** elle nous permet de visualiser les sinus frontaux en projetant en avant et vers le haut l'arc mandibulaire, la tête est en hyperflexion.



Figure 49 : Réalisation de l'incidence axiale selon Hirtz, le plan de Francfort est parallèle à la plaque et le rayon directeur est perpendiculaire au milieu de l'arcade zygomatique et au plan du fil (Friedrich A. Pasler).

3. LA TELERADIOGRAPHIE :

3.1. Définition :

La téléradiographie est une radiographie crânienne prise à distance (Télé=loin) qui présente la particularité d'être standardisé et reproductible. Elle est largement utilisée en orthopédie dento- faciale pour évaluer les relations des dents avec les mâchoires et ces dernières avec le reste du squelette facial. la standardisation a constitué un point fondamental du développement de la céphalométrie- mesure et comparaison des points, distances et lignes spécifiques au sein du squelette facial elle représente aujourd'hui une partie essentielle de l'évaluation orthodontique. La valorisation la plus importante de ces radiographies s'obtient lorsque des tracés ou des digitalisations sont réalisés, ce qui est utilisés dans le cadre du suivi de la progression du traitement.

3.2. Principes de réalisation :

Le système radiologique permettant l'obtention des téléradiographies de profil et de face comprend :

- Un céphalostat, appareil assurant le maintien de la tête du patient et la reproductibilité de son orientation grâce à l'introduction de deux olives auriculaires dans les conduits auditifs externes
- Un récepteur radiologique, contenu dans le céphalostat, placé au plus proche de l'élément à étudier.

- Une source radiogène fixe, distante habituellement de 1,50 à 4 mètres du récepteur, pour obtenir un parallélisme des rayons incidents. Ceci permet une diminution de l'agrandissement et du dédoublement des structures latérales.
- La distance fixe entre la source et le récepteur ainsi que la position systématisée de la tête permettent une standardisation et une reproductibilité des clichés dans le temps et d'un individu à l'autre. De ce fait, la téléradiographie du crâne peut être le support de mesures directes pour la réalisation d'analyses céphalométriques.

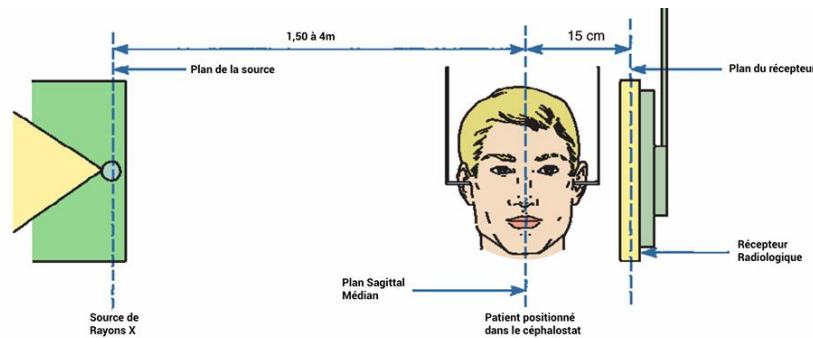


Figure 1 : Système pour une téléradiographie de profil, d'après W. Proffit^[24].

Figure 50 : Système pour une téléradiographie de profil, d'après W. Proffit

-Type d'appareillage :

- Installation fixe de radiologie générale (la distance tube patient utilisée est 4 mètres c'est la vraie téléradiographie)
- Céphalométrie annexée à un appareil panoramique distance est de 1,5 mètre.

-Champ de vue (FOV) : 24 x 30 cm² maximum.

-Temps d'exposition :

- Inférieur à 5 s (variation/poids).
- 0,20 s (avec un appareillage de radiologie générale à 4m).[35]

3.3. Téléradiographie frontale (incidence céphalométrique PAdes mâchoires) :

Cette incidence est identique à la vue antéro – postérieure des mâchoires, excepté le fait qu'elle est standardisée et reproductible.

-Intérêt :

C'est la deuxième radiographie du crâne la plus couramment utilisée en dentisterie. Le céphalogramme, PA est principalement utilisé pour l'évaluation des asymétries faciales et l'évaluation des résultats de la chirurgie orthognathique impliquant la ligne médiane ou la relation mandibulaire-maxillaire du patient.

Elle permet aussi de :

- Visualiser les axes dentaires et poser le diagnostic différentiel entre endognathie et endo-alvéolaire maxillaires.
- Dépister les asymétries transversales et/ou verticales en étudiant la position des Points latéraux par rapport au plan sagittal médian.
- Confirmer une position basse de la langue.

Différents auteurs ont développé des analyses céphalométriques de face, la plus utilisée est l'analyse de Ricketts. Cette analyse permet d'étudier la largeur des cavités nasales, la largeur du maxillaire, les relations entre le maxillaire et la mandibule, la largeur de la mandibule, une asymétrie par rapport à la ligne sagittale médiane, la distance inter-molaires et inter-canines, ainsi que la version corono-vestibulaire des molaires. Les données mesurées seront comparées à la charte de Ricketts[36].

Pour Ricketts, cette analyse de face ouvre également la porte sur les décisions thérapeutiques avec notamment la quantité d'expansion maxillaire réalisable[36].

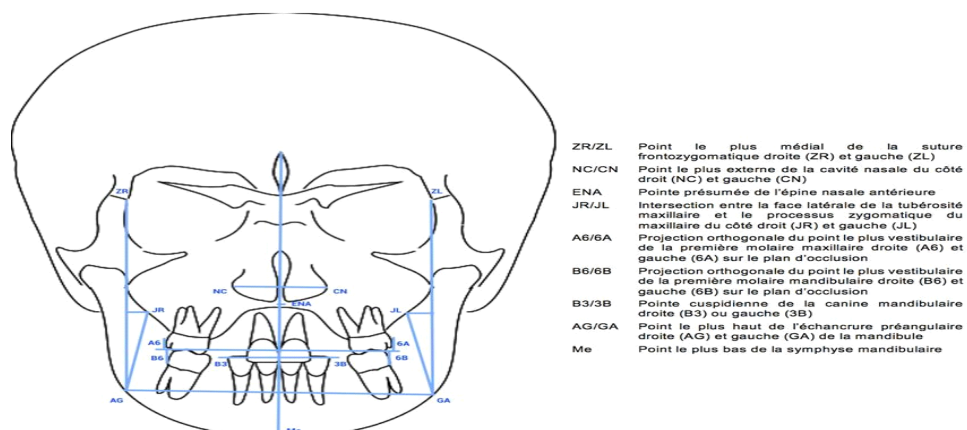


Figure 51 : Analyse céphalométrique de face de Ricketts[36]

3.4. La téléradiographie axiale :

Elle répond à la nécessité d'une exploration tridimensionnelle du volume céphalique (plan de Francfort vertical, parallèle à la plaque, appui du vertex) [35].

- **Intérêt :**

Ces clichés permettent l'étude de la forme de la mandibule et des condyles.

Elle offre une bonne vision de la mandibule et de l'arcade dentaire mandibulaire. Elle Permet ainsi d'étudier la symétrie de la mandibule et le positionnement de l'arcade dentaire sur la base mandibulaire. L'indication est celle d'une asymétrie le plus souvent basale[35].

3.5. La téléradiographie de profil :

La téléradiographie de profil est un examen complémentaire indispensable à la pratique de l'orthodontie. Elle apporte des informations précieuses pour le diagnostic des dysmorphoses crânio-faciales. Le crâne et la face sont les principales zones étudiées sur ce cliché, et l'orthodontiste possède une expertise dans l'analyse de ces structures.

Elle est orientée selon le sens sagittal et vertical du plan de francfort et peut être réalisées :

- En occlusion (intercuspidation maximale ou relation centrée).
- En position de repos.
- En bouche ouverte (afin de dégager les condyles).

Par convention le côté gauche du visage est contre le récepteur et réalisé en occlusion.

L'analyse diagnostique de la téléradiographie de profil permet :

- D'étudier le rapport des bases osseuses dans le sens antéro-postérieur, dans le sens vertical (divergence).
- La position des dents dans les bases osseuses.

Elle est conduite en deux étapes :

- L'observation directe de la téléradiographie permettant une analyse Morphologique et structurale de l'ensemble des éléments crânio-faciaux et rachidiens.
- La réalisation d'une analyse céphalométrique afin de préciser le diagnostic et de quantifier l'importance des dysmorphoses.

-Analyse morphologique et structurale :

Cette étape ne doit pas être négligée car elle apporte des éléments essentiels pour la prise en charge du patient.

Elle permet :

- Le contrôle de la normalité morphologique des différentes structures et de l'absence d'image suspecte.
- Le dépistage de pathologies générales ou d'anomalies morphologiques ; Toute image inhabituelle doit faire l'objet d'une étude plus approfondie et d'une interprétation parfois pluridisciplinaire.

-L'étude de la posture céphalique :

- L'analyse des tissus mous et des voies aériennes supérieures
- L'analyse des dimensions antéropostérieures du pharynx.
- La présence des végétations adénoïdes ou d'une hypertrophie des amygdales Palatines.
- L'absence de contact caractéristique de la ventilation orale.
- Les dimensions du voile du palais.
- La position antéropostérieure et verticale de l'os hyoïde.
- La posture linguale : normale, basse en relation avec une ventilation buccale ou un

Frein court ou haute et distale comme dans les classes II division 2.

- Les lèvres : leur épaisseur, la hauteur du stomion et ses relations avec l'incisive Maxillaire, la présence ou non d'un contact bilabial avec ou sans contraction Mentonnière associée.
- L'évaluation de l'harmonie du profil cutané.
- L'observation des caractères structuraux qui contribuent à l'estimation de croissance du patient[35,36].

– **Analyses céphalométriques :**

Les analyses céphalométriques permettent de localiser et de quantifier les anomalies du Patient dans les sens vertical et sagittal. Très nombreuses, elles peuvent être classées en trois catégories principales :

- **Les analyses typologiques qui visent à déterminer le type facial du sujet (analyse de Björk) :**

BJORK utilise des implants en tantale fortement radio-opaques aux dimensions réduites permettant leur implantation très simple sous anesthésie locale au maxillaire et à la mandibule. Ils sont implantés dans des zones considérées comme stables, le déplacement de ces implants par rapport à la base du crane révèle l'intensité et la direction de la croissance et cela avec la superposition sur ces implants de deux radiographies successives[36].

- **Les analyses dimensionnelles :** basées sur des mesures linéaires ou angulaires Réalisées entre différents points ou plans céphalométriques. Le diagnostic est alors Etabli en comparant les valeurs du patient à des normes préétablies à partir de Populations sélectionnées (analyses de : Downs, Tweed, Steiner, Ricketts...)[36].

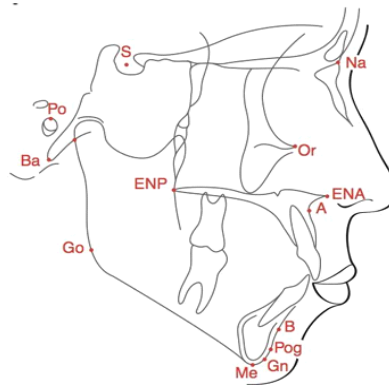


Figure 52 :Points osseux (M-J. Boileau)

| Abréviation | Nom | Définition |
|-------------|--------------------------|---|
| Na ou N | Nasion | Point le plus antérieur de la suture naso-frontale |
| ENA ou ANS | Epine nasale antérieure | Point situé à l'extrémité antérieure du maxillaire |
| A | Sous épineux | Point le plus déclive de l'image de la concavité alvéolaire antérieure du maxillaire |
| B | Supramental | Point le plus déclive de l'image de la concavité alvéolaire antérieure de la mandibule |
| Pog | Pogonion | Point le plus antérieur de l'image de la symphyse |
| Me ou M | Menton | Point le plus inférieur de l'image de la symphyse |
| Gn | Gnathion | Point du contour symphysaire situé à égale distance du Pog et du Me |
| ENP ou PNS | Epine nasale postérieure | Point situé à l'extrémité postérieure du palais dur |
| Ba | Basion | Point le plus bas et le plus reculé du basi-occipital |
| Or | Orbital | Point le plus déclive du rebord de l'orifice orbitaire |
| Po | Poion | Point le plus élevé du conduit auditif externe (CAE) |
| Go | Gonion | Point situé à égale distance du point le plus postérieur et le plus inférieur de l'angle goniale |
| S | Sella | Centre de la scelle turcique |
| Ar | Articulaire | Intersection de l'image du bord postérieur du ramus avec la face exocrânienne du clivus occipital |
| D | Point D | Point central symphysaire, centre de l'image de la base symphysaire |
| Xi | Point Xi | Centre géométrique du ramus |
| Pm | Suprapogonion | Point d'inflexion du contour antérieur de la symphyse mandibulaire compris entre le point B et le point Pog |
| Ptm | Ptérygomaxillaire | Somme de la fente ptérygomaxillaire |
| L | Point L | Projection orthogonale sur SN du point le plus antérieur de la mandibule |
| E | Point E | Projection orthogonale sur SN du point le plus postérieur du condyle |

Figure 53 : Les principaux points céphalométriques. (M-J. Boileau)

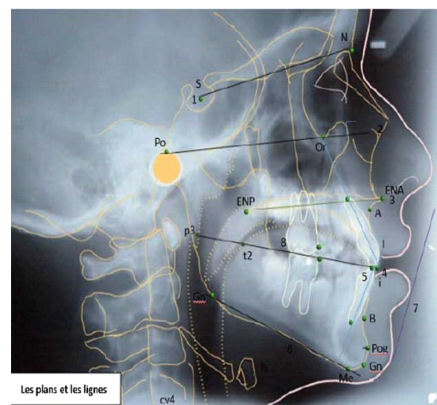


Figure 54: les lignes et plans utilisés : 1 : plan de la base du crane (SN) ; 2 : plan horizontal de Francfort (Po-Or) ; 3 : ligne bi spinale (ENA-ENP) ; 4 : axe de l'incisive supérieure ; 5 : axe de l'incisive inférieure ; 6 : plan mandibulaire (Go-Me) ; 7 : ligne esthétique de Tweed ; 8 : ligne occlusale fonctionnelle

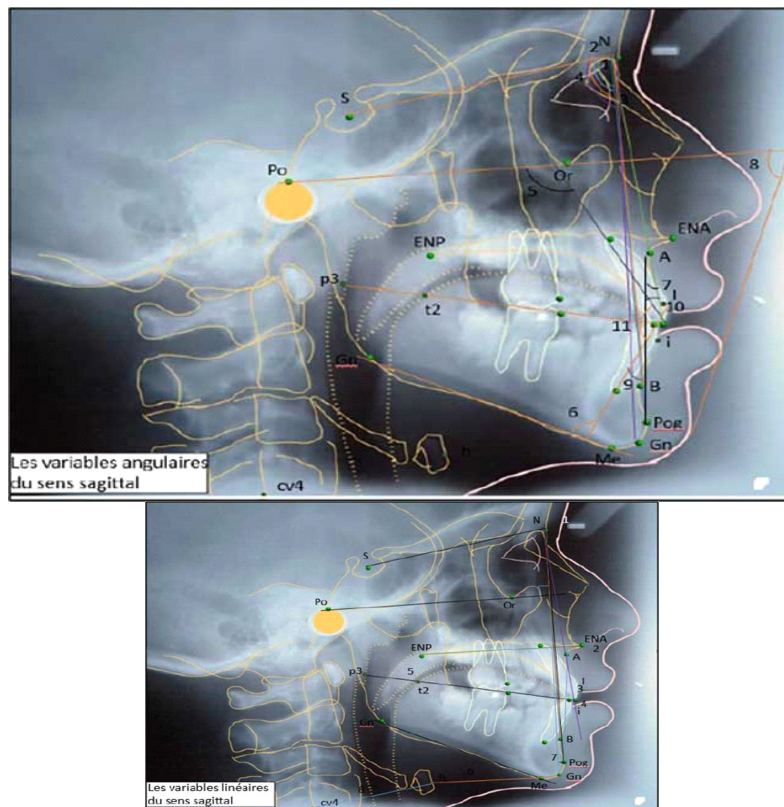


Figure 55 : Les Variables linéaires du sens sagittal : 1 : SN ; 2 : ENA-ENP ; 3 : I/A-Pog ; 4 : i /A-Pog ; 5 : t2-p3 ; 6 : h-Gn ; 7 : position sagittale du pogonion ; 8 : h-Cv4 ; 9 : I/NA ; 10 : i /NB ; 11 : A/NPog ; 12 : surplomb dentaire.

- **Les analyses architecturales et structurales :**

Qui étudient l'équilibre ou le déséquilibre entre les différentes structures céphaliques à partir de constructions Et visent à préciser l'origine du déséquilibre. Le patient est sa propre référence (analyses de Sassouni, Coben, Delaire...)[36].

- **Analyse de DELAIRE :**

Delaire a mis au point une analyse céphalométrique pour pallier à certains défauts des analyses dimensionnelles. A titre d'exemple, ces dernières ne disposent que de peu de points au niveau de la partie antérieure du squelette facial. Or les anomalies constatées au niveau de la denture peuvent être le reflet de malformations squelettiques. Les analyses classiques n'apportent donc pas suffisamment de précisions. L'analyse de Delaire dispose de points au niveau de la voûte du crâne et au niveau de la colonne cervicale. L'analyse architecturale crânio-faciale comporte le tracé de 12 lignes d'équilibre squelettique 4 lignes crâniennes et 8 lignes crânio-faciales[36].

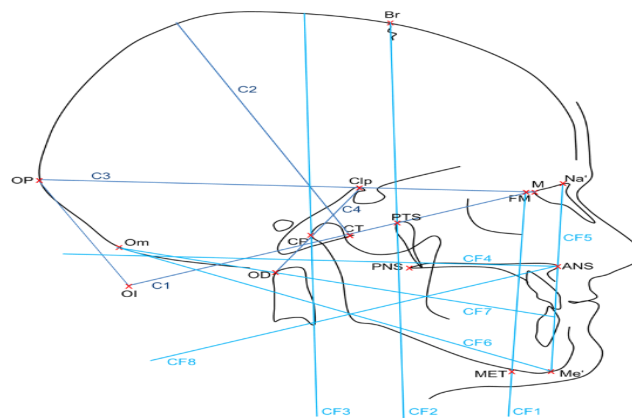


Figure 56 : Analyse de DELAIRE [36]

3.5.1. L'âge vertébral :

L'âge chronologique s'avère de faible fiabilité pour prévoir le stade de maturité et est peu recommandé dans le but d'établir le moment opportun pour débiter le traitement en orthopédie. Puisque le développement dentaire, la maturation sexuelle et la croissance staturale varient grandement d'un individu à un autre, la décision du moment propice du début de traitement pour en optimiser les résultats doit reposer sur les données les plus prévisibles.

Une méthode plus fiable pour aider à établir la maturité squelettique est la méthode CVMS stade de maturation des vertèbres cervicale.

La méthode CVMS est reconnue comme étant fiable au même titre que celle de l'évaluation des os de la main et du poignet. L'avantage du CVMS en orthodontie réside dans le fait que l'information nécessaire est disponible sur le cliché céphalométrique utilisé pour le diagnostic et l'étude, éliminant la nécessité d'une exposition supplémentaire du patient aux radiations. D'autant plus que l'évaluation de la radiographie des os du poignet et de la main demande une intervention et une expertise supplémentaire[37].

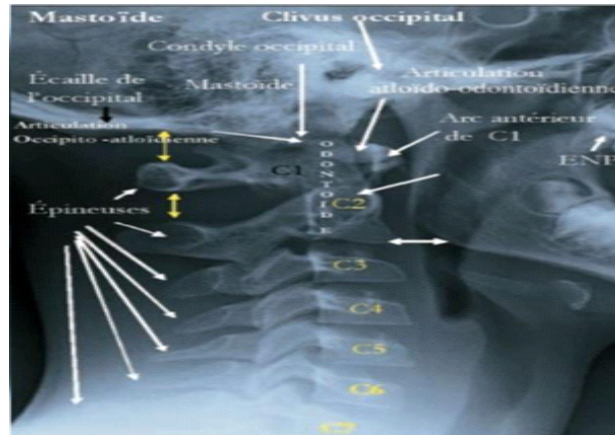


Figure 57 :les vertèbres cervicales sur une radiographie de profil

– Stades de la maturation vertébrale cervicale :

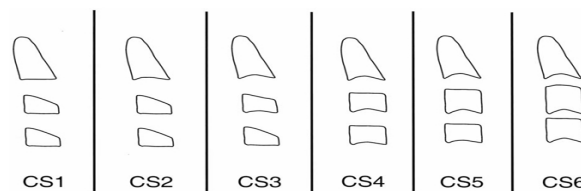


Figure 2 Schematic representation of the stages of cervical vertebrae according to the newly modified method.

Figure 58 : Schéma sur les différents stades des vertèbres cervicales

La méthode CVM peut être utile pour l'évaluation de l'achèvement de la croissance active dans les études portant sur les effets à long terme des stratégies de traitement orthodontique/orthopédique. De même, la méthode peut être utilisée pour identifier cliniquement le moment adéquat pour l'intervention chez les sujets qui ont besoin d'une intervention chirurgicale pour la correction tardive des dysharmonies faciales. En raison de ses applications pratiques, la méthode CVM apparaît comme un outil de diagnostic puissant. La mise en œuvre de la méthode dans la prise de décision orthodontique permet d'améliorer les résultats du traitement en combinant des protocoles efficaces et efficients avec un moment de traitement optimal[37].

IV.3.5.2. Les indications de la TLR :

Les principales indications cliniques peuvent être considérées sous deux aspects majeurs : l'aspect orthodontique /chirurgie ortho gnathique.

– Aspect orthodontique :

- Diagnostic initial : confirmation des anomalies fondamentales des tissus mous et /ou du squelette.
- Plan de traitement.
- Suivi de la progression du traitement, par exemple pour évaluer le besoin d’ancrage et d’inclinaison des incisives permanentes.
- **Aspect lié à la chirurgie ortho gnathique :**
 - Evaluation préopératoire de la disposition des tissus squelettiques et des tissus mous.
 - Aide pour le praticien au cours de l’établissement du plan de traitement.
 - Appréciation postopératoire des résultats de la chirurgie et études de suivi à long terme.

3.5.3. Limites :

La téléradiographie, utilisée principalement en orthodontie et en radiologie, offre des images de la tête, du cou et des structures dento-faciales dans leur ensemble. Cependant, elle présente certaines limites :

- **Manque de détails tridimensionnels :**

La téléradiographie est une imagerie bidimensionnelle (2D), ce qui peut entraîner une superposition des structures anatomiques. Les détails tridimensionnels ne sont pas visibles, limitant l'évaluation précise des asymétries ou des structures complexes.

