



UNIVERSITE SAAD DAHLAB-BLIDA  
FACULTE DE MEDECINE  
DEPARTEMENT DE MEDECINE DENTAIRE

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES  
EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
DOCTEUR EN MEDECINE DENTAIRE**

**THEME :**

Apport de la radiographie en OCE : évolution et perspective

**Présenté et soutenu par :**

- Yagoubi Zine El Abidine
- Terfai Moussa
- Oulddali Mohamed
- Rabiai Amine
- Benlakhdar Amar

**Promotrice :**

Dr. S.Bouakkaz

**Devant le jury constitué de :**

**Dr.GRIBALLAH** (*Présidente*) : Maitre-assistante en Odontologie Conservatrice/Endodontie

**Dr. ZAIDI** (*Examinatrice*): Maitre-assistante en Odontologie Conservatrice/Endodontie

**Session 2023/2024**

## Remerciements

*La réalisation de Ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui nous voudrions témoigner toute nos gratitude.*

*Nous voudrions tout d'abord adresser toute nos reconnaissances au **Docteur S. BOUAKKAZ** maitre assistante en Odontologie Conservatrice Endodontie à la clinique Zabana de Blida, qui a été notre promotrice. Merci pour votre patience, votre disponibilité et surtout votre rigueur scientifique, qui ont contribué à alimenter notre réflexion.*

*Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères au **Docteur GRIBALLAH** et au **docteur ZAIDI**.*

*Nous sommes très honorées de vous avoir comme jurys de thèse. Nous ne vous remercierons jamais assez de votre dévouement et votre implication dans notre encadrement durant toutes ces années d'études.*

*Nous ne laisserons pas cette occasion passer sans remercier vivement tous ceux qui, de près ou de loin ont participé à notre encadrement et formation durant tout notre cursus.*

*Nous voudrions exprimer notre reconnaissance envers les amis et collègues qui nous ont apporté leur soutien moral tout au long de notre démarche.*



## *Dédicaces*

*A Nous chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de nos études.*

*A nous frères et chères sœurs pour leurs encouragements permanents et leur soutien moral,*

*A nous amis pour leur soutien tout au long de nos parcours universitaire.*

*Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux, et le fruit de votre soutien infailible.*

*Merci d'être toujours là pour nous.*

## ملخص

لعب التصوير الشعاعي دورًا مهمًا في مجال علاج جذور الأسنان ، مما يسمح بتصوير التركيب الداخلي للأسنان والأنسجة المحيطة بها. تتميز تطور التصوير الشعاعي اللبي بإدخال تقنيات وتقنيات جديدة. لطالما استخدمت الصور الشعاعية التقليدية ، ولكن تم استكمالها تدريجياً بتقنيات أكثر تقدمًا مثل التصوير الشعاعي الرقمي والتصوير المقطعي المحوسب بالحزمة المخروطية (CBCT). مكنت هذه التطورات التكنولوجية من تصوير أكثر دقة وتفصيلاً للتركيب التشريحي ، وبالتالي تسهيل التشخيص والتخطيط للعلاجات اللبية.

تتناول هذه المذكرة أيضًا الأنواع المختلفة من الصور الشعاعية المستخدمة في علاج جذور الأسنان ، ولكل نوع من أنواع التصوير الشعاعي مزايا وقيود محددة ، ويعتمد استخدامها على الحالة السريرية واحتياجات المريض.

## Résumé

La radiographie joue un rôle crucial dans le domaine de l'endodontie, en permettant la visualisation des structures internes de la dent et des tissus environnants. L'évolution de la radiographie en endodontie a été marquée par l'introduction de nouvelles technologies et techniques. Les radiographies conventionnelles ont longtemps été utilisées, mais ont été progressivement complétées par des techniques plus avancées telles que la radiographie numérique et la tomographie volumique à faisceau conique (CBCT). Ces avancées technologiques ont permis une visualisation plus précise et détaillée des structures anatomiques, facilitant ainsi le diagnostic et la planification des traitements endodontiques.

Ce mémoire examine également les différents types de radiographies utilisées en endodontie, Chaque type de radiographie présente des avantages et des limites spécifiques, et leur utilisation dépend de la situation clinique et des besoins du patient.

## Abstract:

Radiography plays a crucial role in the field of endodontics, allowing the visualization of the internal structures of the tooth and the surrounding tissues. The evolution of endodontic radiography has been marked by the introduction of new technologies and techniques. Conventional radiographs have long been used, but have been gradually supplemented by more advanced techniques such as digital radiography and cone-beam computed tomography (CBCT). These technological advances have enabled more precise and detailed visualization of anatomical structures, facilitating the diagnosis and planning of endodontic treatments.