- **Distorsions :**

Les erreurs d'agrandissement ou de distorsion peuvent survenir, surtout si le patient bouge légèrement durant l'examen. Cela peut affecter la précision des mesures céphalométriques.

- **Limitation dans l'évaluation des tissus mous :**

La téléradiographie montre surtout les structures osseuses. Les tissus mous comme les muscles et la peau sont peu détaillés.

– **Dépendance à l'interprétation :**

L'analyse de la téléradiographie nécessite une grande expertise pour éviter des erreurs dans le diagnostic et le plan de traitement.

– **Résolution limitée :**

Comparée aux scanners modernes ou aux CBCT (côneBEAM), la téléradiographie offre une résolution plus faible, limitant la précision pour des détails fins

- Le non-respect des critères de standardisations en céphalométrie peut être à l'origine d'une erreur de diagnostic.

3.5.4. Céphalométrie3D :

En céphalométrie 3D, les mesures de valeurs linéaires et angulaires sont toujours réalisées par assistance ordinateur, éliminant tout risque d'erreur lors du relevé de celles-ci, les données tridimensionnelles peuvent être rendues sous la forme d'une projection 2D reconstituant une projection céphalométrique plane, ce qui facilite les analyses traditionnelles [38]. Les développements ultérieurs de la tomodensitométrie et désormais du CBCT ont permis de fournir de multiples images orthogonales corrélées de la région maxillo-faciale dans les trois dimensions. Le format de fichier DICOM permet d'importer les données CBCT dans des logiciels capables de visualiser l'ensemble des données et de réaliser une analyse céphalométrique volumétrique en 3D [38]. Les analyses céphalométriques peuvent être réalisées : A l'étape du diagnostic, afin d'identifier et de quantifier les anomalies. En fin de traitement pour comparer les résultats obtenus avec la situation initiale, et avec une situation de comparaison dite normale[38].

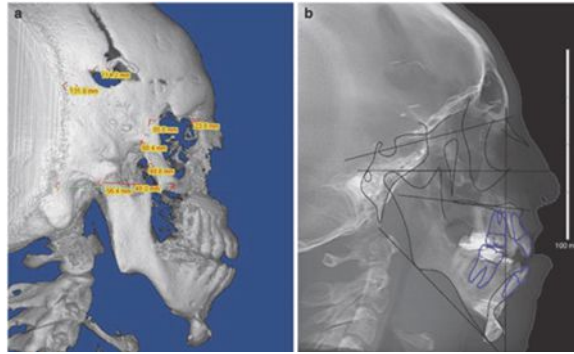


Figure 59 :(a) rendu volumétrique latéral avec analyse céphalométrique 3D, (b) image comparable à une image de céphalométrie 2D, les 2 issus d'un CBCT (Harrell et al ,2018)

Chapitre V
Radiographie de la main

1. Définition :

Est un examen d'imagerie médicale permettant d'observer les os et les articulations du poignet, de la main et des doigts [39].

Elle est utilisée enODF pour évaluer la maturation osseuse d'un patient, notamment lors de traitements orthodontiques. L'ODF s'intéresse aux traitements des dysmorphoses maxillo-mandibulaires en agissant sur les structures osseuses en cours de développement et croissance qui natale s'étalent sur une durée de 20 ans selon différentes phases et plusieurs directions[39].

2. Terminologie :

Chaque doigt de la main présente 3phalanges PP : première phalange MP : moyenne phalange DP : distale phalange[40].

Les doigts sont numérotés de 1 à 5 du pouce à l'auriculaire[40].

3. Technique d'examen :

Le système utilisé pour réaliser cet examen est composé de : générateur de rayons X, tube à rayons X, détecteur d'image, table ou support de positionnement, logiciel d'analyse et d'archivage [41].

Le patient place sa main et son poignet sur la table de radiographie, paume ouverte vers la plaque radiographique et doigts légèrement écartés. Différentes incidences peuvent être réalisées selon la prescription du médecin (face, profil, oblique...). Un faisceau de rayon X traverse la main et le poignet pour capturer des images des structures osseuses. L'image obtenue montre les os du poignet, du métacarpe, et des phalanges, permettant une analyse précise de la maturation osseuse[41].



Figure 60 : Position de la main de patient[41]

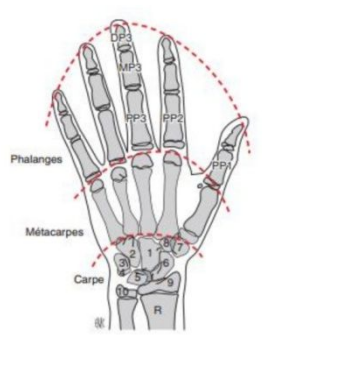


Figure 61 :Illustration anatomique des os de la main



Figure 62 : Image radiologique du poignet et de la main ouverte

4. Les indications en ODF :

Évaluer la croissance osseuse : Pour pouvoir établir un plan de traitement orthodontique adéquat, il est impératif de préciser le stade de croissance du sujet, afin de pouvoir profiter d'une poussée de croissance ou au contraire éviter les effets [39].

L'âge chronologique (l'âge en années) ne reflète pas toujours la maturation biologique d'un enfant. Certains enfants grandissent plus vite que d'autres [39].

L'âge osseux, en revanche, évalue le degré de maturation du squelette, ce qui donne une image plus précise de la croissance individuelle[39].

On étudie l'apparition des points d'ossification du poignet (Phalanges, os du carpe, radius) sur une période allant de 9 à 17 ans[39].

Chaque point d'ossification correspond à une étape de maturation qui permet de situer précisément le stade du développement du sujet examiné[39].

L'analyse de BJORK s'intéressera plus particulièrement aux stades de maturation phalangienne .les stades de croissance sont définis par rapport aux relations épiphyse-diaphysaires[41].

Chaque stade de maturation phalangienne est en corrélation avec la croissance staturale et faciale[41].

La maturation phalangienne passe par 3 stades de développement [41]:

a) Stade lenticulaire (stade=) : correspond à une épiphyse à bord fin aussi large que la diaphyse.

b) Stade capsulaire (stade cap) : épiphyse à bord épais et large dépassant la diaphyse.

c)Stade d'union (stade U) : soudure des épiphyses aux diaphyses correspondantes ce qui signe la maturation osseuse

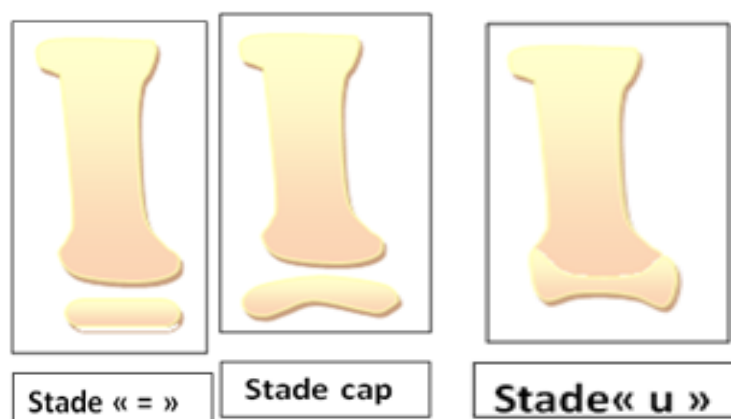


Figure 63 : les stades de croissance

Le stade PP1 CAP correspond au pic de croissance: l'épiphyse de la 1ere phalange du pouce dépasse la diaphyse au moment du pic et le chiffre 0 correspond au pic de croissance[41].

Il faut savoir que l'apparition d'un petit os (le sésamoïde) en regard de la face interne de la diaphyse de la première phalange du pouce signe la survenue de la grande poussée décroissancepubertaire. Cet os est visible 9mois avant le pic de croissance chez les filles et 12 mois avant chez les garçons[41].



Figure 64 : l'os sesamoïde

| | |
|---------|---|
| PP2 = | - 3 -1 avant le pic de croissance |
| MP3= | -1 0 dans l'année qui précède le pic |
| S | -1 0 1 ans avant le pic |
| PP1 cap | 0 pic de croissance |
| MP3cap | 0 +1 dans l'année qui succède le pic |
| DP3 U | +1 +2 |
| PP3 U | +2 |
| MP3 U | +2 +3 |
| R U | Union complète de l'épiphyse radiale et du radius |

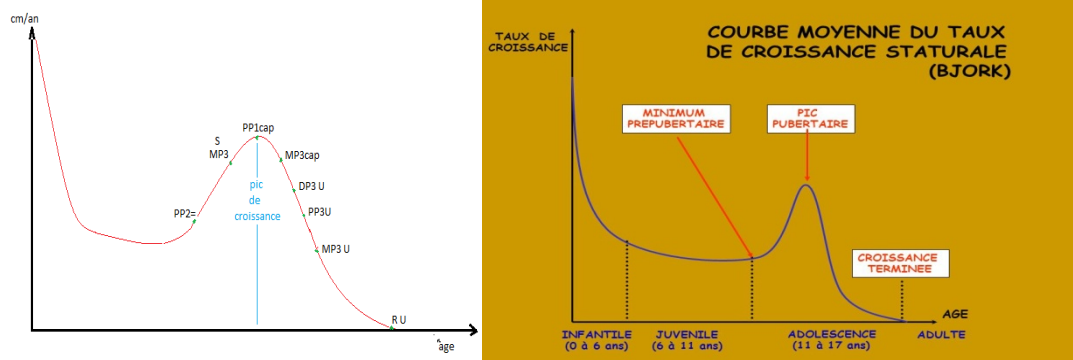


Figure 65 : Courbe de croissance de BJORK

Chapitre VI

La Tomodensitométrie

1. Définition :

La tomodensitométrie, Scanner ou scanographie ou CT (computedtomography) est une technique d'imagerie médicale tridimensionnelle extra –orale inventé par le Britannique Godfrey Hounsfield en 1972, utilisant des rayons X pour obtenir des images en coupe transversales des structures internes du corps. Elle produit des Images détaillées en combinant plusieurs projections radiographiques reconstruite par un ordinateur en vue tridimensionnelle. Des faisceaux de rayons x sont projetés à partir d'émetteurs formant un anneau autour du patient, la source des rayons x et les capteurs tournent autour de lui dans un même plan de façon à donner plusieurs profils d'angles différents [42].



Figure 66 : Système de Tomodensitométrie Multi coupe Siemens en Environnement Hospitalier

2. Limites de l'imagerie conventionnelle 2D :

L'imagerie médicale conventionnelle 2D a des limites contraignantes lesquelles [35] :

- **La superposition** des structures sur l'image obtenue : des objets à différents profondeur seront projeté dans un même plan ce qui peut masquer une structure pathologique conduisant ainsi à des faux positifs et faux négatifs.
- **La densité** : un objet dense dans une certaine largeur peut avoir la même atténuation qu'un objet plus large de densité plus faible. Le contraste entre les tissus est insuffisant.
- **Les dimensions** : change en fonction de la distance de l'objet par rapport à la source de rayon X et par rapport au détecteur ce qui donne l'effet agrandissement ou réduction de dimensions.

A l'inverse, la tomodensitométrie permet d'explorer un volume en réalisant de multiples projections de plans selon différents angles au sein desquels les structures sont différenciées en fonction de leur densité radiologique[42].



Figure 67 : Schémas illustrant les Limites de l'imagerie conventionnelle 2D

3. Matériel et appareillage :

La reconstruction est obtenue à partir d'un mouvement tomographique de la source et des récepteurs, qui tournent autour du sujet dans un plan transversal. La mobilisation synchrone de la source et du récepteur permet de recueillir des données provenant du volume exploré. Le système d'acquisition des données nécessite un générateur de rayons X, un tube et des détecteurs. Les générateurs de rayons X ont des niveaux de performance très élevés ; ce sont des générateurs à émission continue. Le tube est couplé à un ensemble de détecteurs. Il effectue avec les détecteurs un mouvement circulaire dans un plan transversal autour du sujet [43].



Figure 68 : Principaux constituants de la TDM

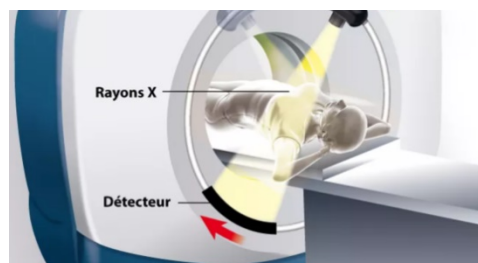


Figure 69 : Principe de fonctionnement

- La TDM a évolué en trois générations :

TDM de première génération : utilise le principe de translation-rotation, le tube à rayons X à anode fixe, couplé à un détecteur unique, produisant un pinceau fin qui grâce à un mouvement de translation traverse et balaie la région à explorer pour générer un premier profil d'atténuation. C'est de cette notion de balayage scanning en anglais qu'est né le mot scanner , l'ensemble tube-détecteur pivotait de quelques degrés pour créer la deuxième projection[43].

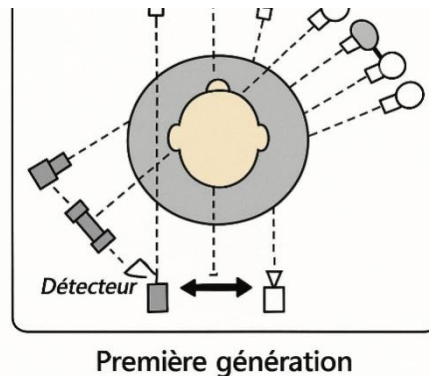


Figure 70 : TDM de première génération

TDM de deuxième génération : le principe est conservé ,mais le nombre de détecteurs est largement augmenté et le pinceau élargi en un faisceau ouvert à 10° . Par conséquent ,la durée des acquisitions diminue de manière significative[43].

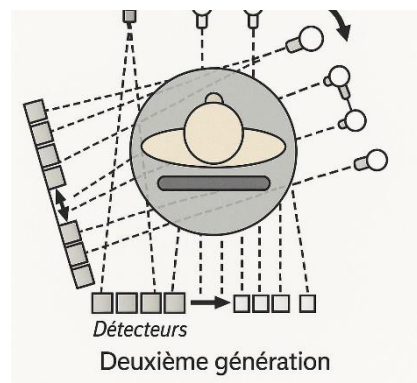


Figure 71 : TDM de deuxième génération

TDM de troisième génération : elle comporte seulement un principe de rotation et utilise un faisceau X en éventail pour englober toute la partie à examiner ; à la fois la source de rayons X et l'ensemble de détecteurs tourne autour du patient sur un chemin circulaire. Le patient est déplacé progressivement entre chaque rotation de la source[43].

TDM de quatrième génération : le tube à rayons X tourne autour du patient, et le faisceau restant est détecté par un groupe circulaire fixe[7].

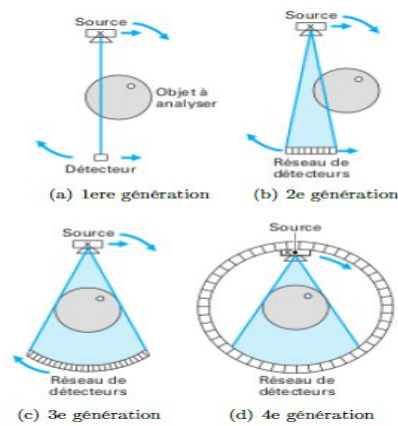


Figure 72 : Représentation schématisée des différentes générations de scanners tomographiques (C. Thiery and JL Gerstenmayer).

Il existe deux principaux types de TDM selon le nombre de rangées de détecteurs :

- **La tomodensitométrie mon barrette**, doté d'une seule rangée de détecteurs, dont la largeur du faisceau de rayon X détermine l'épaisseur des coupes reconstruites. Cet appareil donne des coupes de 1 mm d'épaisseur au minimum [43].
- **La tomodensitométrie multi barrette**, est apparue dès 2002 avec un faisceau de rayons X sous forme conique doté de plusieurs rangées de détecteurs, permettant ainsi d'avoir des coupes de 0,625mm. cet appareil permet d'améliorer la qualité de l'image : les voxels sont devenus presque isotropiques[43].

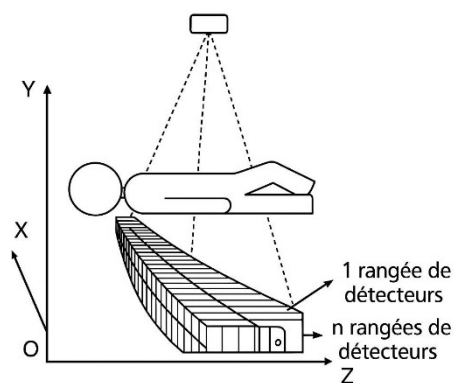


Figure 73 : La tomodensitométrie multi barrette

4. Principe de base :

Le scanner utilise des rayons X pour produire des images. Contrairement aux radiographies classiques qui donnent une seule image en 2D, un scanner prend une série de clichés en coupes transversales du corps. Ces coupes sont ensuite reconstituées par ordinateur pour créer une image 3D [44].

4.1. La théorie de Radon

Établit la possibilité de reconstituer un objet au moyen de ses projections, en utilisant le système monobarrette les projections proviennent d'une seule rangée de détecteurs on obtient donc un sinogramme 2D, pour obtenir un sinogramme en 3D il faut utiliser un système de détecteurs multi barrettes [44].

Les informations stockées dans un sinogramme vont servir à la reconstruction des coupes axiales dites primaires qui correspondent aux données brutes RAW DATA.

Des sinogrammes modifiés seront générés en fonction des corrections appliquées sur les projections : filtres de corrections géométriques, des algorithmes de reconstruction tomographiques, rétroprojection et itération

4.2. L'échelle de Hounsfield :

Est une échelle utilisée pour quantifier la densité des tissus en unité de Hounsfield (UH). Elle repose sur l'atténuation des rayons X à travers les différentes structures du corps, l'eau (0 UH), est considérée comme valeur de référence. La limite inférieure de l'échelle de Hounsfield correspond toujours à l'air et possède une valeur fixe de -1000 UH (ou plutôt -1024 UH pour de raisons informatiques). L'échelle de Hounsfield est donc une droite calibrée avec 2 points de références, l'air = -1024 UH, et l'eau = 0 UH, elle peut en théorie être composée de plusieurs milliers de niveaux de gris différents (un niveau de gris par UH) [44].

4.3. Le fenêtrage

L'œil humain ne peut distinguer qu'environ une vingtaine au maximum. Si on répartit une échelle de gris sur l'ensemble de l'échelle de Hounsfield, les tissus mous seront mal discernés par l'œil, par manque de contraste. Il paraît donc nécessaire de n'attribuer l'échelle de gris qu'à une portion spécifique de l'échelle de Hounsfield, afin de pouvoir étudier avec un contraste significatif les tissus souhaités (zoom en contraste). Cette opération nommée

fenêtrage ou windowing permettra de compenser les limites physiologiques de l'œil humain[43].

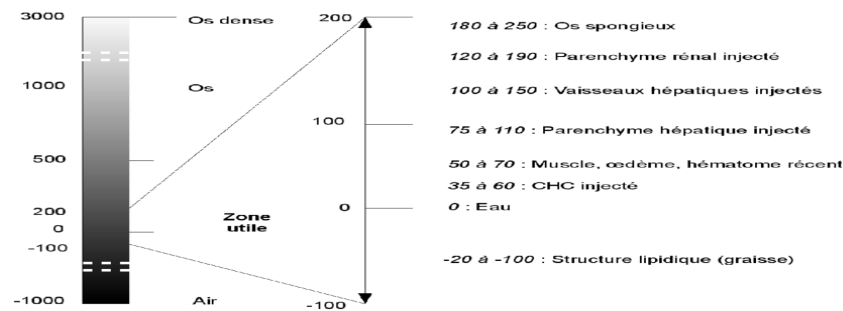


Figure 74 : Échelle de Hounsfield selon la densité des tissus

- **Une fenêtre est caractérisée par :**

Son niveau (Windowlevel ou WL); définit comme le centre de la fenêtre et correspond à la valeur Hounsfield moyenne des tissus à étudier.

Largeur (windowwidth ou WW) présente le pouvoir de distinction visuelle des valeurs Hounsfield ; elle doit être étendue pour l'étude des structures de densités différentes et étroite pour l'étude de structures de densité voisines.

-Les fenêtres osseuses : ont une largeur étendue, ce qui englobe l'ensemble des tissus osseux (spongieux et compact) mais également les parties molles, et un niveau élevé (WL > 200 UH)[43].

-Les fenêtres pulmonaires : possèdent une largeur étendue, qui comprend l'ensemble du parenchyme pulmonaire mais également les parties molles, et par conséquent un niveau bas (-400 UH < WL < -700 UH) qui se situe dans la portion négative de l'échelle de Hounsfield.[43]

-Les fenêtres molles : spécifiques des tissus mous sont (grasses organes) ayant des UH proches situées aux alentours de la référence qu'est l'eau. Elles sont dites étroites ou serrées, du fait de la faible étendue des valeurs Hounsfield de ces tissus et leur niveau en général est proche du zéro (10 UH < WL < 80 UH)[43].

4.4. Le processus :

Émission des rayons X : Le scanner dispose d'un tube à rayons X qui tourne autour du patient. Il émet des rayons X à travers le corps du patient. La durée moyenne de l'examen est de 10 min.

Détection : En face du tube à rayons X, des détecteurs captent la radiation qui a traversé le corps. Ces détecteurs enregistrent la quantité de radiation absorbée par les différents tissus corporels.

Reconstruction des images : Les données collectées par les détecteurs sont envoyées à un ordinateur qui les traite. Il utilise des algorithmes complexes pour reconstruire des images en coupe fine de l'organe ou de la zone explorée[42].

5. Réalisation de l'examen :

Le patient est allongé sur le dos, la tête calée dans une têtère, et maintenue par des sangles, le statif étant vertical.

Pour l'étude du maxillaire, le plan des coupes axiales est parallèle à l'os palatin.

Pour l'étude de la mandibule, le plan axial est cette fois parallèle à la corticale basilaire de la mandibule.

Parfois, pour une étude plus particulièrement centrée sur les dents, le plan de coupe est choisi parallèlement au plan occlusal.

- Les mesures effectuées dans le sens de la hauteur sont fidèles à la réalité, car le plan utilisé est strictement perpendiculaire à l'arcade étudiée.
- Le plan de coupe axial évite l'irradiation directe des organes sensibles, que sont le cristallin et la thyroïde.
- Tension(KV) : selon les sujets elle sera au maximum de 120Kv, Intensité (mA) et charge (mAs) : l'augmentation de KV doit être compensé par une diminution des mAs avec un maximum de 100 mAs selon les appareils et les protocoles)[29].

6. Le dentascanner

Est un examen tomodensitométrique de courte durée, peu irradiant pour le patient, de réalisation automatisée, simple et rapide pour le praticien. Initialement ce logiciel a été mis au point pour permettre une évaluation précise du volume osseux disponible dans le cadre du bilan pré-implantaire. Mais très vite cette technique a vu son utilisation s'élargir aux bilans de nombreuses parties rencontrés dans les régions maxillo-mandibulaires ou faciales ; Le Dentascan® est le logiciel de reconstitution spécifique dentaire. Il nécessite la réalisation de coupes en incidence axiale, d'épaisseur de 1,5 mm 30 à 40 coupes seront réalisées, espacées entre elles de 1 mm [42].

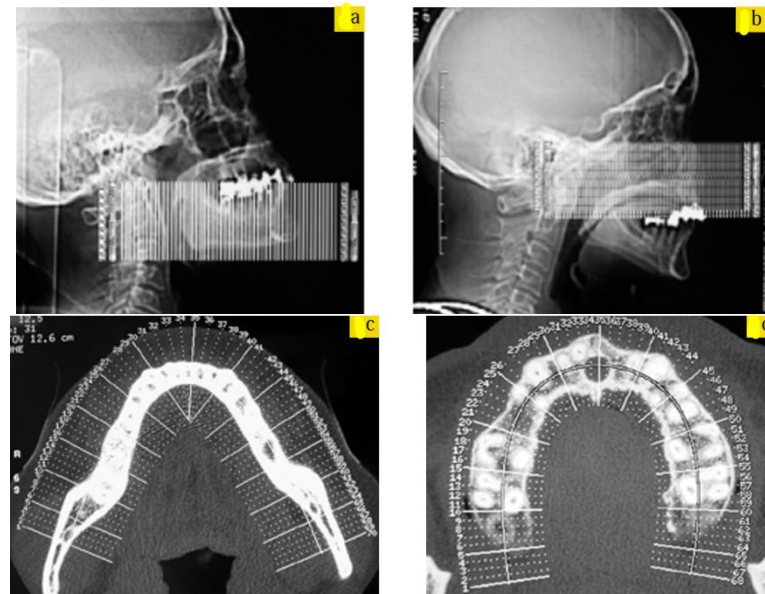


Figure 75: Scout views visualisant la pile de coupes acquises dans le plan axial pour les reconstructions dentascanner : examen de la mandibule (a) et examen du maxillaire (b). Programmation des reconstructions coronales obliques mandibulaires (C) et maxillaires (d).

Tableau 1: Comparaison entre scanner et dentascan :

| Critère | TDM | Dentascan |
|---------------------|--|--|
| Objectif | Général | Spécifique à la région dentaire et maxillo-faciale. |
| Acquisition | Coupes axiales classiques, sans traitement spécifique. | Coupes axiales retravaillées pour avoir des reconstructions panoramiques et transverses. |
| Résolution spatiale | Modérée : détails limites pour les structures fines (dents, os maxillaires). | Haute résolution : adaptée à l'analyse des structures dentaires et osseuses. |
| Dose d'irradiation | Plus élevée, car non optimisée pour des zones spécifiques. | Relativement réduite, focalisée sur la région maxillo-faciale. |

7. Indications :

- **Diagnostic** : Le scanner est utilisé pour explorer les fractures, les infections, les tumeurs, les accidents vasculaires cérébraux, et bien d'autres problèmes médicaux[44].
- **Suivi** : Il permet également de suivre l'évolution de certaines pathologies ou l'efficacité d'un traitement, comme la réduction de la taille d'une tumeur[44].
- **Préparation à une chirurgie** : Dans certains cas, les médecins peuvent utiliser les images de scanner pour planifier une intervention chirurgicale[44].
- Le scanner permet de visualiser les obstacles anatomiques tels que les fosses nasales, les sinus maxillaires, les foramens grands palatins et incisifs, le canal mandibulaire, le foramen mentonnier, les ATM[44].
- **Il est indiqué pour** :
 - La pose d'implant : il permet de faire un bilan préopératoire minutieux en donnant les dimensions exactes dans les trois plans de l'espace de site receveur[42].
 - Étudier les lésions traumatiques et analyse des fractures dentaire[42].
 - Lésions tumorales : Bénignes, kystes, Malignes[42].
 - Lésions infectieuses : atteintes péri-apicales, lésions parodontales, Ostéites radionécroses, Sinusites d'origine dentaire (communication bucco ou dento-sinusale)[42].

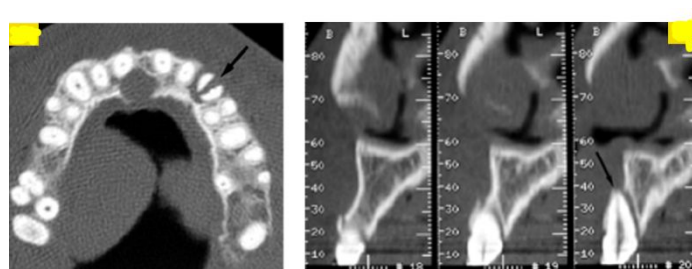


Figure 76 : Fracture radiculaire de 23

- En orthopédie dento faciale, la TDM est indiquée pour l'étude des anomalies dentaires complexes : dent ectopique, localisation de germe de canine ou de troisième molaire, germe surnuméraire-odontome, anomalie de forme ou de structure, ankyloses[45].
- L'analyse des inclusions dentaires complexes ou multiples [45].

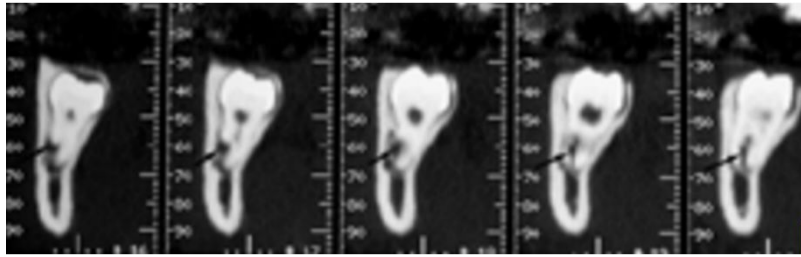


Figure 77 : Dent de sagesse incluse dont les apex entourent le canal mandibulaire.

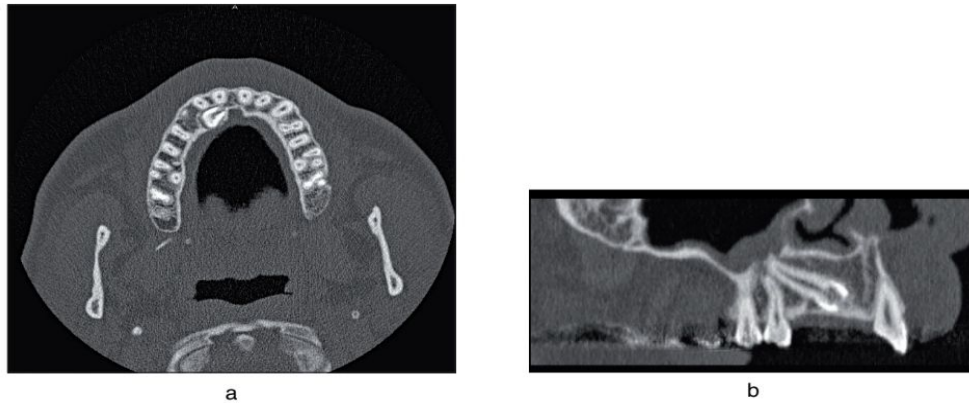


Figure 78 : Scanner à Rx du patient présentant une ankylose de 13 incluse avec résorption ayant débutée par la pointe canine. (a) et (b) reconstruction para-sagittale droite.

- **Evaluation des bases osseuses et des structures crânio-faciales[44] :**

- Prognathie, rétrognathie, asymétries faciales.
- Étude des bases osseuses pour la chirurgie ortho gnathique.
- Analyse des sutures crâniennes chez l'enfant en croissance.
- Diagnostic des troubles de l'éruption dentaire.
- Visualisation des anomalies radiculaire et de leur impact sur le plan de traitement[45].
- Evaluation des articulations temporo-mandibulaires (ATM): Suspicion de troubles de l'ATM (luxation discale, arthrose, hypoplasie condylienne *asymétries* ,dégénérescence des condyles)[45].

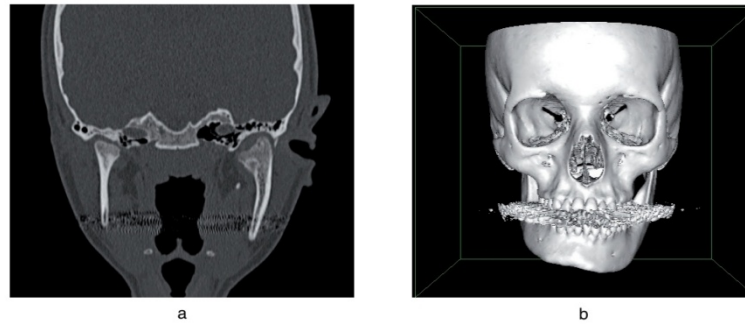


Figure 79 :Scanner préopératoire d'une patiente présentant une hypercondyliel gauche. (a) coupe coronale, (b) modélisation 3D en rendu de face.

- Analyse des voies aériennes et des pathologies associées : étude des dimensions des voies aériennes supérieures (syndrome d'apnée du sommeil, obstruction nasale)
- Identification des hypertrophies adénoïdiennes et amygdaliennes affectant la croissance maxillo-faciale

8. Avantages :

Contrairement à la radiographie panoramique conventionnelle (qui reste une zonographie ou coupe épaisse), il s'agit de coupes fines déroulées de l'arcade. Ce type de reconstruction permet d'avoir un regard dans le sens mésio-distal. Les reconstructions coronales obliques seront présentées de droite à gauche en grandeur réelle, impliquant une mesure directe sans coefficient d'agrandissement [42].

- Polyvalence : contrairement au cone beam ; le scanner peut faire le balayage de tout le corps offrant donc une exploration étendue.
- Possibilité d'injection du produit de contraste : c'est le point fort de la TDM ; qui trouve tout son intérêt dans les pathologies tumorale et kystique.
- Haute résolution permettant une visualisation en 3D.
- Rapide et non invasive (il n'y a pas de besoin de chirurgie pour réaliser l'examen).

9. Inconvénients et risques :

Exposition aux rayons X : Bien qu'elle soit relativement faible, il y a un risque associé à l'utilisation des rayons X, en particulier lorsqu'ils sont utilisés fréquemment.

Contraste iodé : Parfois, un produit de contraste à base d'iode est utilisé pour améliorer la visibilité de certains organes ou structures, mais cela peut entraîner des effets secondaires chez certaines personnes, comme des réactions allergiques.

Chapitre VII

TEP Scan

1. Définition

La tomographie par émission de positons (TEP), également dénommée PET ou PET scan (pour « positon émission tomography » en anglais), est un examen qui permet de visualiser l'activité métabolique des cellules dans le corps. Il repose sur l'injection d'un traceur radioactif (le 18F-FDG (fluorodésoxyglucose marqué au fluor 18)) qui est absorbé par les cellules en fonction de leur activité [47].

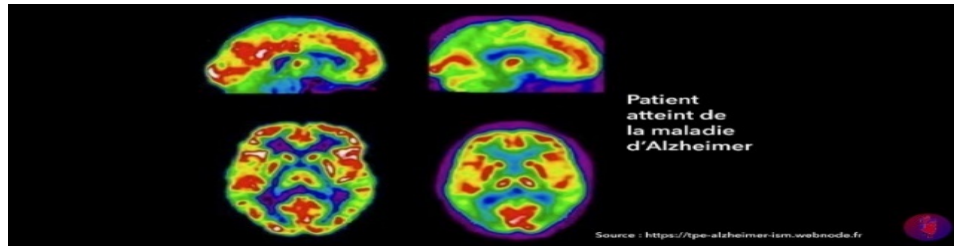


Figure 80 : Comparaison entre l'activité métabolique cérébrale entre un patient sain et un patient atteint d'Alzheimer

2. Déroulement de l'examen :

Injection du traceur par voie intraveineuse IV suivi d'une période d'attente (environ une heure) pour permettre au traceur de se fixer ; ensuite acquisition des images par le TEP scan

Précautions : l'examen doit être réalisé à jeun ; il est important de signaler toute allergie ou traitement en cours.

L'examen est contre-indiqué chez les femmes enceintes ou allaitantes.

Les patients diabétiques doivent être surveillés.

Il est souvent combiné à d'autres examens d'imagerie, tel que le scanner, pour obtenir une image anatomique et fonctionnelles plus précise[46].

3. Principe de fonctionnement :

Le positon est un anti électron qui peut être émis par un atome radioactif et lorsqu'il rencontre un électron les deux vont s'annuler donnant naissance à deux photons gamma qui vont partir dans deux directions opposées ; si on détecte ces deux photons gamma avec des gammas camera on peut savoir à quel endroit s'est produite la collision du positon et de l'électron[47,48].

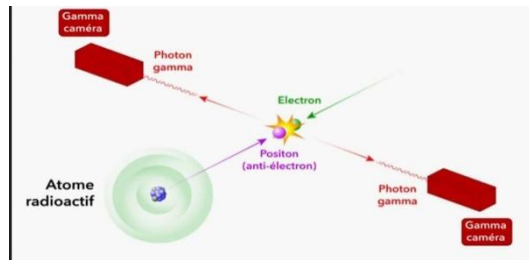


Figure 81 : Schema expliquant le principe de fonctionnement du tep scan

Une caméra TEP utilise un atome radioactif (fluor 18) qui se désintègre en émettant un positon. Ce positon parcourt une très courte distance avant de s'annuler en rencontrant un électron. Cette annulation génère deux photons gamma de 511 KeV qui s'éloignent dans des directions opposées. Ce phénomène permet une reconstruction tomographique des données[47].

Les détecteurs disposés autour du patient captent ces photons simultanément, ce qui permet de déterminer la ligne d'émission des photons. Un système informatique traite ensuite ces informations à l'aide d'un algorithme pour reconstruire des images 2D ou des objets 3D représentant la répartition du traceur dans une zone spécifique ou dans tout le corps[47].

4. Déroulement du couplage TEP-TDM :

Injection du traceur radioactif : Le patient reçoit une injection de fluorodésoxyglucose et attend environ 60 minutes pour permettre sa diffusion dans le corps. Le patient passe d'abord un scanner pour obtenir des images anatomiques précises.

Acquisition du TEP scan : Juste après, l'appareil détecte les zones d'accumulation du traceur radioactif.

Un logiciel superpose les images du TEP et du scanner, permettant une analyse combinée fonctionnelle et anatomique[49].

5. Les indications de TEP scan en odontostomatologie :

Le TEP scan n'est pas un examen de routine en odontologie. Il est généralement réservé aux cas complexes et difficiles à diagnostiquer par les autres techniques d'imagerie (radiographie, scanner, IRM)[50].

L'interprétation des images TEP scan en odontologie nécessite une expertise spécifique, car certaines lésions bénignes (inflammatoires ou infectieuses) peuvent également présenter une hyperfixation du traceur[51].

Le TEP scan est un outil avantageux pour détecter les tumeurs malignes de la sphère orale et leur étendue, de détecter les métastases ganglionnaires, et de planifier le traitement chirurgical ou radiothérapique[50].

- Il est particulièrement utile pour les cancers de la base de la langue et de l'oropharynx, qui sont difficiles à examiner cliniquement [52].
- Détection des foyers infectieux : tels que les ostéomyélites des maxillaires [53].
- Evaluation des douleurs oro-faciales atypiques [52].
- Suivi de la réponse aux traitements : après un traitement chirurgical, radiothérapie ou chimiothérapique d'un cancer de la sphère oro-faciale surtout pour la détection des récives.

En orthopédiedento faciale il peut être utilisé pour évaluer l'activité métabolique des tissus osseux : réaction osseuse aux traitements orthodontiques, et l'évaluation des troubles de croissance osseuse : suivi des anomalies de croissance des maxillaires[53].

- Diagnostic et suivi des pathologies articulaires : dysfonctions de l'ATM[54].

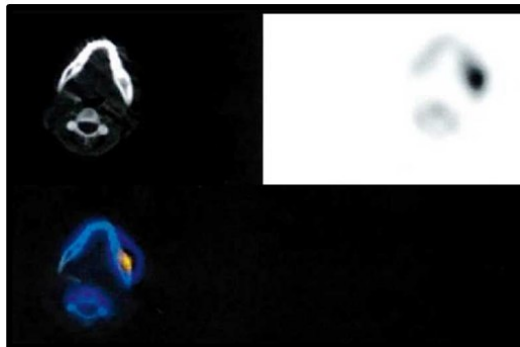


Figure 82 : PET-scan permettant de visualiser le contour anatomique exact de la région mandibulaire touchée avec une activité métabolique accrue[53].

Chapitre VIII

La Scintigraphie

1. Définition

La scintigraphie est un examen d'imagerie médicale fonctionnelle de médecine nucléaire qui utilise la radioactivité ; elle consiste à administrer une petite quantité de substance radioactive, appelée traceur, dans le corps du patient. Ce traceur (généralement c'est le technétium 99m,) se fixe sélectivement sur l'organe ou le tissu à étudier et émet des rayonnements gamma qui sont détectés par une caméra spéciale, la gamma-caméra. Les images obtenues permettent d'évaluer la fonction et la morphologie de l'organe ou du tissu[55].

2. Le remodelage osseux :

Est un processus physiologique continu de renouvellement du tissu osseux. Il implique la résorption de l'os ancien par les ostéoclastes et la formation d'os nouveau par les ostéoblastes. Ce processus est essentiel pour la croissance, la réparation des fractures et le maintien de l'homéostasie minérale [57].

La scintigraphie osseuse permet d'évaluer l'activité métabolique des os en utilisant une combinaison des molécules biphosphonate et le technicium 99m et qui vont se fixer sur les sites osseux en remodelage et qui vont au même temps émettre des rayonnements gamma [56].

Le biphosphonate va reconnaître et se fixer sur l'hydroxyapatite exposé à cause du remodelage osseux [56].

Le technicium 99m est un élément chimique radioactif

3. Objectifs de la scintigraphie

- Détecter des anomalies fonctionnelles ou morphologiques.
- Évaluer la fonction d'un organe (par exemple, le cœur, les reins, la thyroïde).
- Diagnostiquer des maladies (par exemple, des infections, des tumeurs, des maladies osseuses).
- Surveiller l'efficacité d'un traitement[57].

4. Déroulement de l'examen :

– Administration du traceur radioactif :

Un traceur radioactif, est administré au patient. Ce traceur est une substance qui émet des rayonnements gamma et qui se fixe sélectivement sur l'organe ou le tissu cible. L'administration peut se faire par voie intraveineuse, orale ou par inhalation, en fonction de l'organe à explorer. Le patient doit retirer tous les objets métalliques pouvant induire des artéfacts. Le patient doit boire 1 litre d'eau en 2h après l'examen afin de favoriser l'élimination du traceur par voie urinaire. Le temps nécessaire entre le passage du marqueur du compartiment vasculaire au compartiment osseux est de 2 à 3 h. le patient doit être immobile, en position assise ou allongé, les têtes des gammas caméras vont se déplacer autour du patient, l'acquisition peut durer 15 à 45 mins [57] .

En grossesse ,En post-partum, l'allaitement doit être interrompu durant les 24 h suivant l'injection intraveineuse du radio pharmaceutique[57].

– Détection des rayonnements gamma

• Formation de l'image scintigraphique :

Les données recueillies par la gamma-caméra sont traitées par un ordinateur pour créer une image scintigraphique qui montre la distribution du traceur dans l'organe ou le tissu, ce qui permet d'évaluer sa fonction.

– Interprétation des images scintigraphiques :

• Distribution du traceur :

La distribution du traceur dans l'organe ou le tissu est un indicateur de sa fonction : Une distribution normale indique une fonction normale et une distribution anormale peut indiquer une anomalie fonctionnelle ou une lésion[55].

– Intensité du signal :

L'intensité du signal émis par le traceur est également un indicateur de la fonction de l'organe ou du tissu. Une augmentation de l'intensité peut indiquer une hyperactivité et sa diminution peut indiquer une hypoactivité[55].

Comparaison avec d'autres examens : L'interprétation des images scintigraphiques est souvent réalisée en comparaison avec d'autres examens d'imagerie, tels que les radiographies, TDM etIRM.

5. Applications spécifiques en odontologie :

Détection des ostéites à un stade précoce, avant que les changements ne soient visibles sur les radiographies. Tel que les premiers signes d'ostéonécrose des maxillaires, permettant ainsi une intervention précoce[53].

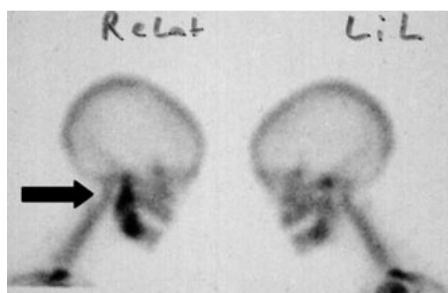


Figure 83 : Fixation importante des marqueurs au niveau de l'angle droit et de la branche montante mandibulaire (flèche) signant un turn-over métabolique très actif de l'os[53].

- Evaluation d'arthrites ou des lésions traumatiques d'ATM[58].
- Evaluation de la fonction des glandes salivaires et diagnostic des affections telles que la sialadénite ou le syndrome de Sjögren[59].
- Douleurs faciales atypiques : lorsque les douleurs faciales ne peuvent être expliquées par des causes dentaires ou neurologiques évidentes, la scintigraphie peut aider à identifier des problèmes osseux ou articulaires sous-jacents (Ziegeler et al).
- En orthopédiedento faciale il peut être utilisé pour évaluer l'activité métabolique des tissus osseux : réaction osseuse aux traitements orthodontiques, et l'évaluation des troubles de croissance osseuse : suivi des anomalies de croissance des maxillaires.

Chapitre IX

Le Cône BEAM

1. Définition

LeCôneBEAM, ou Cône BEAM CT, ou tomographie volumique à faisceau conique (TVFC) parfois désigné par l'acronyme CBCT (pour « CôneBEAMcomputedtomography ») est une technique d'imagerie volumique extra-orale tridimensionnelle de tomodensitométrie permettant de produire une radiographie numérisée basé sur un faisceau conique permettant l'analyse de coupes horizontales, verticales et sagittales à travers un volume souhaité. Il permet d'offrir des images des structures osseuses et dentaires avec des résolutions toujours plus élevées tout en maintenant des niveaux de dose bien inférieurs à ceux du scanner [10].