This thesis also examines the different types of radiographs used in endodontics. Each type of radiograph has specific advantages and limitations, and their use depends on the clinical situation and the needs of the patient.

**SOMMAIRE :**

<b><u>Introduction</u></b>	<b>3</b>
<b><u>Chapitre I. Généralité et histoire de la découverte des RX</u></b>	<b>3</b>
<b><u>I.1. Histoire de la découverte des rayons X :</u></b>	<b>3</b>
I.1.1- Premières utilisations en imagerie médicale :	5
<b><u>I.2. Généralité sur les rayons X :</u></b>	<b>7</b>
I.2.1. Définitions :	7
A. la radiologie:	7
B.les rayons X :	7
C.clarté ou transparence:	7
D.opacité:	7
<b><u>Chapitre II. Production,propriété de rayons x et formation d'image</u></b>	<b>8</b>
<b><u>II.1. rappel sur la structure anatomique :</u></b>	<b>8</b>
<b><u>II.2.La production des rayons X :</u></b>	<b>8</b>
<b><u>II.3.Les propriétés des rayons X :</u></b>	<b>9</b>
<b><u>II.4. Caractéristiques et exigence principale d'un tube de rayons X :</u></b>	<b>10</b>
<b><u>II.5. Considérations pratiques:</u></b>	<b>10</b>
<b><u>II.6. Interactions au niveau anatomique:</u></b>	<b>11</b>
II.6.1. Collisions accompagnées d'un dégagement de chaleur :	12
II.6.2. Collisions accompagnées d'une émission de rayons X :	13
<b><u>II.7. Formation géométrique de l'image:</u></b>	<b>13</b>
II.7.1. Le foyer:	14
II.7.2. Le Récepteur :	14
II.7.3. L'Objet :	14
II.7.4. Les Ombres radiographiques :	14
II.7.5. Les Critères de qualité de l'image radiologique :	15
II.7.6. Qualité de l'image radiographique :	15
II.7.7. Perception de l'image radiographique :	16
II.7.8. Problématique et les solutions de flou d'image radiographique	18

## TABLE DES MATIERES

---

<b><i><u>Chapitre III. Equipement dentaire, générateur de RX, radiographie argentique et numérique</u></i></b>	<b>20</b>
<b>III.1. Introduction</b>	<b>20</b>
<b>III.2. Les Principaux composants de tube :</b>	<b>21</b>
<b>III.3. Les Principaux composants de la commande de contrôle :</b>	<b>23</b>
<b>III.4. Le Câblage et tension de tube :</b>	<b>23</b>
<b>III.5. Les Autres appareils générant de rayon X :</b>	<b>25</b>
<b>III.6. Comparaison de différents systèmes radiographiques dentaires appliqués à la pratique quotidienne (argentique - numérique) :</b>	<b>25</b>
III.6.1. La radiographie Argentique:	25
III.6.2. La radiographie Numérique:	36
III.6.3. Comparaison (La radiographie argentique et Numerique)	42
<b><i><u>Chapitre IV. Apport radiologique en odontologie</u></i></b>	<b>46</b>
<b>IV.1. Introduction</b>	<b>46</b>
<b>IV.2. Définition de la discipline odontologique et endodontie :</b>	<b>46</b>
<b>IV.3. Rappel anatomique :</b>	<b>46</b>
IV.3.1. Anatomie-endodontique :	47
IV.3.2. Anatomie Apical :	47
<b>IV.4. Classification des différent stade d'évolution dentaire :</b>	<b>51</b>
<b>IV.5. La lésion carieuse :</b>	<b>52</b>
IV.5.1. Définition:	52
IV.5.2. La classification des SISTA:	52
<b>IV.6. Les différentes techniques radiologiques :</b>	<b>53</b>
IV.6.1. Techniques intra orale :	53
IV.6.2. Techniques extra orale	65
<b>IV.7. Les différents affection détectées radiographiquement:</b>	<b>76</b>
IV.7.1. Carie cachée:	76
IV.7.2. Carie radiculaire:	77
IV.7.3. Hypercementose :	77
IV.7.4. Calcifications	77

## TABLE DES MATIERES

---

IV.7.5. La résorption radiculaire :	78
IV.7.6. Rapport dent/sinuse :	79
IV.7.7. Lésion d'origine endodontique	80
IV.7.8. Traumatisme dentaire :	81
<b>IV.8. La radiographie au cours de traitement endodontique</b>	<b>83</b>
IV.8.1. Les clichés pré opératoire :	83
IV.8.2. Les clichés per opératoire :	84
IV.8.3. Les clichés post opératoire :	86