Préparation de patient : le patient est positionné debout ou assis ou à position allongée comme en scanner, la tête maintenue dans une têtère. L'immobilisation de patient est importante afin d'éviter les artefacts [61].

2. Principe physique :

Un générateur de rayons X émet un faisceau d'irradiation ouvert de forme conique permettant en une rotation complète (360°) ou semi-complète (180°) de balayer l'ensemble devolume à explorer avant d'être analysé après atténuation par un système de détection. L'émetteur de rayons X et le détecteur sont solidaires et alignés[60].

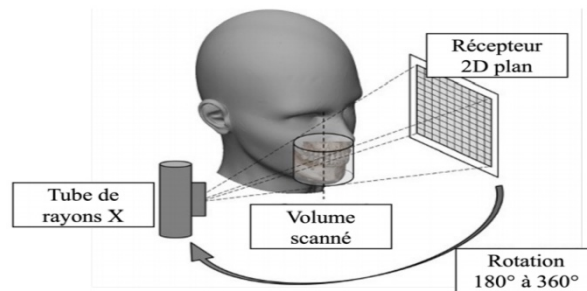


Figure 84 : Principe d'acquisition Pauwel& al ,2018

Pendant la rotation, la source de rayons X émet des irradiations en mode continu ou pulsé, permettant d'obtenir des radiographies de projection ou "images de base". Chacune étant légèrement décalée par rapport à la suivante. Cette série d'images est appelée les données de projection. Des programmes logiciels utilisant des algorithmes sophistiqués, y compris la projection filtrée arrière, sont appliqués à ces données d'image pour générer un

ensemble de données volumétriques en 3D, qui peut être utilisé pour fournir des images de reconstruction primaire dans trois plans orthogonaux (axial, sagittal et coronal)[60].

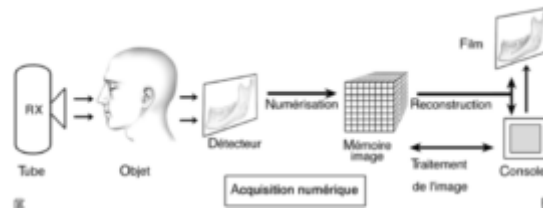


Figure 85 : Principe de reconstitution 3D des images en Cône BEAM

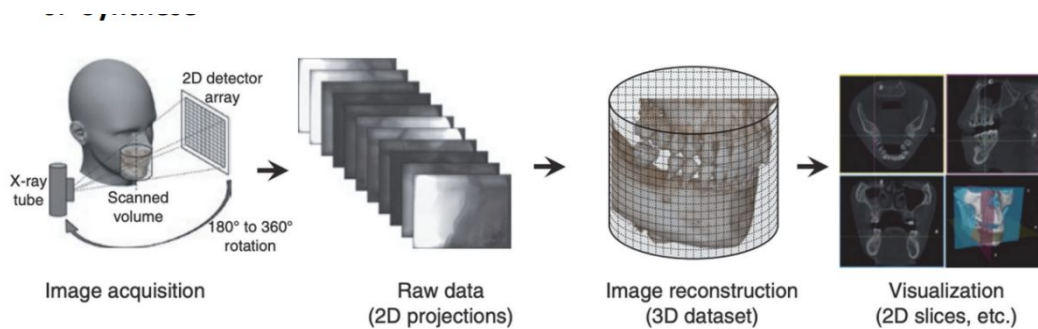


Figure 86 : Schémas des différentes étapes de la production d’image CBCT (Pauwels &al, 2018)

Il existe différents CBCT, classifiés selon leur champ d’exploration :

1. – les petits champs : inférieurs ou égaux à 8 cm, utilisés en endodontie et implantologie
2. – les champs moyens : entre 9 et 15 cm
3. – les grands champs : supérieurs à 15 cm utilisé en orthodontie et chirurgie maxillo-faciale[10].

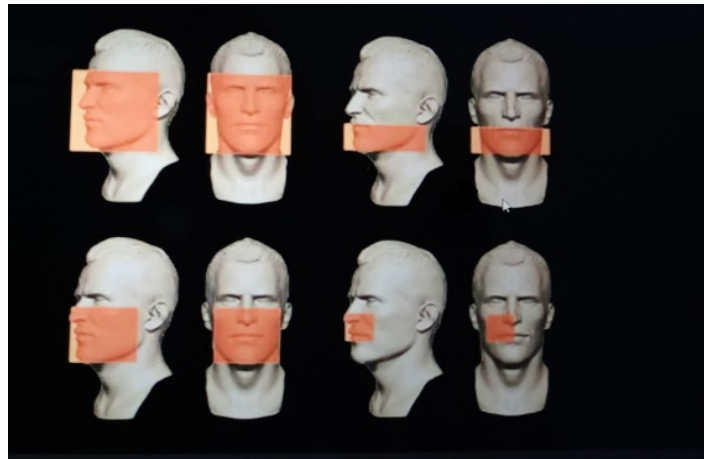


Figure 87 : Les champs d'exploration du cbct (Pauwels &al ,2018)

Les types de coupes en CBCT :

L'imagerie CBCT permet de reconstruire plusieurs types de coupes qui sont essentielles pour le diagnostic et la planification thérapeutique. On distingue principalement :

Coupe axiale : Correspond à une coupe horizontale du volume imagé.

Permet d'évaluer les structures osseuses, les sinus, le palais, et l'anatomie radicaire.

Utilisée pour l'analyse des lésions osseuses et la planification implantaire[61].

Coupe coronale : Coupe verticale perpendiculaire au plan sagittal, divisant le crâne en parties antérieure et postérieure. Permet d'évaluer l'épaisseur osseuse, les rapports entre les dents et les sinus maxillaires, ainsi que les pathologies dentaires et sinusiennes[61].

Coupe sagittale : Coupe verticale parallèle au plan médian, divisant le crâne en parties droite et gauche. Essentielle pour analyser la hauteur osseuse, l'inclinaison des dents, et les rapports entre les structures osseuses et les tissus mous[61].

Coupes obliques et reconstructions panoramiques : Les reconstructions panoramiques sont réalisées en fonction de l'arcade dentaire pour visualiser l'ensemble de la dentition sur un seul plan. Les coupes obliques peuvent être ajustées pour suivre le trajet des racines dentaires ou d'autres structures anatomiques spécifiques[61].

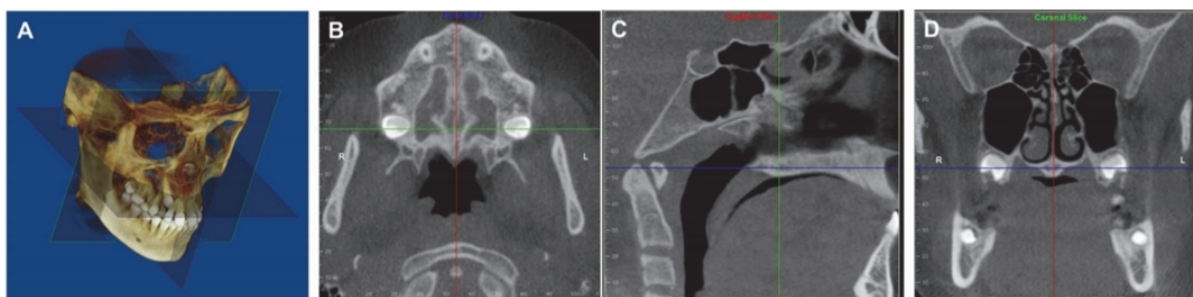


Figure 88 : Illustration des différents modes d'affichage des données CBCT

A : volume entier, B : coupe transversale/axiale, C : coupe sagittale, D : coupe frontale/coronale Scarfe& Farman, 2008 (234)

3. Les principales différences techniques entre un CôneBEAM et un scanner[62]

Tableau 2: Les principales différences techniques entre un Cône BEAM et un scanner

| Scanner | CôneBEAM |
|--|---|
| Faisceau de rayons X aplati (en éventail) | Faisceau de rayons X ouvert conique |
| Capteur de forme globalement longiligne | Capteur plan |
| Acquisition nécessitant de multiples rotations autour du patient | Acquisition rapide nécessitant une rotation unique |
| Forme générale des appareils (position allongée obligatoire) | Forme générale se rapprochant de l'OPT, le patient est debout |
| Voxel parallélépipède rectangle : Volume anisotrope | Voxel cubique : Volume isotrope |
| Irradiation +++ | Irradiation + |
| Possibilité d'injection de produit de contraste | Impossibilité d'injection du produit de contraste |

4. Avantages du Cône BEAM comparé au scanner :

– Confort pour le patient

L'acquisition est plus simple, plus rapide et plus confortable pour le patient qui n'est pas obligé d'être en position allongée mais plutôt debout ou assis comme pour le cliché panoramique. Une seule rotation de l'appareil est effectuée autour du patient.

– Dosimétrie et irradiation

A l'inverse du scanner, le CôneBEAM est considéré comme une technique « low dose », permettant de balayer en un seul passage l'ensemble du volume à explorer, en étant moins irradiant que la tomodensitométrie classique [62].

Le CBCT délivre une dose de radiation ionisante jusqu'à 6 fois plus faible qu'un même examen réalisé par scanner [62].

le CBCT permet de localiser le champ d'examen sur la zone à étudier (un secteur dentaire, une arcade complète), évitant ainsi d'irradier inutilement les autres parties du crâne[62].

– **Variétés d'images, résolution spatiale et netteté**

Le CBCT permet d'obtenir différentes vues sur une même image, à savoir des coupes frontales, sagittales, coronales et obliques.

Le CôneBEAM produit des voxels isotropiques de 500µm à 75µm avec un ratio de grossissement de 1 :1. Cela permet d'affiner l'analyse des structures osseuses et dentaires ainsi qu'un fort pouvoir de résolution dans les différents plans de l'espace similaire voire supérieur à celui du scanner.

– **Sensibilité aux artefacts**

Le CôneBEAM est moins sujet aux artefacts métalliques surtout au niveau radiculaire que le scanner.

– **Coût**

Le CBCT est nettement moins coûteux que le scanner

5. Les indications du Cône BEAM :

L'évaluation de la position et des rapports anatomiques des dents de sagesse[60,63].

Le repérage des pathologies endodontiques (lésions d'origine endodontique) :il est utilisé pour évaluer les morphologies canalaires , les résorptions externes ou internes ,l'étendue des lésions inflammatoires péri apicales d'origine endodontique, rechercher un canal non traité ou encore la densité et le type de matériau utilisé dans l'obturation[63].

Les traumatismes maxillo-faciaux type fractures alvéolo-dentaires et maxillaires (hors traumatismes maxillo-faciaux de grande étendue par la taille du champ)[63].

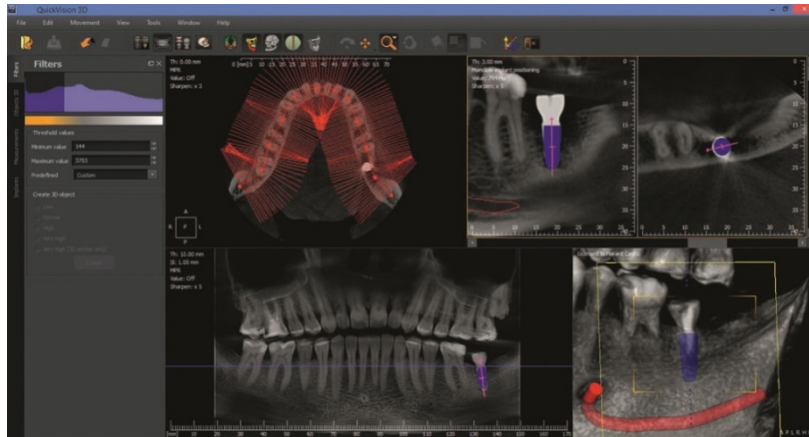


Figure 89 : Planification implantaire numérique avec Quick Vision 3D

L'implantologie : il est utilisé pour la planification de guide implantaire ou encore l'étude des structures anatomiques adjacentes aux sites implantaires jusqu'à l'élaboration de la solution prothétique. L'intérêt du CBCT en implantologie se porte sur l'évaluation du volume osseux ainsi que sa densité relative[63].

- la visualisation Des pathologies sinusiennes (sinusite d'origine dentaire ou non dentaire)[63].
- la visualisation Des pathologies tumorales et kystiques intra-osseuses[63].
- la visualisation Des pathologies articulaires des articulations temporo-mandibulaires[63].
- la visualisation Des pathologies congénitales malformatives comme les fentes labio-alvéolo-palatines[45,63].
- Pathologies parodontales (18).

En orthopédie dentofaciale cette technique trouve ses premières indications dans l'analyse des dents surnuméraires et des dents incluses. Elle permet d'objectiver les morphologies dentaires avant éruption, les axes dentaires des dents incluses, leurs relations avec les structures adjacentes, les résorptions susceptibles d'être induites par effet de masse ou les ankyloses dentaires [45].

- la visualisation Des pathologies orthodontiques (dysmorphies et anomalies des bases osseuses)[63].
- Diagnostic des asymétries et analyses 3D
- Chirurgie ortho gnathique guidée.

Ancrages osseux temporaires : il permet l'évaluation pré et post opératoire de la pose des minivis dans les zones à risques anatomiques, il permet désormais de faire une planification numérique avec réalisation de guides chirurgicaux et d'appareillages individualisés [45].

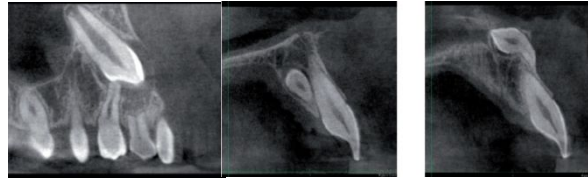


Figure 90 : Dent incluse au CBCT et dent surnuméraire

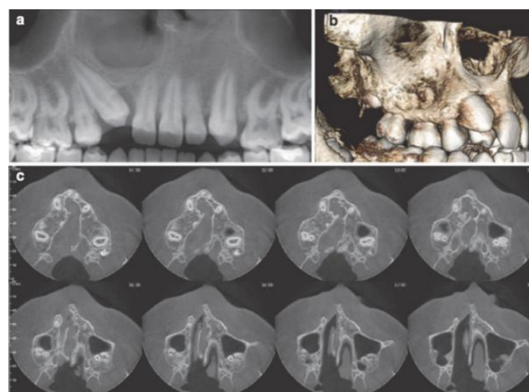
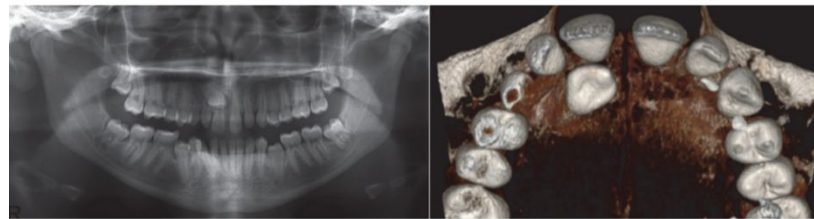


Figure91 : Panoramique reconstruite (a), rendu de surface en vue latérale droit (b) et images axiales séquentielles (c) d'un patient présentant une hypoplasie maxillaire avec déficience transversale et fente unilatérale droite complète et une mésioposition du secteur droit. Scarfe & al, 2018 (68)

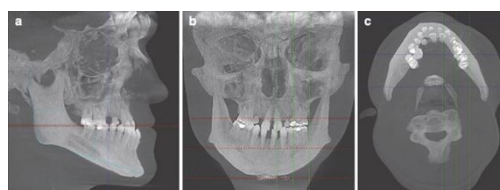
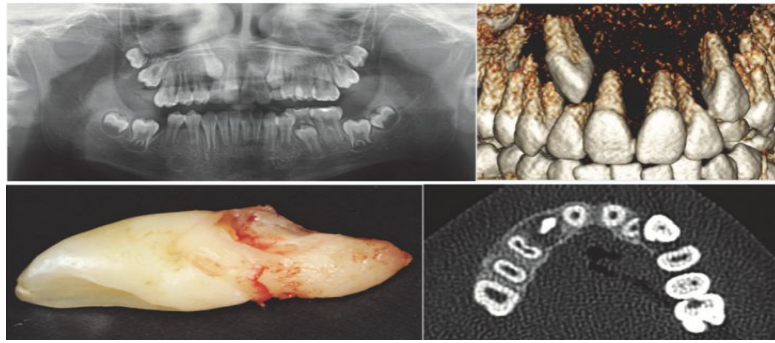
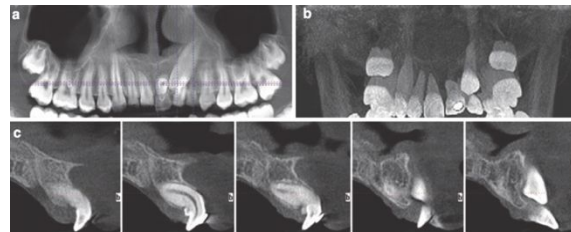


Figure92 :

Visualisation en mode MIP, d'un patient adulte présentant une rétrognathie maxillaire associée à une latéromandibulie droite entraînant une occlusion inversée antérieure et latérale droite. Maeda et al, 2006

**Figure93 :**

Intérêt du CBCT dans le diagnostic d'une résorption radiculaire sur la dent 22. Le Gall & al, 2021

**Figure94 :**

Panoramique reconstituée (a), projection frontale à intensité maximale (b), et l'images séquentielles en coupes sagittales de 1 mm d'épaisseur (c) : l'imagerie explique l'échec du mouvement orthodontique de l'incisive centrale maxillaire gauche par le diagnostic d'une dilacération coronoradiculaire sévère au milieu de la racine de cette dent empêche tout mouvement et Alignements contrôlés.

**Figure95 :**Réalisation numérique, impression et utilisation du guide chirurgical.

Qiu & al

6. Limites de Cbct :

Cette technique présente cependant des limites comme un coût important ou la nécessité de formation complémentaire afin d'être apte à l'interprétation de ce type de clichés [63].

On remarque aussi la présence d'artefacts radiographiques (métalliques ou non) il y a un phénomène de durcissement de rayon au niveau des structures métalliques («BEAMhardening» ou «cupping ») et des pâtes d'obturation endodontique, aujourd'hui compensé par différents systèmes de limitation comme l' algorithme M.A.R.S(MetallicArtefactsReduction Software),il détecte les éléments métalliques présents dans la cavité buccale et acquiert ainsi de manière différente les données sans pour autant modifier la résolution spatiale de l'image, il supprime ainsi les bandes d'ombres et les stries autant que possible[63].

De plus, le contraste des tissus mous est de faible qualité par rapport à d'autres techniques[63].

Chapitre X

Echographie

1. Définition :

Contrairement à la radiographie classique qui utilise les rayons x donnant des images fixes ,l'échographie est une technique d'imagerie médicale par réflexion et non une image par transmission : laréflexion du faisceau ultrasonore se fait sur des interfaces constituées par des tissus ayant des impédances acoustiques différentes ; l'échographie est ainsi une image acoustique d'un organe qui utilise des ondes sonores, entre **2-15 MHz**[64].

Elleconsisteà envoyer ces ondes dans le corps et analyser comment elles sont transmises ou réfléchies par les organes.

L'échographie repose sur un phénomène physique qu'on appelle l'écho, qui est déjà utilisé dans la nature par des espèces comme les dauphins et les chauves-souris, ils l'utilisent pour détecter ce qu'il y a dans leur environnement comme obstacles en se déplaçantpour chasser dans l'obscurité, elles émettent des ultrasons par leur bouche ou leur nez qui se propagent dans l'air, lorsqu'elles rencontrent un objet (insecte, mur, etc..) une partie des ondes est réfléchié. Les chauves-souris captent les échos avec leurs oreilles très sensibles, leur cerveau analyse le temps de retour et l'intensité de l'écho pour déterminer la position, la taille et même le mouvement de la cible[65].

2. Principe d'émission-réception :

Il repose sur l'envoi d'une onde (sonore, électromagnétique, ultrasonore, etc.) qui se propage dans un milieu, interagit avec son environnement (réflexion, diffraction, absorption) et revient vers la source où elle est captée et analysée [65].

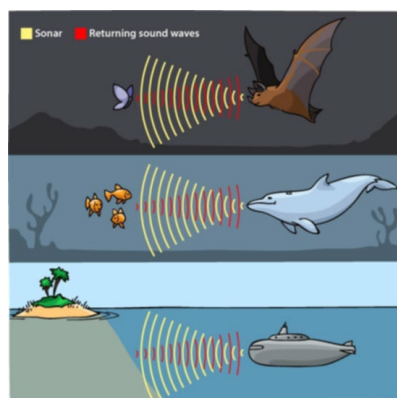


Figure 96 : Le phenomene d'echo utilisé par les dauphins

Un son est une onde mécanique qui est définie par trois paramètres physique[64] :

- Une longueur d'onde λ (la distance que parcourt l'onde pour effectuer un cycle complet.)
- Le temps périodique T (temps que met cette onde pour effectuer un cycle complet.)
- La fréquence F (nombre de cycles que va effectuer l'onde en une période donnée.)
- La longueur d'onde est inversement proportionnelle à la fréquence.

Les ultrasons : L'échographie utilise des ondes sonores à haute fréquence (ultrasons), inaudibles pour l'oreille humaine. Ces ondes sont émises par une sonde, un petit appareil tenu à la main par le médecin[64].

La fréquence des ondes acoustiques va permettre de les classer en : infrasons, sons audibles et ultrasons.

En échographie médicale on utilise les ultrasons qui possèdent une fréquence F élevée donc une longueur d'onde λ petite afin d'explorer à une petite distance des structures de petites dimensions[64].

Échos : Lorsque les ultrasons rencontrent une structure dans le corps (un organe, un tissu, un vaisseau sanguin), ils sont en partie réfléchis, créant des échos.

Formation de l'image : La sonde capte ces échos, et un ordinateur les transforme en images en temps réel, qui s'affichent sur un écran.



Figure 97 : Appareil d'échographie médicale 1. Les sondes, 2. Système de visualisation, 3. Gel pour échographie, 4. Console de commande, 5. Console d'acquisition, 6. Imprimante

3. Déroulement d'une échographie :

Le patient est généralement allongé sur une table d'examen.

Un gel est appliqué sur la peau pour faciliter le passage des ultrasons.

Le médecin déplace la sonde sur la zone à examiner.