### ***Chapitre V. Apport de la radiographie tridimensionnelle (cone BEAM) en endodontie*** \_\_\_\_\_ **87**

<b>V.1. Les Données actualisées de la technique cbct :</b>	<b>87</b>
V.1.1. En matière d'irradiation (une évolution en faveur du Principe ALARA):	87
V.1.2. En matière d'artefacts (une amélioration mais toujours sous condition d'une utilisation maîtrisée):	90
<b>V.2. Apport de la radiographie tridimensionnelle (cone beam) dans la pratique de l'endodontie par rapport à la radiographie bidimensionnelle :</b>	<b>92</b>
V.2.1. Etude anatomique et précision:	92
V.2.2. Les résorptions radiculaires:	98
V.2.3. Les lésions d'origine endodontique:	102
V.2.4. L'évaluation des fractures radiculaires et traumatismes :	108
V.2.5. L'analyse des instruments fracturés	113
V.2.6. Les perforations radiculaires:	116
V.2.7. L'étude pré-chirurgicale endodontique :	118
V.2.8. La détection des caries proximales chez l'enfant	121

### ***Chapitre VI. Les Mesures et les moyens de la radioprotection*** \_\_\_\_\_ **125**

<b>VI.1. Les Rayons X et leurs effets biologiques :</b>	<b>125</b>
VI.1.1. Les unités et les grandeurs dosimétriques:	125
VI.1.2. L'origine des risques en radio-diagnostiques:	126
VI.1.3. Les effets des RX sur l'organisme :	126
<b>VI.2. Les principes et les normes de la Radioprotection</b>	<b>129</b>
VI.2.1. La définition de la radioprotection :	129
VI.2.2. Les Principes de la radioprotection :	129
VI.2.3. Les normes de la radioprotection :	130

## TABLE DES MATIERES

---

<b>VI.3. Les moyens de la Radioprotection :</b>	<b>133</b>
VI.3.1. Les moyens de la radioprotection :	133
VI.3.2. Les moyens de contention :	135

***Références bibliographiques***

## Liste des figures :

### ***Chapitre I. Généralité et histoire de la découverte des rayons X***

Figure I-1 : plan de Wilhelm Conrad Roentgen.....	3
Figure I-2 : l'un tube de Crookes .....	3
Figure I-3 : Premier cliché radiographique (Röntgen,1895).....	5
Figure I-4 : Première radiographie dentaire (Walkhoof).....	5
Figure I-5 : Radiographie des poumons par le docteur Bécclère .....	6

### ***Chapitre II. Production, Propriété de rayons X et formation d'image***

Figure II-1 : Représentation schématique de la structure atomique montrant le noyau central et les électrons orbitaux.....	8
Figure II-2 : l'appareil radiogène .....	9
Figure II-3 : Shéma montré différent composant de l'appareil radiogène .....	10
Figure II-4 : Schéma montre émission de rayons x de l'appareil radiogène .....	11
Figure II-5 : shéma de l'anode agrandie,montrant le cible et synthétisant les interactions au niveau de la cible.....	12
Figure II-6 : Collision accompagnée d'un dégagement de chaleur : l'électron incident est dévié par le nuage d'électrons de l'atome de tungsten .....	12
Figure II-7 : Collision accompagnée d'un dégagement de chaleur : l'électron incident percute et déplace un électron de la couche externe de l'atome de tungstène .....	12
Figure II-8 : Collision accompagnée d'une émission de rayons X.....	13
Figure II-9 : shéma montre différent composant de construire l'image radiographique .....	14
Figure II-10 : l'appareil radiogène .....	15
Figure II-11 : Vue de face de quatre cylindres apparemment similaires construits .....	17
Figure II-12 : problème des images partielles nécessitant a l'observateur de comblet mentqlément les lacunes (a-chien b- elephant c-bateau a vapeur).....	17
Figure II-13 : Effet de contraste.....	18

### ***Chapitre III. Equipement dentaire, Générateur de RX, Radiographie Argentique et Numérique***

Figure III-1 : exemple des générateurs dentaires modernes .....	20
Figure III-2 : schéma d'un générateur dentaire de rayon X classique montrant les principaux constituants de l'appareil.....	22
Figure III-3 : schéma montrant différents types et différents formes de cônes de localisation , tube radiogène moderne , et le tube authentique avec la source de rayonnements ionisants ... ..	22
Figure III-4 : schéma montrant les graphiques des ondes réfléchies et des productions de rayons X issus de différents modèles de réctifications .....	24
Figure III-5 : schéma montrant la structure du film argentique.....	26