Les images s'affichent en temps réel sur un écran.[64]

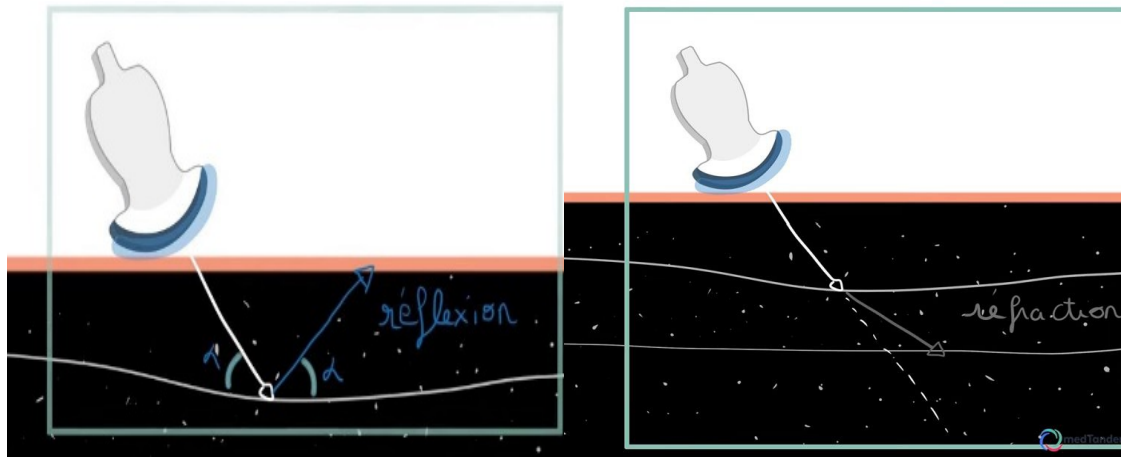
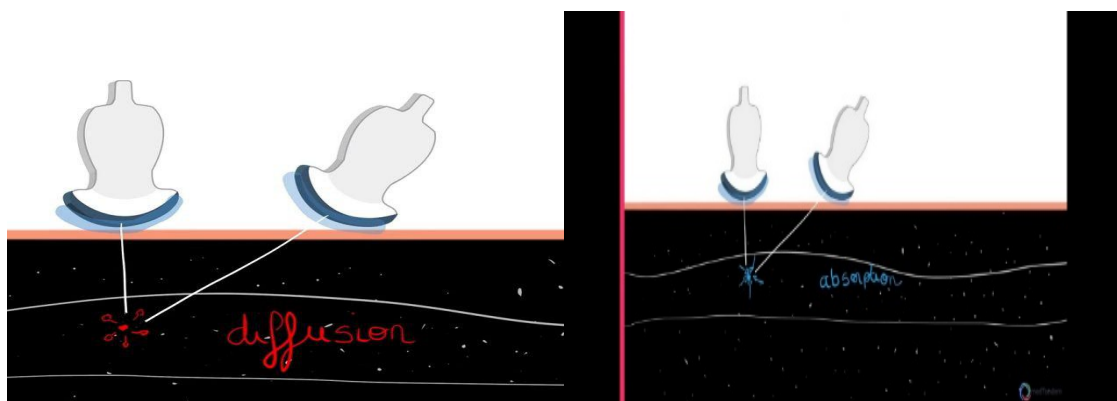


Figure A

Figure B



C

D

Figure 98 : Principe de l'échographie

A -principe de réflexion : il repose sur le fait qu'une onde sonore se propage dans un milieu (comme l'air) et se réfléchit lorsqu'elle rencontre un obstacle (comme un mur ou une montagne). Cette onde réfléchie revient alors vers la source avec un angle équivalent à l'onde incidente[64].

B -La réfraction lorsque l'onde passe d'un milieu à l'autre avec des vitesses différentes l'onde est déviée [64].

C-La diffusion en échographie est la déviation des ondes ultrasonores dans plusieurs directions lorsqu'elles rencontrent de petites structures dans les tissus. Elle contribue à

l'atténuation du signal mais permet aussi de créer une image texturée utile au diagnostic. Ce phénomène varie selon la nature des tissus, aidant à différencier les tissus sains des tissus pathologiques[64].

D-Les ondes peuvent être **absorbé** par les tissus par des phénomènes de friction interne lors d'oscillations des molécules[64,65].

4. Principe de fonctionnement de l'échographie :

L'appareil échographique utilise une sonde qui contient un cristal piézoélectrique qui transforme l'énergie électrique en énergie mécanique. Lorsqu'un courant électrique traverse ce cristal, il vibre et émet des ondes ultrasonores. Les ultrasons traversent les tissus du corps et sont réfléchis différemment selon la densité des structures qu'ils rencontrent. Les ondes réfléchies retournent à la sonde où elles sont converties en signaux électriques par le cristal piézoélectrique. L'échographe analyse ces signaux pour reconstruire une image en niveaux de gris sur un écran. L'image échographique est affichée en temps réel ce qui permet d'observer le mouvement des organes [65].

L'échographie se base sur la propagation des ultrasons et sur leur comportement lors de leur passage d'un milieu à un autre[64].

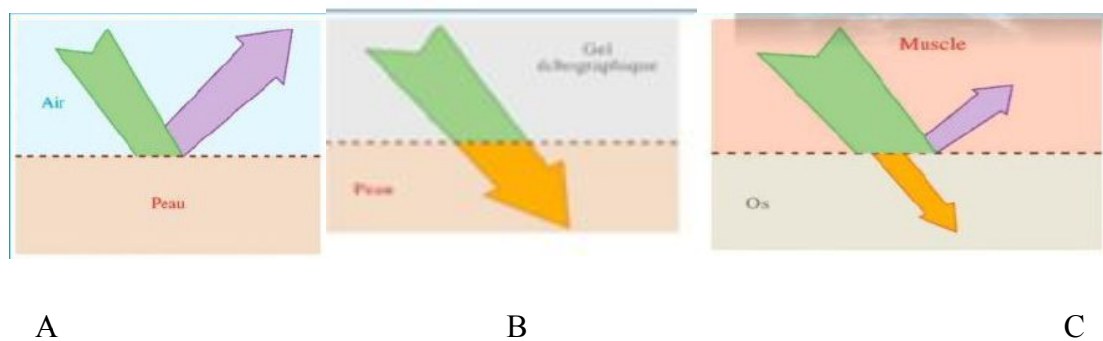


Figure 99 : Principes de l'échographie

A -une onde ultrasonore qui se propage dans l'air est presque totalement réfléchi lorsqu'elle arrive sur la peau, le codage sera blanc [65].

B -si l'onde ultrasonore passe de l'eau ou du gel échographique va perdre en énergie on dit que l'énergie est atténuée[65].

C -Si l'onde ultrasonore passe du muscle dans l'os le codage sera gris car cette onde est en partie réfléchi[65].

5. Types d'échographie :

- **Échographie 2D (bidimensionnelle)** : C'est la forme la plus courante, produisant des images en coupes des organes.
- **Échographie 3D (tridimensionnelle)** : Elle permet de reconstruire des images en volume, offrant une meilleure visualisation des structures. Elle est particulièrement utile en obstétrique pour visualiser le fœtus[64].



Figure 100 : Image échographique 3D D' un fœtus ayant une fente labiale unilatérale gauche[66].

- **Échographie Doppler** : Elle mesure la vitesse et la direction du flux sanguin, permettant d'évaluer la circulation dans les vaisseaux. Lorsqu'une sonde émet des ondes ultrasonores à haute fréquence dans le corps, ces ondes sont réfléchies par les cellules sanguines en mouvement. Le changement de fréquence entre les ondes émises et les ondes réfléchies (décalage Doppler) dépend de la vitesse et de la direction du flux sanguin. Cette information est ensuite analysée pour produire des images ou des graphiques représentant le mouvement du sang[64,67].

Doppler couleur : Le flux sanguin est codé en couleurs, facilitant la visualisation des artères et des veines[64,68].

Doppler pulsé : Il permet de mesurer la vitesse du flux sanguin à un endroit précis[64,67].

Doppler continu : Il mesure la vitesse moyenne du flux sanguin sur toute la longueur du faisceau ultrasonore[67].

Échographie endoscopique : Une petite sonde est fixée à un endoscope, permettant d'examiner les organes internes de plus près, comme l'œsophage, l'estomac ou le rectum.

- **Échographie de contraste** : Un produit de contraste à base de microbulles est injecté pour améliorer la visualisation des vaisseaux sanguins et des tissus.

L'échographie 4D repose sur le même principe que l'échographie 3D. Lors de l'examen, le praticien pourra montrer une image précise de l'enfant dans son ensemble. La différence entre ces deux types d'échographies est que l'échographie 3D est une image statique du bébé tandis qu'avec l'échographie 4D, vous obtenez une vidéo de votre enfant[69].



Figure 101 : Fente labiale sur une échographie[66]

6. Applications de l'échographie en odontologie :

- **Imagerie des glandes salivaires :** des calculs salivaires (lithiases), des inflammations (sial adénites), des tumeurs ou des kystes[70].
- **Imagerie des tissus mous cervico-faciaux :** examiner les tissus mous du cou et du visage, tels que les ganglions lymphatiques, les muscles ou les vaisseaux sanguins. Diagnostiquer des infections, des tumeurs ou des anomalies vasculaires[70].
- **Imagerie de l'articulation temporo-mandibulaire (ATM) :** évaluer le mouvement du condyle mandibulaire, des luxations, des épanchements ou des anomalies du disque articulaire[70].
- **Guidage des procédures interventionnelles :** guider des procédures telles que des biopsies de glandes salivaires ou de ganglions lymphatiques, ou le drainage d'abcès[70].
- **Diagnostic de lésions péri-apicales**[70].

Dépistage prénatal des fentes labio palatine [66]

- **Échographie morphologique :** L'échographie morphologique, généralement réalisée entre **la 18e et la 22e** semaine de grossesse, est le moment clé pour le dépistage des fentes labiopalatines.

L'échographiste examine attentivement le visage du fœtus, en particulier la lèvre supérieure et le palais, à la recherche de signes de fente.

- **Évaluation de la gravité** :L'échographie peut aider à évaluer la gravité de la fente, en déterminant si elle est unilatérale (d'un seul côté) ou bilatérale (des deux côtés), et si elle affecte uniquement la lèvre ou également le palais[66].
- **Recherche d'autres anomalies** : Les fentes labiopalatines peuvent être associées à d'autres anomalies congénitales. L'échographie permet de rechercher d'autres malformations chez le fœtus[71].
- **Préparation des parents**
- **Planification de la prise en charge**

Le diagnostic prénatal permet de planifier la prise en charge de l'enfant dès la naissance, en organisant une équipe multidisciplinaire (chirurgien, orthodontiste, orthophoniste, etc.)[66].

Chapitre XI

L'IRM

1. Définition, généralités :

L'IRM est une technique diagnostique récente de radiologie médicale, non invasive, basée sur le phénomène physique de résonance magnétique nucléaire. Elle repose principalement sur les propriétés magnétiques des atomes d'hydrogène, très abondants dans le corps humain en grande partie sous forme d'eau. Il s'agit simplement d'observer la résonance magnétique nucléaire (RMN) des protons de l'eau contenu dans l'organisme, c'est-à-dire la réponse des noyaux soumis à un champ électromagnétique extérieur et à une excitation électromagnétique. L'IRM permet une étude morphologique et fonctionnelle des organes ainsi de connaître leur organisation tissulaire avec une résolution en contraste relativement élevée[7,72].

2. Rappels biophysiques :

Un courant électrique (déplacement d'électrons) dans un fil conducteur induit une force magnétique (ou champ magnétique). et parallèlement un champ magnétique variable peut générer un champ électrique, selon les lois de l'électromagnétisme. Ce phénomène est décrit par la loi de Faraday de l'induction électromagnétique, qui stipule qu'une variation temporelle du champ magnétique induit un champ électrique [7,71].

Les protons et les noyaux des atomes sont animés de mouvements complexes dont une rotation individuelle autour d'un axe passant par leur propre centre est le spin (tourner sur soi-même)[7,72].

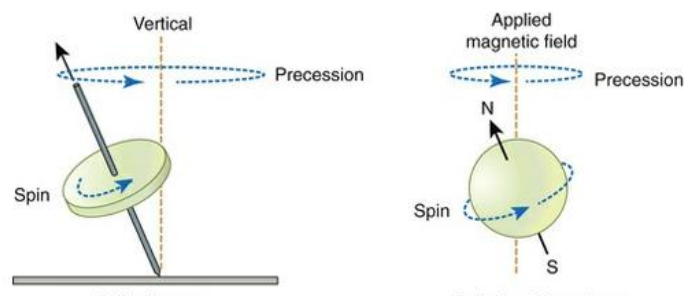


Figure 102 : Précession du Spin : Analogie entre un Toupie en Rotation et un Noyau d'Hydrogène en RMN

Les protons sont chargés positifs et leur nombre est égale au nombre d'électrons pour respecter la neutralité électrique de l'atome[72].

Une particule qui tourne induit autour d'elle un moment cinétique ou "spin" aligné sur son axe de rotation (vecteur S)[72].

Une charge tournante induit autour d'elle un champ magnétique appelé moment magnétique p [72].

Le principal noyau d'intérêt biologique possédant des propriétés magnétiques est le noyau d'hydrogène[72].

3. Appareillage :

Un gros électro-aimant : est disposé autour d'un cylindre dont la taille est suffisante pour qu'un patient puisse s'y glisser. Il est entouré de 20 à 30 kilomètres de fils hélicoïdaux faits de matériaux super conducteurs qui n'offrent aucune résistance à l'électricité. Ainsi, lorsqu'un courant électrique est introduit dans les fils, il se maintient à pleine vitesse pendant des années sans qu'il soit nécessaire d'ajouter plus d'influx électrique. Plus le nombre d'enroulements est grand, plus le champ magnétique est puissant. La force du champ magnétique se mesure en Tesla (T)[73].

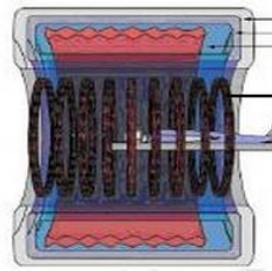


Figure 103 : Description du bobinage supra conducteur[74]

Les appareils d'imagerie clinique disposent d'aimants dont le champ magnétique varie entre 1, 5 T et 7 T. La puissance de ces aimants est telle que tout objet métallique pénétrant le champ électromagnétique est immédiatement attiré[73].

L'ensemble est placé dans une armure en acier ou en cuivre qui porte le nom de cage de Faraday, laquelle bloque les signaux de radiofréquence des stations de radio locales et des postes de télévision qui peuvent interférer avec les signaux RM [73].

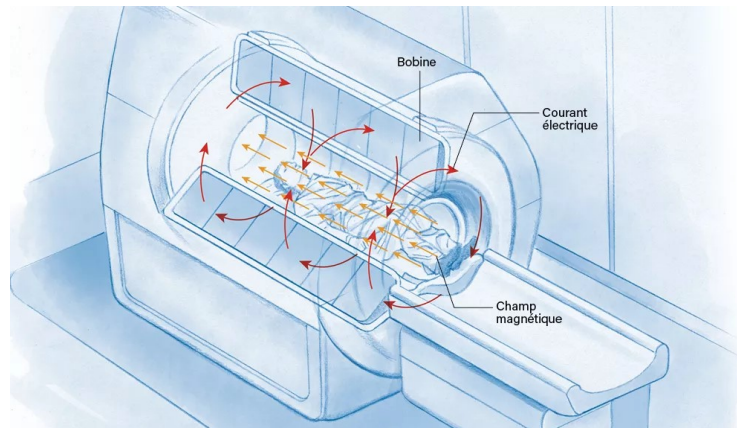


Figure 104 : Génération du Champ Magnétique dans une IRM : Rôle de la Bobine et du Courant Électrique

Un émetteur-excitateur : par impulsion brève, fournit le supplément d'énergie nécessaire pour exciter les protons et les faire entrer en résonance magnétique[73].

L'antenne réceptrice : capte les micro signaux émis par les protons lors de la relaxation[73].

4. Principe général de l'IRM :

L'IRM nécessite que le patient soit soumis simultanément à :

1. Un champ magnétique principal B_0 constant (de 0.003 à 31)
2. Une onde radio de durée brève appelée impulsion de radiofréquence
3. Des champs magnétiques variables, on parle de gradients de champs magnétiques d'intensité beaucoup plus faible que B_0 [72,75].

4.1. La résonance magnétique nucléaire :

On utilise le noyau de l'atome d'hydrogène H qui contient un seul proton, celui-ci tourne sur lui-même, c'est le spin et possède donc une propriété d'aimant)[72,75].

Dans un environnement naturel, les moments magnétiques nucléaires pointent dans toutes les directions de manière aléatoire dans le désordre. L'aimantation totale M est nulle $M=0$, donc dans la nature la matière n'est pas aimantée, il faut l'action d'un aimant puissant[72].

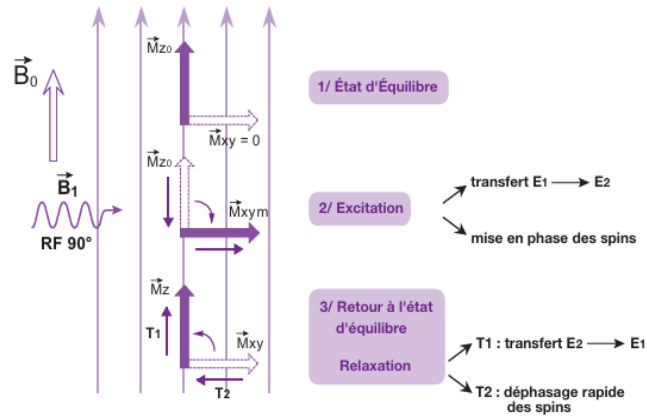


Figure 105 : Principe de L'IRM

4.1.1. Magnétisation : On applique un champ magnétique intense B_0 uniforme et constant sur le tissu étudié, ainsi les protons vont être orientés selon la direction de B_0 , on distingue alors deux populations : l'une orientée dans le sens de B_0 (parallèle) et l'autre dans le sens contraire à B_0 (antiparallèle) [7,72,75].

Cette petite différence suffit largement à produire un signal RMN à l'échelle tissulaire. L'aimantation totale du tissu biologique n'est plus nulle (M_0), le tissu est donc aimanté [7,72,75].

Si on ne fait rien le tissu sera juste aimanté, hors pour faire l'IRM il faut mettre en évidence les propriétés magnétiques des tissus. Il faut donc passer à la résonance [7,72,75].

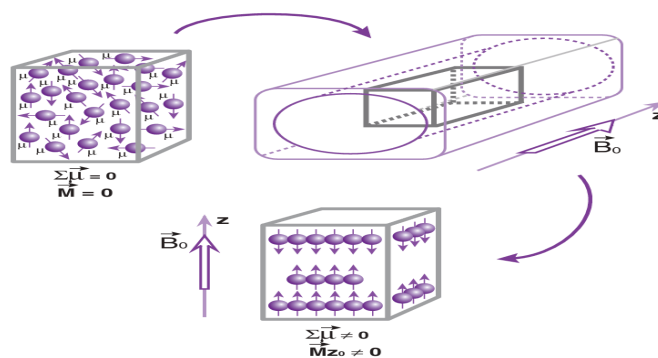
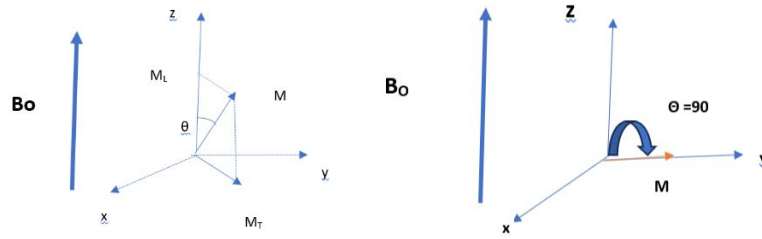


Figure 106 : Magnétisation

4.1.2. Résonance: On envoie une onde radio fréquence ou impulsion radio qui est une impulsion d'excitation de durée brève pour exciter le système et entraîner une perturbation de l'état d'équilibre magnétique instauré [7,72,75].

Et à l'arrêt de l'impulsion. L'aimantation est inclinée par rapport B_0 d'un angle θ



M est vertical à l'équilibre et après la résonance M est incliné d'un angle θ . M_L (projection longitudinale) et M_T (projection transversale) ne sont pas nuls. La valeur de l'angle θ peut être prédite on peut jouer sur la durée de l'impulsion et s'arranger pour avoir une impulsion de 90° par exemple, souvent utilisé [7,72,75]

L'aimantation totale M juste après une impulsion 90° M est dans un plan horizontal par rapport à B_0 [7,72,75].

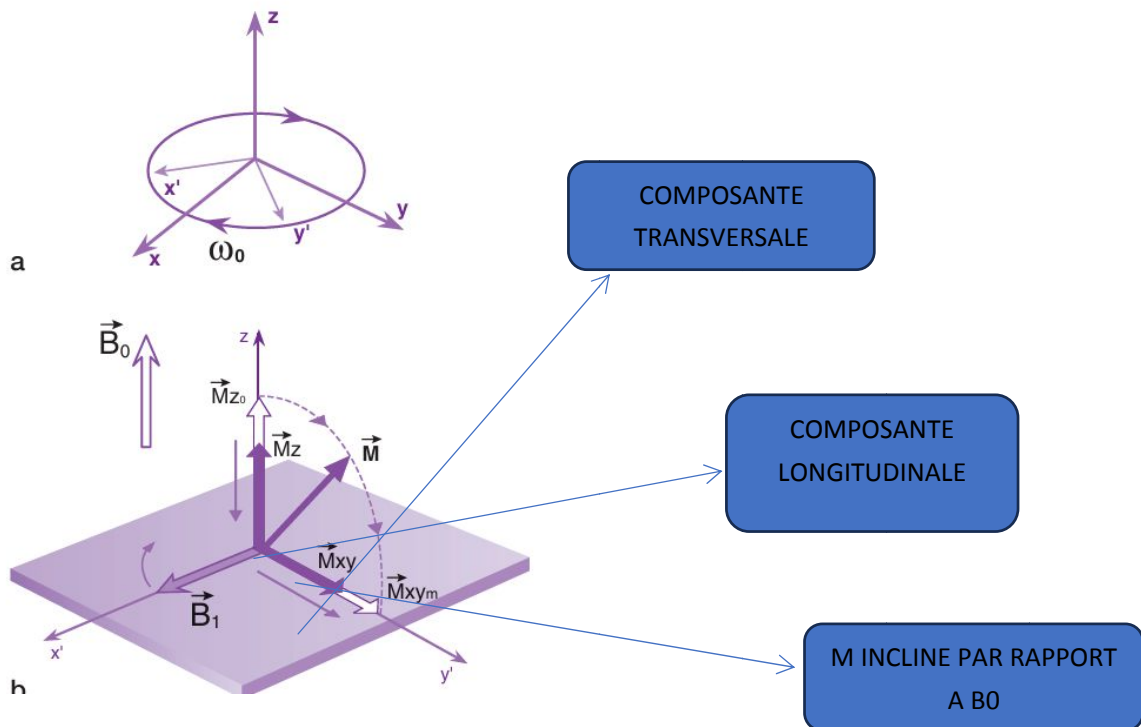


Figure 107 : La Résonance

4.1.3. Relaxation: Dès la fin de l'excitation (impulsion RF), M va retourner à l'équilibre, c'est le phénomène de relaxation et caractérisé par les deux temps T1 et T2 [7,72,75].

Pour une impulsion de 90° , M est à l'horizontale et ensuite petit à petit va aller à la verticale en se rapprochant de B_0 [7,72,75].

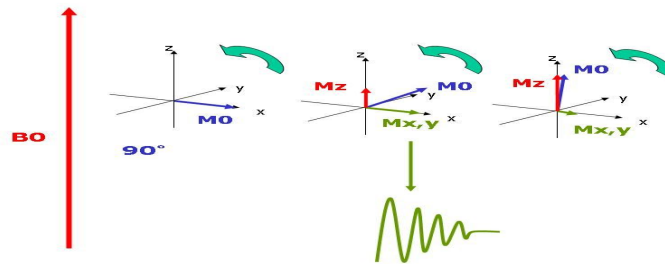


Figure 108 : Relaxation

- **Relaxation longitudinale ou T1:** La repousse de l'aimantation longitudinale se fait selon une exponentielle croissante où la constante de temps T1 (exprimée en ms) est caractéristique d'un tissu donné[7,72,75].
- **Relaxation transversale ou T2:** La décroissance rapide de l'aimantation transversale se fait selon une exponentielle décroissante où la constante de temps T2 (exprimée en ms) est caractéristique d'un tissu donné (c'est le déphasage rapide des spins)[7,72,75].

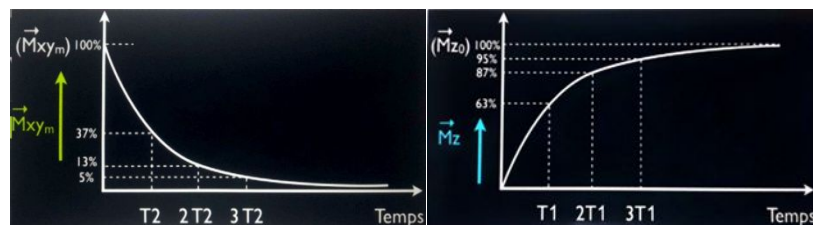


Figure 109 : Relaxation longitudinale et transversale

Le T1 et T2 varient avec la structure moléculaire ainsi que l'état solide ou liquide de la matière[7,72].

Le T1 est plus long dans les liquides par rapport aux solides, il est court dans les tissus gras[7,72].

Ces temps de relaxation T1 et T2 reflètent la composition moléculaire des tissus car ils varient avec le type de noyau et l'environnement électronique dès ce dernier et le type de liaison électronique[7,72].

Ce phénomène de relaxation induit un signal électrique qui sera recueilli par l'antenne réceptrice et son intensité correspondra à une teinte sur l'échelle de gris [7,72].

Le blanc sera le cas du signal élevé ce qu'on appelle un hypersignal et le gris foncé ou noir sera le cas d'un signal faible ce qu'on appelle un hyposignal. Cela va permettre d'avoir une image avec un niveau de contraste permettant de reconnaître l'anatomie du tissu étudié [7,72].

La densité en protons des tissus, qui correspond à la densité tissulaire en hydrogène plus le tissu est riche en hydrogène plus le signal est intense alors image blanche [7,72].

4.2. Formation de l'image dans l'Imagerie par Résonance Magnétique IRM

1. Acquisition du Signal IRM :

Le signal IRM est recueilli principalement par les bobines de réception, qui agissent comme des antennes sensibles détectant le signal émis par les protons après leur excitation par une impulsion de radiofréquence (RF) [72].

Une fois capté par ces bobines, le signal est converti en une impulsion électrique, amplifié pour réduire le bruit, puis numérisé sous forme de données brutes et stockés dans un plan de Fourier ou espace des fréquences spatiales k ou, plus simplement « espace des k », qui est une matrice 2D où sont stockées, sur k rangées et k colonnes, les données brutes échantillonnées d'une image IRM en fonction de leur codage en phase et en fréquence [72].

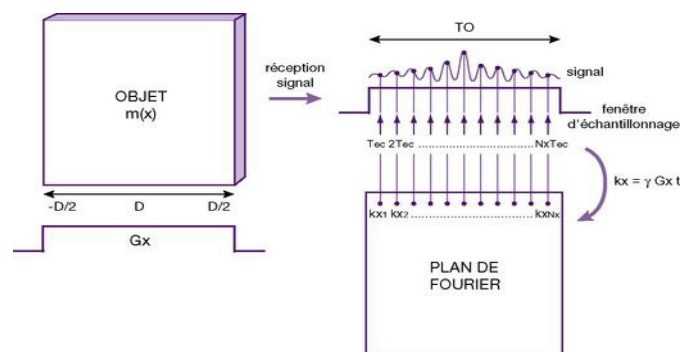


Figure 110 : Principe de formation de l'image en IRM

4.3. Reconstruction de l'Image IRM :

Les données brutes du k -espace doivent être transformées en image exploitable :

- Un algorithme mathématique (transformée de Fourier inverse) est appliqué pour convertir ces signaux de fréquence en une image spatiale [72].

- Chaque point du k-espace contribue à l'image finale en termes de contraste et de résolution[72].

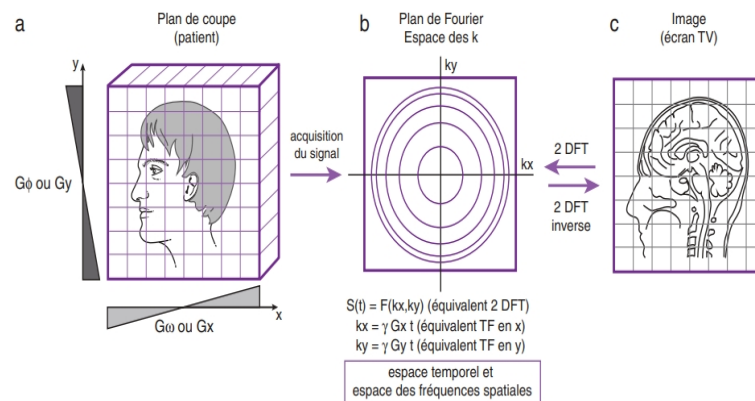


Figure 111 : Formation de l'image à partir du plan de coupe

4.4. Affichage et Post-Traitement de l'Image :

Une fois reconstruite, l'image IRM est affichée sur une station de travail et enregistrée dans un format DICOM (standard pour l'imagerie médicale).

Manipulations possibles : Navigation dans les différentes coupes (axial, sagittal, coronal), ajustement des contrastes (fenêtrage T1, T2, FLAIR, etc.), Reconstruction 3D pour certaines analyses spécialisées.

5. Intérêt de l'IRM en orthopédie dento faciale :

1-Troubles de l'Articulation Temporo-Mandibulaire (ATM) :

L'IRM est l'examen de référence pour explorer l'ATM, surtout les tissus mous[76,77].

Utilisations :

- Étude du disque articulaire (position, perforation, déplacement).
- Diagnostic de synovite, épanchements articulaires, ou arthrose.
- Analyse des muscles masticateurs (myalgie, spasmes, hypertrophie).
- Elle est désormais la référence en matière d'imagerie de l'ATM car elle permet de voir la composante des tissus mous de l'articulation.

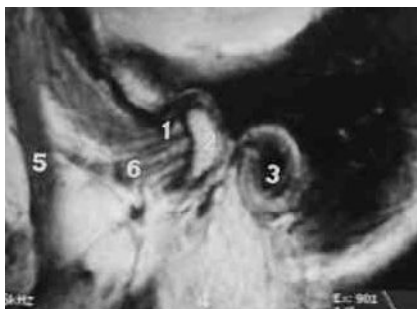


Figure 112 : Image caractéristique de coupe sagittale en IRM. Noter les différents signaux des structures anatomiques visibles : le disque (1) –le condyle (2) – conduit auditif externe (3) – parotide (4) -carotide externe (5) – muscle ptérygoïdien latéral (6).

2-Évaluation des tailles de l'hypo pharynx et de l'oropharynx :

L'IRM est utilisée pour obtenir la taille correcte de l'hypopharynx et de l'oropharynx et dans le diagnostic des maladies respiratoires telle que le syndrome d'apnée hyperpnée[77].

L'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) est de plus en plus utilisée en dentisterie en raison de sa capacité à fournir des images détaillées des tissus mous et durs sans recourir aux rayonnements ionisants. Contrairement à la radiographie conventionnelle ou au cône BEAM CT (CBCT), l'IRM permet d'examiner les structures dentaires et péri-dentaires avec un excellent contraste tissulaire[77].

Notamment en orthopédie dento-faciale cette technologie commence à trouver sa place offrant une alternative précieuse face aux examens radiologiques conventionnels.

Tableau 3: Les contre-indications de l'IRM

| Absolues | Relatives |
|---|---|
| Pace maker. Certaines valves cardiaques, stimulateurs cardiaque et défibrillateur automatique Interne Certains clips vasculaires neuro chirurgicaux. Corps étrangers métalliques oculaires. Pompes à perfusion implantable. | Clips vasculaires. Prothèses auditives. -Autres : Artéfacts (prothèses ostéo-articulaires). Claustrophobie. (IRM à champ fermé) Obésité 140 Kg Etat du patient. |

Remarque :

Effets des dispositifs orthodontiques sur la qualité des images IRM de la région cervico-faciale La présence de dispositifs métalliques au cours d'un examen d'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) peut induire des artéfacts, définis comme des altérations du signal se traduisant par des pixels ne reflétant pas fidèlement la réalité anatomique des structures observées. Ces artéfacts peuvent compromettre significativement la qualité diagnostique des images, en particulier lors de l'exploration des régions de la tête et du cou.

Dans ce contexte, les radiologues recommandent fréquemment la dépose des appareils orthodontiques fixes avant la réalisation de l'IRM. Toutefois, cette procédure présente plusieurs inconvénients : elle est chronophage, coûteuse, potentiellement inconfortable pour le patient, et peut entraîner une altération de la surface de l'émail dentaire.

L'évolution des matériaux utilisés en orthodontie a permis d'évaluer plus précisément leur comportement en environnement IRM, ce qui permet aujourd'hui d'adapter les indications de dépose en fonction de la nature des composants :

Les boîtiers orthodontiques en titane ainsi que les boîtiers en céramique munis d'une gorge métallique génèrent peu ou pas d'artéfacts. Leur dépose ne s'avère nécessaire que lorsque la région anatomique explorée est directement adjacente à l'appareillage, notamment dans le cas d'une imagerie centrée sur la cavité buccale.

Les fils de contention collés en acier inoxydable, quant à eux, entraînent une dégradation localisée de la qualité d'image, principalement limitée à la cavité orale. Leur retrait est donc recommandé uniquement si la zone d'intérêt radiologique concerne cette région.

En revanche, les boîtiers en acier inoxydable produisent des artéfacts majeurs, altérant sévèrement l'ensemble des images, indépendamment de la localisation anatomique étudiée. De surcroît, leur interaction avec le champ magnétique peut induire un risque élevé de décollement. Par conséquent, ces dispositifs doivent systématiquement être retirés avant tout examen IRM de la tête et du cou.

Ainsi, la décision de dépose des appareils orthodontiques doit être guidée par une analyse combinée de la localisation de la région explorée et de la nature des matériaux utilisés, afin d'optimiser la qualité des images tout en minimisant l'inconfort et les risques pour le patient.

Chapitre XII

La Radioprotection

1. Définition :

La radioactivité est un phénomène naturel lié à la structure de la matière. Tous corps (gaz, liquides, solides) sont composés d'atomes. Certains de ces atomes sont instables et émettent des rayonnements, il peut s'agir de :

- Substances radioactives naturelles (uranium, radium, radon).
- Substances radioactives artificielles (californium, américium, plutonium.).

Ces atomes instables (radioéléments) se transforment spontanément en perdant de l'énergie, et reviennent ainsi progressivement à un état stable ils émettent alors des particules, dont le flux constitue un rayonnement porteur d'énergie, spécifique du radioélément qui l'émet. Ces rayonnements sont dits ionisants car, par leur interaction avec la matière, ils peuvent l'ioniser c'est à dire lui enlever un ou plusieurs électrons. Le pouvoir d'ionisation d'un rayonnement dépend de sa nature (alpha, beta, gamma, X, neutronique) et des énergies de chacune des émissions[10,78].

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

Figure 113 :Principales grandeurs et unités internationales utilisées dans le domaine des rayonnements ionisants [78]

- Classification des rayonnements ionisants :

- Le rayonnement alpha:formé de particules massives (des noyaux d'hélium), il ne parcourt que quelques centimètres dans l'air et peut être arrêté par une feuille de papier.

- Le rayonnement beta : formé d'électrons négatifs ou positifs, il parcourt quelques mètres dans l'air peut être stoppé par une paroi de bois ou de verre.
- Le rayonnement neutronique : formé de neutrons, il est stoppé par des matériaux denses, telle qu'une certaine épaisseur de béton.
- Le rayonnement X : formé de photons, des écrans de plomb sont nécessaires pour l'arrêter.
- Le rayonnement gamma : formé de photons, mais plus énergétiques que les X, il parcourt plusieurs centaines de mètres dans l'air ; des écrans épais de plomb ou de béton sont nécessaires pour l'arrêter.[23]

2. Effet biologique du rayonnement ionisant :

Effet direct ou dommage résultant de l'ionisation de macromolécules [10].

Effet indirect ou dommage résultant des radicaux libres produits par ionisation d'eau[10].

– Effet pathologique par effet direct :

Les photons des rayons X, ou électrons de haute énergie éjectés, ionisent et interagissent directement avec les macromolécules biologiques vitales telles que l'ADN, l'ARN, les protéines et les enzymes. Cette ionisation aboutit à la rupture des liaisons chimiques des macromolécules, qui deviennent des structures anormales, ce qui peut ensuite conduire à des réactions chimiques inappropriées. Les effets chromosomiques consécutifs des dommages directs peuvent inclure une incapacité à transmettre l'information, réplication anormale, mort cellulaire et dommages temporaires (l'ADN étant réparé avant de nouvelles divisions cellulaires)[10,79].

Si les rayonnements atteignent directement les cellules somatiques, les effets sur l'ADN (et par conséquent sur les chromosomes) pourraient résulter en une malignité radio-induite. Si le dommage atteint les cellules souches de la reproduction, la conséquence pourrait être une anomalie congénitale radio-induite[10,79].

– Effet pathologique par effet indirect :

L'action du rayonnement photonique est susceptible de donner lieu à la formation de substances incompatibles avec la vie cellulaire. Beaucoup de substances sécrétées par les

glandes, telles que les hormones, les enzymes, les inhibiteurs, sont rendues inefficaces par suite de modifications engendrées par les radiations ionisantes[10,79].

L'intégrité des tissus est perturbée par la formation, à leur niveau, de substances dues, le plus souvent à la radiolyse de l'eau qui constitue près de 80% du poids du corps. La majeure partie des interactions avec les rayonnements ionisants sont indirectes. En effet la radiolyse de l'eau entraîne la formation d'eau oxygénée qui altère les molécules et provoque la destruction cellulaire[10,79].

2.1. Classification des effets biologiques :

Les effets biologiques des rayonnements ionisants sont classés en deux principales catégories :

- Réactions tissulaires (effets déterministes).
- Effets stochastiques.
- **Réactions tissulaires (effets déterministes)** : Les effets non aléatoires, ou non stochastiques, déclenchés par la mort des cellules[10].

Ce sont des effets délétères non cancéreux atteignant le corps des personnes exposées. Ils vont aboutir avec certitude à des effets pathologiques à la suite d'une dose élevée de rayonnement. La sévérité de ces effets est proportionnelle à la dose reçue. Dans la plupart des cas, une dose seuil en dessous de laquelle il n'y aura aucun effet n'existe. Ils sont subdivisés en **Réactions tissulaires précoces** : apparaissant rapidement suite à l'exposition, comme un érythème tissulaire ou des mucosités. Réactions tissulaires retardées : apparaissant des mois ou des années suite à l'exposition, comme l'ostéoradionécrose[10].

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

Figure 114 : Effet déterministes décrits pour expositions à des rayonnements gamma ou x

– **Effets stochastiques :**

Les effets aléatoires, liés à des mutations Sont des effets qui peuvent se produire mais sans certitude. Ils ne concernent que certains individus au hasard et sont indépendants de la dose ; ils vont atteindre soit le sujet soit sa descendance[10].

Les effets stochastiques sont subdivisés en :

- Cancérogenèse.
- Effets héréditaires (effets génétiques).

Cancérogenèse : l'*International Commission on Radiological Protection* évoque une chance sur 20 000 de développer un cancer mortel tous les 1 mSv de dose efficace. En utilisant cette estimation, une évaluation large du risque émanant de divers examens d'imagerie peut être calculée[10].

Le risque dépend de l'âge, plus élevé pour les plus jeunes et plus faible pour les plus

| ! Coefficients multiplicateurs concernant le risque pour différentes classes d'âge fondés sur les recommandations européennes sur la radioprotection en radiologie dentaire de 2004 | |
|---|---|
| Groupe d'âge (années) | Coefficient multiplicateur pour le risque |
| < 10 | × 3 |
| 10-20 | × 2 |
| 20-30 | × 1,5 |
| 30-50 | × 0,5 |
| 50-80 | × 0,3 |
| 80+ | Risque négligeable |

Figure 115 : Coefficients multiplicateurs concernant les risques des différentes classes d'âge

| ! Estimation large du risque pour un patient adulte standard de 30 ans de développer un cancer léthal lié aux radiations ionisantes pour différents examens radiographiques odontologiques et médicaux | |
|--|---------------------------------------|
| Examens utilisant les rayons X | Estimation du risque de cancer léthal |
| Radiographie rétro-coronaire/ péri-apicale (70 kV, collimateur arrondi, film de sensibilité D) | 1 sur 1 000 000 |
| Radiographie rétro-coronaire/ péri-apicale (70 kV, collimateur rectangulaire, film de sensibilité F) | 1 sur 10 000 000 |
| Radiographie panoramique (moyenne) | 1 sur 1 000 000 |
| Cliché occlusal standard maxillaire | 1 sur 2 500 000 |
| Téléradiographie | 1 sur 5 000 000 |
| Radiographie du crâne (postéro-antérieure, PA) | 1 sur 1 000 000 |
| Radiographie du crâne (latéral) | 1 sur 1 250 000 |
| Thorax (postéro-antérieure, PA) | 1 sur 1 430 000 |
| Thorax (latéral) | 1 sur 540 000 |
| Scanner de la tête | 1 sur 14 300 |
| Scanner du thorax | 1 sur 3 000 |
| Scanner de l'abdomen | 1 sur 3 500 |
| Scanner de la mandibule et des maxillaires | 1 sur 80 000 à 1 sur 14 300 |
| Déglutition barytée | 1 sur 13 300 |
| Lavement baryté | 1 sur 9 100 |
| Tomographie volumique numérisée dento-alvéolaire (CBCT moyen champ) | 1 sur 2 000 000 à 1 sur 30 000 |
| Tomographie volumique numérisée (CBCT grand champ) cranio-faciale | 1 sur 670 000 à 1 sur 18 200 |

En effet, à tout âge, les risques sont légèrement plus élevés pour les femmes[10].

Doses de radiation émises pour l'imagerie dentaire courante varient beaucoup. Elles peuvent être d'environ 1,5 µSv pour les radiographies intra-orales et aller de 2,7 à 24 µSv pour les radiographies panoramiques. La fourchette des doses émises pour la tomographie volumétrique à faisceau conique (CBCT, CôneBEAMComputedTomography) peut être beaucoup plus importante : de 11 à 1073 µSv. Du fait de cette grande disparité, les dentistes doivent choisir leur matériel d'imagerie avec beaucoup de circonspection. Une attention toute particulière doit être apportée aux enfants car ils sont par nature plus sujets aux risques des

Figure 116 : Estimation du risque cancéreux chez l'adulte pour les différents examens radiologiques

radiations que les adultes. Cette déclaration de principe a pour objectif d'aider les dentistes à optimiser la protection et à préserver la valeur diagnostique de leurs radiographies tout en minimisant le risque d'exposition des patients, des opérateurs et du public. Des critères spécifiques de sélection ont été définis afin d'aider les dentistes à évaluer la nécessité des radiographies. Les radiographies pour les enfants doivent être faites judicieusement du fait d'une sensibilité aux radiations 32 fois supérieure à celle des adultes[10,79].

La radiographie en odontologie utilise de faibles doses de rayonnement et par conséquent, le risque d'effet stochastique, donc de générer un cancer, demeure très faible. Cependant, le nombre total de radiographies dentaires intra- et extra orales prises est très élevé ; On considère que le radiodiagnostic (médical et dentaire) est responsable d'environ 700 cas de cancer par an au Royaume-Uni dont environ 10 cas sont attribuables à l'imagerie odontologique, d'où le besoin de mesures pratiques de radioprotection[10].

– **Effets héréditaires (effets génétiques) :**

Les mutations résultent de toute modification soudaine d'un gène ou d'un chromosome. Elles peuvent être causées par des facteurs externes, comme les rayonnements, ou peuvent se produire spontanément. Les rayonnements orientés vers les organes reproducteurs peuvent endommager l'ADN du sperme ou des cellules ovulaires. Cela peut conduire à une anomalie congénitale chez les descendants d'une personne irradiée. Il est estimé qu'une dose aux gonades de 0,5–1 Sv doublerait le taux de mutation spontanée. Une fois encore, on considère qu'il n'y a pas de dose seuil[10].

– **Grossesse et Effets sur les enfants à naître :**

Le fœtus en développement est particulièrement sensible aux effets des rayonnements ionisants, en particulier au cours de la période de l'organogenèse (3–7 semaines après la conception). Les problèmes principaux sont : les anomalies congénitales ou le décès associés à de hautes doses de rayonnement ; le retard mental et la réduction du quotient intellectuel (QI) ; la genèse d'un cancer ou la cancérogenèse [10].

Cependant un cliché intra-buccal correspond à une dose d'entrée de 1.8 milli-gray tandis qu'un cliché panoramique expose à une dose de 3 à 5 milli grays [37], ce qui est très inférieur au seuil des 50 milli-grays en deçà duquel les risques mutagènes et neurologiques sont pratiquement nuls pour le fœtus. La Commission Internationale de Protection Radiologique (CIPR) a publié en 2000 une mise au point sur la grossesse et l'irradiation médicale (CIPR 84)]. Elle a défini avec clarté les niveaux de risque et la gestion des situations d'exposition radiologique des femmes enceintes. Il est clair en particulier qu'une dose-utérus inférieure à 50 milligrays n'entraîne ni risque malformatif, ni même de risque mutagène (cancers à distance) [10].

Bien que la dose de rayonnement délivrée à l'utérus lors d'une radiographie dentaire de routine soit minimale, le consensus général est d'éviter ces radiographies pendant la grossesse ou de les reporter après l'accouchement[10].

En odontologie, les quantités de doses utilisées habituellement sont relativement faibles et bien en dessous des doses seuils requises pour produire des réactions tissulaires (effets déterministes). Cependant, les effets stochastiques peuvent se développer à partir de la moindre radiation ionisante. L'imagerie odontologique n'implique généralement pas d'irradiation au niveau des organes reproducteurs. Par conséquent, les effets héréditaires liés à l'odontologie sont d'une importance très limitée et la principale préoccupation est celle de l'induction de cancer[10].

| Techniques | Dose efficace (µSv) ¹ |
|--|----------------------------------|
| Cliché rétro-alvéolaire/rétrocoronaire | 1-8 |
| Bilan rétro-alvéolaire (20 films) | 30-150 |
| Cliché occlusal maxillaire | 8 |
| Panoramique dentaire | 4-30 |
| Téléradiographie de profil | 2-3 |
| Tomographie (1 coupe) | 1-190 |
| Tomodensitométrie max. ou mand. | 75-100 |
| Tomodensitométrie du crâne | 400-1000 |
| Tomographie volumique « grand champ » ² | 70-550 |
| Tomographie volumique « moyen champ » ² | 70-550 |
| Tomographie volumique « petit champ » ² | 5-500 |

Figure 117 : les doses efficaces de différentes techniques radiologiques

3. Radioprotection :

C'est l'ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention dont le but principal est d'identifier, de prévenir et de limiter les risques sanitaires résultant des rayonnements ionisants quelles que soient leurs origines[10,78].

Principes fondamentaux de la radioprotection :

3.1. La justification : Toute activité entraînant une exposition aux rayonnements ionisants doit être justifiée par une analyse des avantages qu'elle procure[10].

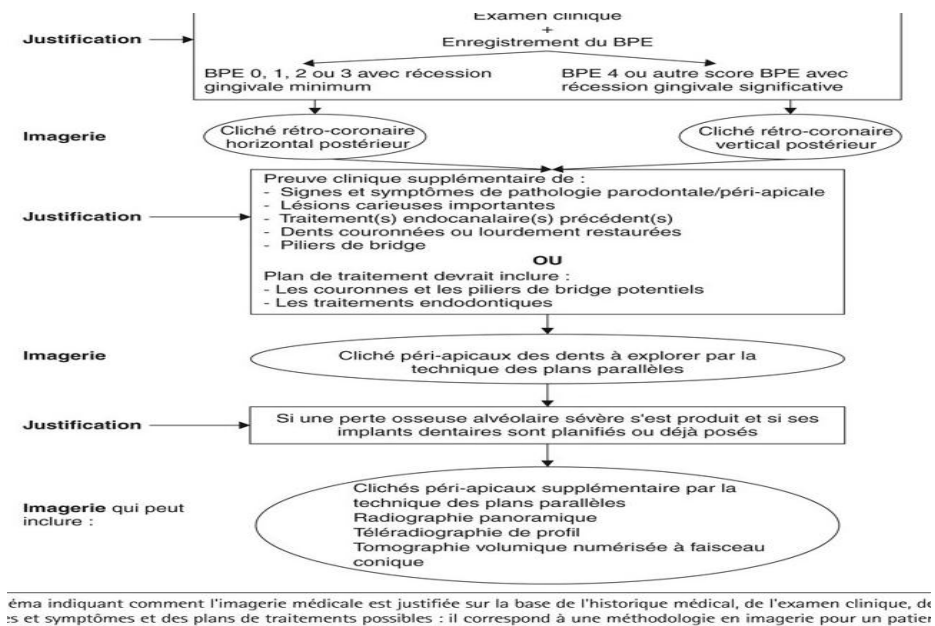


Figure 118 : Schéma indiquant comment l’imagerie médicale est justifiée il correspond à une méthodologie en imagerie pour un patient adulte denté ou partiellement denté issu de l’ouvrage sélection *Criteria for dental radiography* (3 Édition 3013) du FGDP (ROYAUME UNI)[10]

3.2. L’optimisation : Le niveau d’exposition des personnes aux rayonnements ionisants, doit être maintenu au niveau le plus faible qu’il est raisonnablement possible d’atteindre[10].

3.3. La limitation : Les expositions individuelles doivent être maintenues en dessous des limites pour lesquelles le risque est jugé acceptable[10].

Règles de radioprotection[10] :

- Le temps : minimisation du temps d'exposition.
- La distance : minimisation du débit de dose absorbée : la distance avec la source.
- Les écrans : minimisation du débit de dose absorbée : l'atténuation par les écrans.

La délimitation des zones règlementées :

Zones contrôlées (dépassement des 3/10èmes de doses annuelles possible)[78].

Zones surveillées (dépassement de 1/10ème des limites de doses possible[78].

La protection contre l'exposition externe (blindage de la source, écrans, appareils de manipulation à distance, dispositif de mesure des rayonnements avec signalisation sonore et visuelle etc.)[78].

La protection contre la contamination (confinement des sources radioactives, ventilation appropriée, boîtes à gants etc.)[79].

- **Zone public (ZP):**

C'est une zone dans laquelle l'exposition aux rayonnements ionisants ne doit pas entraîner une dose efficace sur 12 mois supérieur à 1 mSv[78,79].

- **Zone surveillée (ZS) :**

C'est une zone dans laquelle les travailleurs sont susceptibles de recevoir dans les conditions normales de travail :

Ø une dose efficace comprise entre 1 et 6 mSv par an pour l'organisme entier[78,79].

Ø une dose équivalente comprise entre 1/10 et 3/10 de l'une des limites fixées pour la peau, les mains, les avant-bras, les pieds et les chevilles (soit 50 mSv), ou le cristallin (soit 15 mSv).[78,79]

- **Une zone contrôlée (ZC) :**

C'est une zone dans laquelle les travailleurs sont susceptibles de recevoir dans les conditions normales de travail :

- Une dose efficace supérieur à 6 mSv / an, dans les conditions normales de travail[78,79].
- Une dose équivalente dépassant les 3/10 de l'une des limites fixées pour la peau, les mains, les avant-bras, les pieds et les chevilles (soit 150 mSv) ou le cristallin (soit 45 mSv) [78,79].
- La zone contrôlée est découpée en 4 zones : zone verte, zone jaune, zone orange, zone rouge (interdite)[78,79].

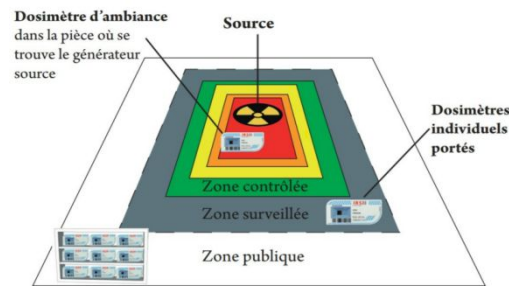


Figure 119 :Les classifications des zones de travail[78]

3.4. Règles générales :

Le personnel concerné par la délivrance de rayons X chez un patient doit :

- avoir reçu une formation adéquate et suivre un programme de formation continue postuniversitaire pour maintenir ses connaissances et compétences à jour [10].
- réaliser la radiographie avec précision pour éviter de répéter les clichés[10].
- utiliser un nombre minimal de projections [10].
- optimiser tous les réglages d'exposition pour s'assurer que toutes les doses sont maintenues à un niveau aussi bas qu'il est raisonnablement praticable (*as low as reasonablypracticable* ou *ALARP*) conforme avec le but recherché[10].
- s'assurer que tout le traitement de l'image (chimique ou numérique) est mené selon les plus hauts standards de manière à ce que les images n'aient pas besoin d'être reprises[10].

➤ Radioprotection pratique destinée au public :

Ce groupe inclut toute personne qui ne reçoit pas de rayonnement ionisant, soit en tant que patient, soit en tant que travailleur, mais qui peut être exposée par inadvertance (par exemple, quelqu'un dans une salle d'attente d'un cabinet dentaire, dans d'autres pièces de la structure ou un passant). Le public est à risque visé à- vis du faisceau primaire, donc des considérations spécifiques doivent être fournies quant à :

- l'implantation de l'équipement pour s'assurer que le faisceau primaire ne puisse pas viser directement dans des pièces occupées ou dans des couloirs [10].

- l'épaisseur et le matériau des murs séparateurs [10].
- les conseils d'un physicien médical sur l'emplacement de l'équipement générateur de rayons X, la conception de la salle de soins et le positionnement des affichages de mise en garde vis-à-vis des rayonnements[10].

➤ **Radioprotection pratique des patients :**

Une fois qu'il a été jugé nécessaire de compléter l'examen clinique par un examen radiologique, toutes les mesures de protection doivent être réunies. Il faut veiller en même temps à ce qu'elles contribuent à l'amélioration de la qualité du cliché final et à ce qu'elles réduisent au maximum la durée d'exposition du patient et de l'opérateur[10].

Il n'y a pas de justification concernant l'utilisation systématique d'un tablier de plomb pour les patients soumis à un examen radiographique intra oral ou panoramique [10].

Les colliers thyroïdiens, doivent être utilisés dans les quelques cas où la thyroïde est susceptible de se trouver dans le faisceau primaire (selon l'opinion des auteurs, cela peut comprendre les clichés occlusaux maxillaires et l'imagerie sectionnelle CBCT) [10].

Les tabliers de protection ne protègent pas contre les rayonnements diffusés à l'intérieur du corps [10].

Les tabliers de protection, ayant un équivalent plomb ne dépassant pas 0,25 mm, devraient être proposés pour tout adulte qui vient en aide au patient au cours de l'examen [10].

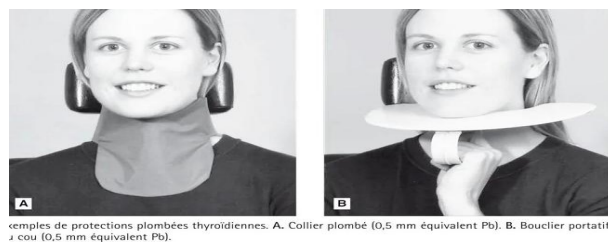


Figure 120 :Exemples de protections plombées thyroïdiennes (A collier plombe, B bouclierrotatif)[10]

➤ **Radioprotection pratique des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants :**

Les doses de rayonnement ionisant reçues par le chirurgien- dentiste et son équipe peuvent provenir du :

- faisceau primaire, s'ils se tiennent sur son chemin ou s'ils maintiennent le récepteur avec un doigt ; rayonnement diffusé émanant du patient s'ils restent trop près de lui ; rayonnement de fuite émanant du tube radiogène[10].
- **Contrôle dosimétrique des travailleurs[10,78] :**
 - L'évaluation périodique des doses reçues par les travailleurs affectés dans une zone contrôlée au moyen de dosimètres individuels
 - Les résultats dosimétriques sont reportés dans le dossier médical spécial.
 - Suivi médical par la médecine du travail : Limites de doses :
 - 20 mSV par an en moyenne sur cinq années consécutives.
 - 50 mSV en une seule année.

L'équipe dentaire est presque toujours désignée comme travailleurs non répertoriés par l'*International Commission on Radiological Protection* (ICRP). L'ICRP fixe des doses limites annuelles pour différentes catégories de travailleurs exposés, et pour les travailleurs non répertoriés la limite actuelle est 6 mSv par an[10]. La quantité de rayonnement reçu par individu peut être surveillée et mesurée en utilisant une variété d'appareillages de surveillance et peut inclure :

- Badges à film ;
- Dosimètres thermo luminescents : – badge, – contrôleur d'extrémité.
- Dosimètres à luminescence optiquement stimulée (DLOS).
- Dosimètres électroniques individuels (DEI). Ces appareillages ne protègent pas contre les rayonnements. Ils fournissent seulement des données sur la quantité de rayonnements reçus au cours d'un laps de temps.

Les principales mesures pratiques de radioprotection comprennent l'assurance que chaque travailleur exposé aux rayonnements ionisants (équipe dentaire) connaît les risques liés à leur propre santé émanant de l'exposition aux rayons X et les précautions de sécurité qu'ils ont besoin de prendre, incluant les dispositions suivantes :

- toujours se tenir en dehors de la zone dite surveillée, à environ 1,5 m du générateur de rayons X et du patient (ou derrière des écrans/barrières plombés appropriés) et jamais sur la trajectoire du faisceau principal[10].
- Ne jamais maintenir un récepteur d'image dans la bouche du patient [10].
- Ne jamais tenir le tube radiogène lors de l'exposition [10].

- Toujours utiliser l'équipement de rayons X de manière sécurisée et en accord avec les directives actuelles et les bonnes pratiques[10].

Toute l'équipe dentaire doit être totalement consciente des effets biologiques associés aux rayons X, des risques concernant les patients et des risques pour eux-mêmes, et par conséquent des mesures de radioprotection pratiques requises [10].

En imagerie par rayons X, le « risque zéro » n'existe pas. Pour cela un examen radiographique doit être est un examen dont le résultat – positif ou négatif – modifiera la prise en charge du patient ou confortera le diagnostic du clinicien.

Chapitre XIII
Stratégie d'exploration du cliché
radiographique en ODF

1. Indications des examens radiographiques en ODF :

L'examen clinique initial du patient reste l'examen de base pour l'établissement du diagnostic orthodontique et la planification du plan de traitement. L'utilisation des indicateurs cliniques reconnus permet de déterminer quels sont les patients pour lesquels les radiographies permettront d'obtenir un résultat positif qui aura un impact significatif sur la décision thérapeutique. Ainsi que l'ont démontré plusieurs études, il est possible de diminuer le nombre de radiographies sans altérer la qualité du traitement, les radiographies ne modifiant le diagnostic que dans 16 à 29 % des cas et le plan de traitement que dans 4 à 20 % des cas[80].

1.1. Denture temporaire (avant l'éruption de la première dent permanente, en moyenne 6 ans ± 10 mois) :

Avant l'éruption des premières dents permanentes, il n'existe que très peu d'indications orthodontiques pour la réalisation d'un examen radiographique (traumatisme des dents temporaires susceptibles d'induire une altération du chemin d'éruption des dents permanentes, dent manquante pour une raison inconnue...). L'examen indiqué est généralement un examen rétro-alvéolaire et exceptionnellement un panoramique dentaire à champ réduit.[80]

1.2. Denture mixte (après l'éruption de la première dent permanente jusqu'à l'apparition de la première prémolaire ou canine, en moyenne 6 ans ± 10 mois à 10 ans ± 6 mois) :

Un examen radiographique systématique n'est pas justifié si après l'examen clinique :
Aucun signe clinique d'anomalie dentaire n'a été relevé. Aucune anomalie de croissance ne nécessitant un suivi n'a été observé. Aucun traitement orthodontique immédiat (< 1 an) n'est envisagé[80].

- Le dépistage des anomalies dentaires (anomalie de nombre, anomalie du chemin d'éruption...) n'est pas justifié à ce stade[80].
- En présence d'un signe d'appel, l'examen indiqué est généralement un examen rétro-alvéolaire ou un panoramique dentaire à champ réduit[80].
- En l'absence de facteurs spécifiques, un traitement interceptif peut être conduit sans examen radiographique excepté si des avulsions pilotées sont envisagées[80].
- Il est recommandé de réaliser une téléradiographie lorsqu'un traitement fonctionnel est envisagé, afin de suivre l'évolution de la thérapeutique[80].



Figure 121 : Indications des examens radiographiques en denture mixte

1.3. Denture adolescente et denture adulte jeune (après l'apparition de la première canine ou prémolaire et jusqu'à l'apparition de la troisième molaire, en moyenne 10 ans ± 6 mois à 17/21 ans) :

- Si après l'examen clinique : aucun signe clinique d'anomalie dentaire n'a été relevé, aucune anomalie de croissance ne nécessitant un suivi n'a été observée, aucun traitement orthodontique immédiat (< 1 an) n'est envisagé[80].

➤ **Un examen radiographique systématique n'est pas justifié.**

- En présence d'une anomalie dentaire, lorsqu'une analyse tridimensionnelle est nécessaire, elle sera réalisée au moment le plus propice : par exemple avant l'intervention chirurgicale de dés inclusion, si sa réalisation en début de traitement ne modifie pas le plan de traitement. Ceci permet d'éviter la multiplication des clichés. Si, à la mandibule, les clichés occlusaux restent d'actualité dans les cas simples, en cas de mal position complexe ou de résorption dentaire, un examen sectionnel de type cônebeam ou tomodynamométrique sera envisagé tant au maxillaire qu'à la mandibule[80].
- Il est recommandé de réaliser une radiographie panoramique avant d'initier un traitement orthodontique. Toutefois, en l'absence de signes cliniques et si le traitement ne peut débuter dans un délai de 12 mois, cet examen doit être différé[80].
- Lorsqu'un traitement d'orthodontie est requis, en l'absence de dysmorphoses marquées, un examen télé radiographique n'est pas nécessaire. En revanche, si une modification importante des relations incisives est envisagée ou lorsqu'un traitement fonctionnel est planifié, il est de bonne pratique de réaliser un examen télé radiographique dans le plan de la dysmorphose[80].
- Seules des dysmorphoses ou anomalies faciales majeures tridimensionnelles conduisent à s'interroger sur la nécessité de réaliser une analyse tridimensionnelle ou sectionnelle du crâne (tomodynamométrie ou côneBEAM) si les acquisitions conventionnelles ne permettent pas d'apporter l'information requise[80].

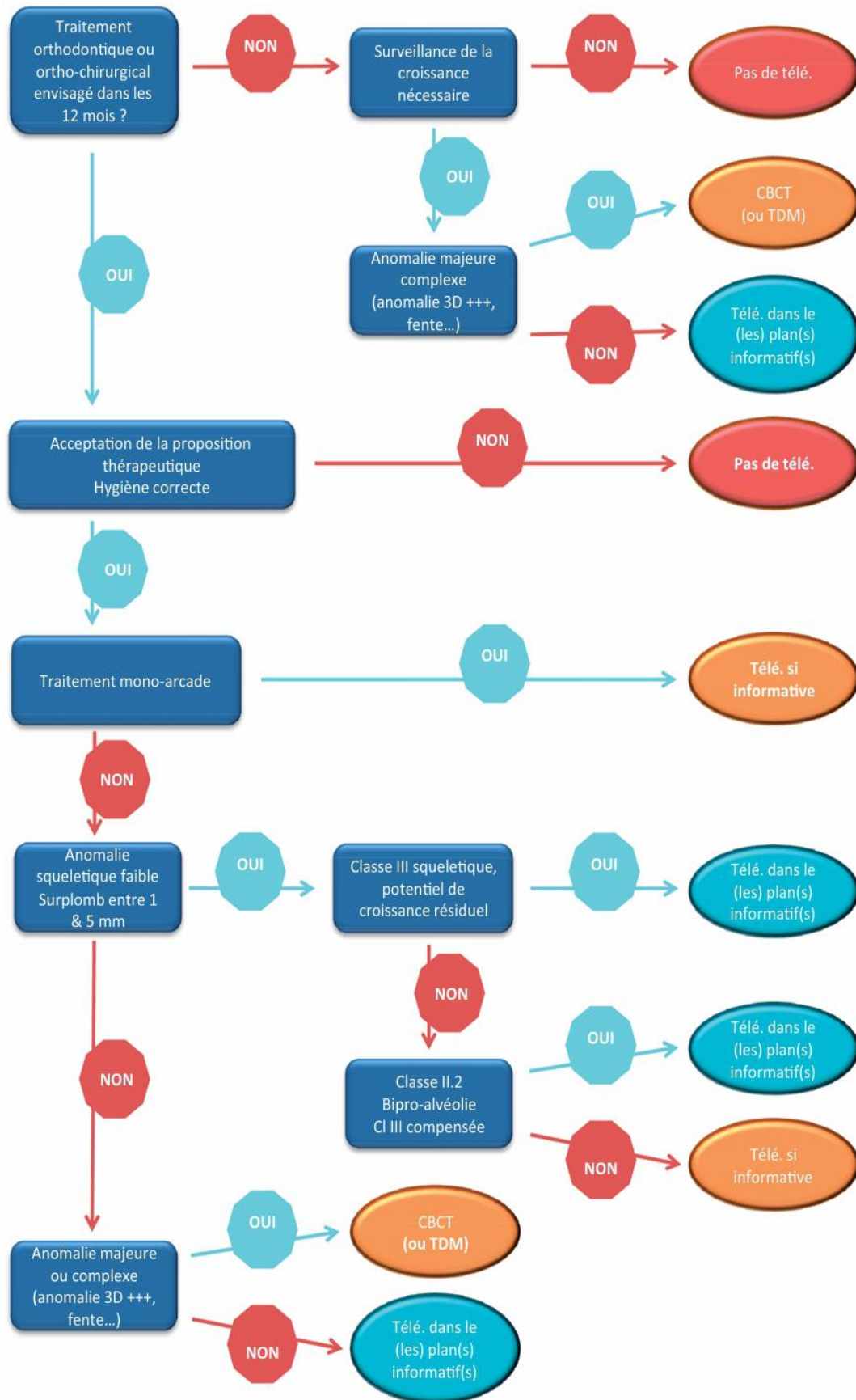


Figure 122 : Indications des examens dentaires en denture adolescente et adulte

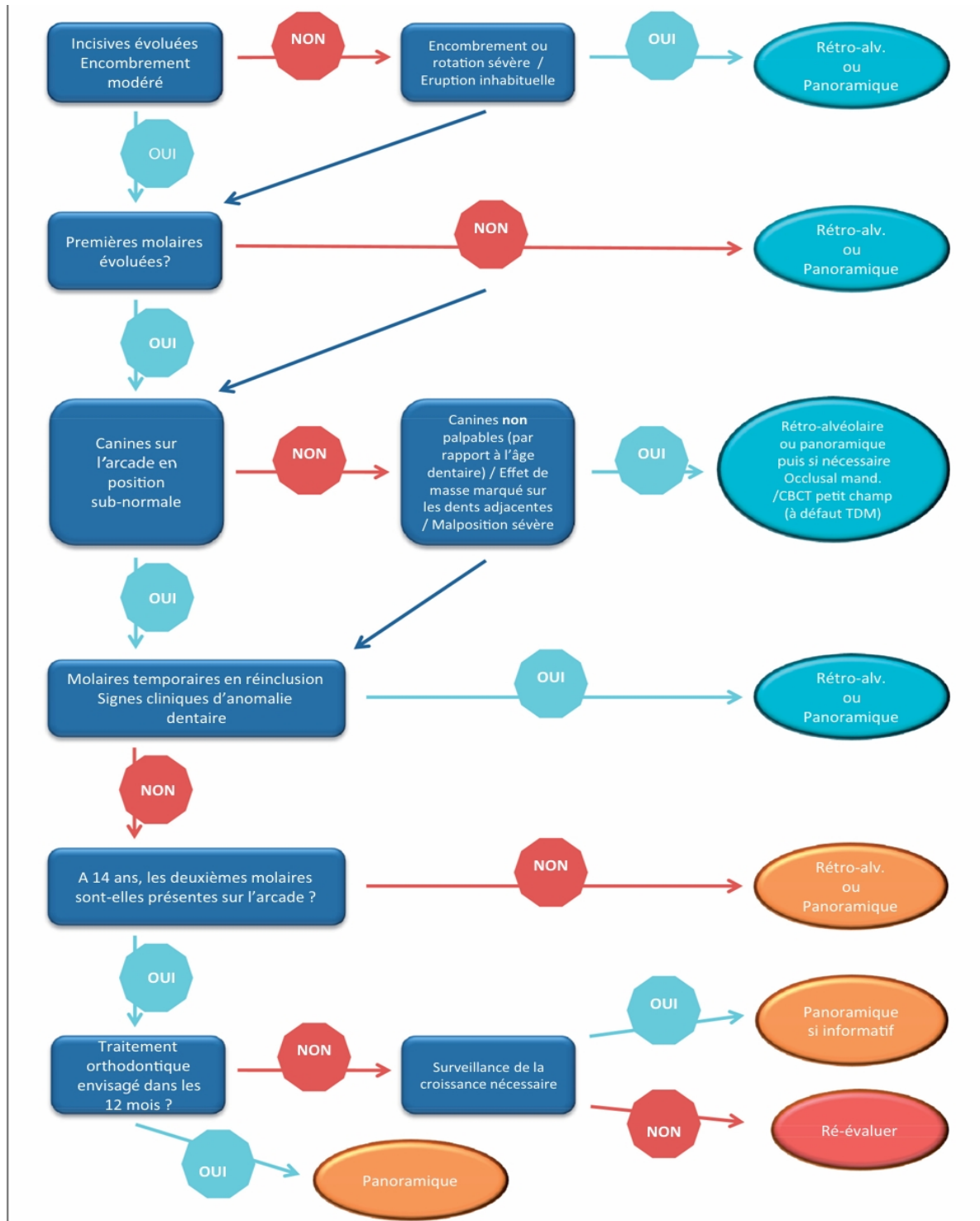


Figure 123 : Indication des examens faciaux en denture adolescente et adulte

Chapitre XIV

Intelligence Artificielle

1. Définition :

L'intelligence artificielle (IA) transforme la radiologie dentaire grâce à diverses applications, notamment la détection automatisée des anomalies, le diagnostic et la classification des affections dentaires, la segmentation et la reconstruction d'images, l'amélioration et le débruitage d'images et l'analyse des données des patients. Des algorithmes alimentés par l'IA peuvent identifier avec précision les caries, les fractures et autres anomalies dentaires, tout en facilitant l'analyse orthodontique et la planification du traitement.

2. Applications de l'IA en radiologie :

L'identification, l'analyse et le traitement des algorithmes de l'IA analysent une grande quantité de données d'image, en identifiant des modèles et des anomalies qui pourraient être manqués par les observateurs humains. Le processus d'exécution d'opérations sur une image pour l'améliorer ou extraire des informations précieuses est connu sous le nom de traitement d'image. L'IA est capable d'apprendre à partir de millions d'images et d'utiliser cette connaissance pour interpréter et comprendre de nouvelles images. Elle joue un rôle majeur dans l'automatisation d'opérations telles que le traitement d'images ce qui permet d'obtenir des résultats plus rapides et plus précis.

Le traitement d'images alimenté par l'IA révolutionne l'imagerie médicale en aidant les radiologues à détecter les maladies, en identifiant les anomalies et en développant des stratégies de traitement personnalisées. Il facilite également la planification chirurgicale, le suivi des résultats des patients et l'analyse pathologique [16]. Cette capacité est cruciale pour améliorer la précision diagnostique des radiographies dentaires[81].

L'IA a le potentiel de réduire considérablement les doses d'exposition des patients en automatisant et en rationalisant les procédures de collecte de données [29]. L'IA transforme l'imagerie dentaire grâce à des modalités améliorées, notamment la CBCT, la radiographie numérique, les scanners intra-oraux, l'IRM dentaire et la tomodensitométrie. Ces progrès améliorent la qualité de l'image, réduisent l'exposition aux rayonnements et augmentent la précision du diagnostic, rationalisant ainsi la planification du traitement[81].

Les principales applications citées sont :

- La Détection automatisée des anomalies dentaires : L'IA peut identifier les caries, les lésions péri-apicales et les pertes osseuses avec une grande précision.
 - La segmentation et reconstruction d'images : l'IA permet une meilleure visualisation des structures dentaires en 3D.
 - L'amélioration de la qualité des images : L'IA réduit le bruit et optimise la clarté des radiographies pour un diagnostic plus fiable.
 - La réduction de l'exposition aux radiations : En optimisant les paramètres d'imagerie, l'IA aide à minimiser la dose de radiation nécessaire.
 - L'analyse prédictive et classification des pathologies : L'IA peut prédire l'évolution de certaines maladies dentaires et aider à leur classification.
 - La planification des traitements orthodontiques et implantaire : L'IA assiste les dentistes dans la conception de plans de traitement personnalisés.
 - L'automatisation du diagnostic : Elle permet d'accélérer le processus de diagnostic en fournissant des résultats instantanés basés sur des bases de données médicales.

Conclusion générale

L'imagerie médicale joue un rôle important en orthodontie, elle constitue un élément majeur dans le bilan orthodontique que ce soit pour établir un diagnostic, décider un plan de traitement ou lors des phases d'évaluations. Le développement de l'imagerie au fil des années du conventionnel au tridimensionnel a influencé beaucoup la pratique clinique vers une analyse et thérapeutique plus précise.

Mais, malgré la sophistication et la diversité des techniques d'imagerie elle ne peut pas remplacer le travail de l'orthodontiste son interprétation, son jugement professionnel et son expérience demeure essentiel pour établir le diagnostic le plus adapté au cas.

L'orthodontiste doit avoir un sens aigu d'analyse afin de choisir la technique d'imagerie idéale pour le cas en prenant en considération le besoin clinique et condition socio-économique du patient et en respectant les standards de radioprotection et cela en connaissant toutes les possibilités d'exploration radiologique existantes en orthopédie dento-maxillaire.

L'imagerie est un examen complémentaire d'expertise pour l'orthodontiste mais il n'est jamais substitutif. L'avenir de l'ODF se dessine ainsi dans une collaboration harmonieuse entre les avancées technologiques et l'intelligence humaine.

Références bibliographiques

- [1] Poirier-Quinot M. L'Imagerie Médicale, quand la physique rencontre la médecine n.d.
- [2] Bihan DLE. Qu'est-ce qu'une image médicale ? Considérations médico-économiques. Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine 2018;202:1665–78.
- [3] Hauser H, Ody B. Histoire de la radiologie à Genève et de son évolution vers l'imagerie médicale. Revue Médicale Suisse 2023;19:1874–8.
- [4] Pavillon des Sciences – CCSTI de Franche-Comté. Rayons : histoires de rayons X, de radioactivité et de radioprotection [exposition]. Galerie Euréka (CCSTI de Chambéry); 1 février–28 mai 2011.
- [5] Zorn C, Dillenseger J-P, Moerschel É. Physique fondamentale des rayonnements ionisants — radiobiologie — radioprotection. Guide des technologies de l'imagerie médicale et de la radiothérapie, Elsevier; 2024, p. 1–32.
- [6] Whaites, E., & Drage, N. (2019). Radiographie et radiologie dentaires. Elsevier Health Sciences.
- [7] White and Pharoah's oral radiology: principles and interpretation. 8th edition. Place of Publication Not Identified: Mosby; 2019.
- [8] Pasler FA. Atlas de médecine dentaire: radiologie. Paris: Médecine-Sciences, Flammarion; 1994 n.d.
- [9] Formation Géométrique De L'image Radiologique. Manipulateur En Radiologie | L'oeil de la médecine n.d.
- [10] Whaites E, Drage N. Radiographie et radiologie dentaires. Elsevier HealthSciences; 2019.
- [11] Systèmes D'information RIS Et PACS. Manipulateur En Radiologie | L'oeil de la médecine n.d.
- [12] DICOM (HL7, IHE, HIS, RIS, PACS). Manipulateur En Radiologie | L'oeil de la médecine n.d.
- [13] Rousset P. Fonctionnement d'un système d'imagerie utilisant les rayons X n.d.
- [14] Morin RL, Mahesh M. The Importance of Spatial Resolution to Medical Imaging. Journal of the American College of Radiology 2018; 15:1127.
- [15] Company EK. Radiography in Modern Industry n.d.
- [16] Long BW, Rollins JH, Smith BJ. Merrill's Atlas of Radiographic Positioning and Procedures. 13th ed. Vol. 3. Philadelphia: Elsevier; 2022 n.d.
- [17] Macfall JR. Physical principles of medical imaging. Perry Sprawls, Jr, PhD, FACR Gaithersburg, Md: Aspen Publishers, 1993. \$69.00; pp 656;approximately 400 illustrations. Magnetic Resonance Imaging 1994;4:258–258.
- [18] Dheilily A. Analyse de la qualité d'image en CBCT en fonction de différents protocoles d'acquisition n.d.
- [19] Esmaili F, Johari M, Haddadi P. Beam hardening artifacts by dental implants: Comparison of cone-beam and 64-slice computed tomography scanners. Dent Res J (Isfahan) 2013; 10:376–81.
- [20] Lindfors N, Lund H, Johansson H, Ekestubbe A. Influence of patient position and other inherent factors on image quality in two different cone beam computed tomography (CBCT) devices. European Journal of Radiology Open 2017;4:132–7.
- [21] Les fondamentaux - Chapitre 2 - Caractéristiques d'une image médicale - CNP MN n.d.

- [22] Magota K, Numata N, Shinyama D, Katahata J, Munakata Y, Maniawski PJ, et al. Halo artifacts of indwelling urinary catheter by inaccurate scatter correction in 18F-FDG PET/CT imaging: incidence, mechanism, and solutions. *EJNMMI Phys* 2020;7:66.
- [23] Chouiter ME. La radiologie en médecine dentaire. Première édition; 1998.
- [24] Gardavaud F. AUTEURS DU GROUPE DE TRAVAIL n.d.
- [25] Mini-vis : l'orthodontie de demain. LEFILDENTAIRE magazine dentaire 2010.
- [26] David L. Les conduites à tenir concernant les canines incluses maxillaires 2017.
- [27] Darque F, Ellouze S. Biomécanique des mini-implants d'ancrage : illustrations cliniques. *International Orthodontics* 2007; 5:357–92.
- [28] Melsen B, Lang NP. Birte Melsen Biological reactions of alveolar bone to Niklaus P. Lang orthodontic loading of oral implants n.d.
- [29] Ministère de la Santé. Guide des indications et des procédures des examens radiologiques en odontostomatologie: recommandations pour les professionnels de santé. Code de la Santé Publique. Paris: Ministère de la Santé n.d.
- [30] 308_118_0_guide_d_utilisation_cs_8100_3d_et_8100_sc_3d_carestrea n.d.
- [31] Gail F. Williamson, RDH, MS practical panoramic imaging 2019 n.d.
- [32] Panoramic radiography in dentistry n.d.
- [33] Exploration Radiologique Du Crâne. Manipulateur En Radiologie | L'oeil de la médecine n.d.
- [34] Exploration Radiologique Du Crâne. Manipulateur En Radiologie | L'oeil de la médecine n.d.
- [35] Société Française de Radiologie, Société Française de Biophysique et de Médecine Nucléaire. Guide du bon usage des examens d'imagerie médicale. Paris: Société Française de Radiologie; 2005. n.d.
- [36] Philippides N. Les analyses céphalométriques en réseau, état des lieux avant informatisation [thèse]. Strasbourg: Université de Strasbourg; 2018. Français n.d.
- [37] Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. The Cervical Vertebral Maturation (CVM) Method for the Assessment of Optimal Treatment Timing in Dentofacial Orthopedics. *Seminars in Orthodontics* 2005;11:119–29.
- [38] Olivier T. Le conebeam en orthodontie: revue de littérature de son apport diagnostique et thérapeutique n.d.
- [39] 73_Radiographic_Evaluation_of_Skeletal_Maturation n.d.
- [40] Auberson, Lucille, et al. "Radiologie de La Main et Du Poignet Pour Le Médecin de Premier Recours." *Revue Médicale Suisse*, vol. 16, no. 700, 1 Jan. 2020, pp. 1380–1387.
- [41] Moawad, Shadi. "Evaluation of the Reliability of a Practical Digital Dental X-Ray Method for the First Metacarpophalangeal Joint to Assist the Skeletal Age in Peripubertal Orthodontic Period." *International Orthodontics*, vol. 17, no. 4, 28 Aug. 2019, pp. 701–709.
- [42] Sarazin L, Teman G, Lacan A, Sarazin G. Indications du Dentascanner en odontologie. *RevOdontStomatol.* 2002;31:109–23.
- [43] Durand E. Blondiaux E. Caractéristique d'une image médicale. Elsevier Masson; 2017.

- [44] Abrahams, James J. *Dental CT Imaging: A Look at the Jaw*. Vol. 219, no. 2, 1 May 2001, pp. 334–345.
- [45] Techniques radiographiques utiles en orthodontie - Google Scholar n.d.
- [46] Valk PE, editor. *Positron emission tomography: basic science and clinical practice*. London ; New York: Springer; 2003.
- [47] Pichler BJ, Wehrl HF, Judenhofer MS. Latest Advances in Molecular Imaging Instrumentation. *J Nucl Med* 2008;49:5S-23S.
- [48] Vodovar, D., Aboab J, Silva S, Tournier N , “Comprendre La Tomographie Par Émission de Positons (TEP) — Une Modalité d’Imagerie Pour La Réanimation ?” *Médecine Intensive Réanimation*, vol. 28, no. 4, 1 July 2019, pp. 347–352.
- [49] Kampe KKW, Rotermund R, Tienken M, Thomalla G, Regier M, Klutmann S, et al. Diagnostic Value of Positron Emission Tomography Combined with Computed Tomography for Evaluating Critically Ill Neurological Patients. *Front Neurol*. 2017;8:33.
- [50] Sweet, William. *The Uses of Nuclear Disintegration in the Diagnosis and Treatment of Brain Tumor*. Vol. 245, no. 23, 6 Dec. 1951, pp. 875–878.
- [51] Sweet WH. The Uses of Nuclear Disintegration in the Diagnosis and Treatment of Brain Tumor. *N Engl J Med* 1951; 245:875–8.
- [52] Dominic Raphael Schwaninger, et al. “FDG-PET/CT for Oral Focus Assessment in Head and Neck Cancer Patients.” *Clinical Oral Investigations*, vol. 26, no. 6, 7 Mar. 2022, pp. 4407–4418.
- [53] Hess LM, Jeter JM, Benham-Hutchins M, Alberts DS. Factors Associated with Osteonecrosis of the Jaw among Bisphosphonate Users. *Am J Med*. 2008;121(6):475–83.e3.
- [54] “Septembre 2022 - SFCO.” *SFCO*, 21 June 2023, societechirorale.com/revue-litterature/revue-de-litterature-septembre-2022/?utm_.
- [55] Tsuchimochi M, Higashino N, Okano A, Kato J. Study of combined technetium 99m methylene diphosphonate and gallium 67 citrate scintigraphy in diffuse sclerosing osteomyelitis of the mandible: Case reports. *J Oral Maxillofac Surg*. 1991;49(8):887–97.
- [56] Ruiz J-B, El Yaagoubi Y, Revel C, Travers J-Y. Une scintigraphie osseuse anormale. *La Revue de Médecine Interne* 2016;37:66–7.
- [57] Société Française de Médecine Nucléaire et Imagerie Moléculaire (SFMN). Guide pour la rédaction de protocole pour la scintigraphie osseuse. Version 2.0. Paris: SFMN; 2012. *MédecineNucléaire*. 2012;36(11):687–97.
- [58] Epstein J, Rea A, Chahal O. The use of bone scintigraphy in temporomandibular joint disorders. *Oral Dis*. 2002;8(1):47–53.
- [59] Salvatore De Vita. “15th International Symposium on Sjögren’s Syndrome.” *Clinical and Experimental Rheumatology*, 1 Sept. 2022,
- [60] Cavézian R, Pasquet G. Imagerie et orthopédie dento-faciale : évolution, présent et avenir. *Orthod Fr* 2008; 79:3–12.
- [61] Venkatesh E, Venkatesh Elluru S. Cone Beam Computed Tomography: Basics and Applications in Dentistry. *J Istanbul Univ Fac Dent*. 2017;51:102–21.

- [62] Batard J, Cavezian R, Nguyen TH, Salmon B, Schmittbuhl M, Sevalle M, et al. Groupe de travail scientifique Philippe ROCHER n.d.
- [63] Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH, Thongvigitmanee SS. Technical aspects of dental CBCT: state of the art. *DentomaxillofacRadiol.* 2015;44(1):20140224.
- [64] Bonnin A, Broussouloux C, Convard JP, Seguin G. *Échographie*. 2e éd. Paris: Elsevier-Masson; s.d.
- [65] Schmidt G. *Précis d'échographie* [Internet]. Paris: Maloine; s.d.
- [66] Abramson ZR, Peacock ZS, Cohen HL, Choudhri AF. Radiology of cleft lip and palate: imaging for the prenatal period and throughout life. *RadioGraphics.* 2015;35(6):2053–63.
- [67] Pourcelot L, Bouakaz A. Développement de l'échographie et des techniques Doppler à l'Université de Tours. *Bull AcadNatl Med.* 2022;206(9):1091–8.
- [68] Aktif International Hospital. Échographie Doppler Doppler Couleur [Internet]. 2023.
- [69] Fentes labio-palatines | Fente labio-palatine échographie 4D [Internet].
- [70] DemirturkKocasarac H, Angelopoulos C. Ultrasound in dentistry. *Dent Clin North Am.* 2018;62(3):447–58.
- [71] American College of Radiology (ACR), American Society of Neuroradiology (ASNR), Society for Pediatric Radiology (SPR). Practice parameter for the performance of computed tomography (CT) of the extracranial head and neck.
- [72] Kastler B, Anstett P. Comprendre l'IRM: manuel d'auto-apprentissage. 7ème éd. entièrement rév. Issy-les-Moulineaux [France]: Elsevier Masson; 2011.
- [73] ARCAGY-GINECO. IRM, une imagerie sans rayons [Internet]. Infocancer. 2025.
- [74] Benahmed N, Seghiri F. Analyse et conception dans la bande ISM de structures coaxiales TEM et quasi-TEM pour des applications médicales et biologiques [thèse de doctorat]. Tlemcen (Algérie): Université de Tlemcen; 2015. Directeur de thèse: Benahmed N.
- [75] Du magnétisme du proton au signal par résonance magnétique [Internet]. SlideShare.
- [76] Rufino F, Jean-Michel F, Christophe P. Imagerie des désordres temporo-mandibulaires n.d.
- [77] Shah A. Use of MRI in orthodontics: a review. *J Imaging IntervRadiol.* 2018;1(1):1–4.
- [78] Rayonnements ionisants n.d.
- [79] Dillenseger J-P, Moerschel E, Schmit V, Zorn C. Guide des technologies de l'imagerie médicale et de la radiothérapie: quand la théorie éclaire la pratique. Paris: Elsevier HealthSciences; 2024.
- [80] Foucart J-M, Felizardo R, Pizelle C, Bourriau J. Indications des examens radiologiques en orthopédie dento-faciale. *Orthod Fr* 2012; 83:59–72.
- [81] Altukroni A, El-Deen OE, Jabeen S. Enhancing The Quality of Dental Radiographic Images: A Review on Panoramic and Periapical Radiograph Enhancement Techniques. *Oral Health* n.d.

Résumé

L'imagerie médicale est un outil fondamental d'orthopédie dento-faciale (ODF), nécessaire à l'évaluation diagnostique, à la planification thérapeutique et au suivi des traitements. Chaque examen de l'imagerie médicale a des indications particulières et contribue, de diverses manières, à l'analyse morphologique et fonctionnelle du complexe maxillo-facial. Face à cette variété, le médecin va prendre une stratégie d'imagerie en fonction de la situation clinique des conditions socio-économiques du patient. Cette action inclut une réflexion sur les indications, le rapport bénéfice/risque, des principes de radioprotection et les examens radiologiques disponibles.

Ce mémoire met en lumière l'évolution des outils d'imagerie en ODF, les différentes techniques possibles et leur intégration responsable dans la pratique quotidienne qui nécessite ainsi un équilibre entre performance diagnostique, sécurité du patient et respect des recommandations professionnelles.

Abstract

Medical imaging is a fundamental tool in dentofacial orthopedics (DFO), essential for diagnostic assessment, therapeutic planning, and treatment monitoring. Each medical imaging examination has specific indications and contributes, in various ways, to the morphological and functional analysis of the maxillofacial complex. Given this diversity, the physician will adopt an imaging strategy based on the clinical situation and the patient's socioeconomic circumstances. This approach includes consideration of indications, the benefit/risk ratio, radiation protection principles, and available radiological examinations.

This thesis highlights the evolution of DFO imaging tools, the various possible techniques, and their responsible integration into daily practice, which requires a balance between diagnostic performance, patient safety, and adherence to professional recommendations.