## LISTE DES FIGURES

Figure III-6 : schéma montrant l'action des photons .....	27
Figure III-7 : schéma montrant la courbe sensitométrique .....	28
Figure III-8 : schéma montrant la latitude d'exposition.....	29
Figure III-9 : exemple d'un angulateur.....	32
Figure III-10 : les différents capteurs ERLM utilisés dans le service d'odontologie (T2 : taille adulte T0 : taille enfant ).....	39

### **Chapitre IV. Apport Radiologique en odontologie**

Figure IV-1 : Représentation schématique .....	46
Figure IV-2: Représentation schématique des différent type de de foramen apical selon dummer et al .....	48
Figure IV-3 : dépôt chronologique du ciment et déviation du foramen .....	48
Figure IV-4 : Tableau montant différent anatomie canalaire selon vertucci.....	49
Figure IV-5: Classification de weine.....	50
FigureIV-6: Classification de Deus .....	51
Figure IV-7: Classification de Nolla .....	51
Figure IV-8: Classification de SISTA .....	52
Figure IV-9: Schématisation des techniques de la bissectrice (à gauche) et des plans parallèles (à droite) (traduit d'parés jones et al 2007) .....	53
Figure IV-10: Schématisation de la technique de la bissectrice (modifié et traduit d'après Whaites Et drage 2013) .....	54
Figure IV-11: Technique de la bissectrice .....	54
Figure IV-13 : Erreurs d'angulation du tube conduisant à la distorsion de l'image (modifié et traduit d'après Whaites et Drage 2013) .....	55
Figure IV-14: Schématisation de la technique des plans parallèles.....	55
Figure IV-15: technique des plans parallèl Au maxillaire et à la mandibule .....	56
Figure IV-16: angulation verticale au maxillaire .....	57
Figure IV-17: règle de Clark.....	58
Figure IV-18: règle de Walton.....	59
Figure IV-19: règle de SLOB .....	60
Figure IV-20: image montrant différent composant en technique radiographique de bitewing et image radiographique de cette technique .....	61
Figure IV-21: image montrant l'application de mordus sur le maxillaire et image radiographique de cette technique .....	62
Figure IV-22: image montrant l'application de mordus sur le mandibule et image radiographique de cette technique .....	63
Figure IV-23: image montrant l'application de cliché désocclusion sur le maxillaire et image radiographique de cette technique .....	63
Figure IV-24: : image montrant l'application de de cliché désocclusion sur le mandibule et image radiographique de cette technique .....	64
Figure IV-25: clichés radiovisiographie:.....	64

## LISTE DES FIGURES

Figure IV-26: Images montrant la diapositive panoramique et différente composant. Et la technique de prise .....	66
Figure IV-27: Schéma montrant le balyage tout autour l'appareil oro facial par diapositive panoramique .....	67
Figure IV-28: Schéma montrant l'ouverture de collimateur en relation avec la longueur de cliché récepteur.....	68
Figure IV-29: Schéma montrant le balyage tout autour l'appareil de denta scan .....	69
Figure IV-30: image radiographique a partir de denta scan.....	69
Figure IV-31: conebeamcomputedtomography .....	71
Figure IV-32: Schéma montre le balayage de l'appareil CBCT l'appareil orofacial .....	72
Figure IV-33: images exportées au format standard DICOM.....	72
Figure IV-34: Carie détecté par cliché rétro alvéolaire sur la 36.....	76
Figure IV- Carie proximal détecté par cliché rétro alvéolaire sur la 26.....	76
Figure IV-36: Hypercementose.....	77
Figure IV-37: Calcifications .....	78
Figure IV-38: Résorption radiculaire interne .....	78
Figure IV-39: Résorption radiculaire externe.....	79
Figure IV-40: Rapport dent/sinuse .....	80
Figure IV-41: les kystes dentaires .....	80
Figure IV-42: le granulome dentaire.....	80
Figure IV-43: Fractures compliquées de la couronne .....	81
Figure IV-44: fracture coronoradiculaire .....	82
Figure IV-45: déterminer l'anatomie dentaire .....	83
Figure IV-46: détecté les instruments fracturés .....	83
Figure IV-47: radio avec lime K en place .....	85
Figure IV-48: radio avec Maître cone en place.....	86
Figure IV-49: Étanchéité et Longueur de l'obturation.....	86

### **Chapitre V. Apport de la Radiographie Tridimensionnelle (cone BEAM) en endodontie**

Figure V-1 : Facteurs tissulaires (Wt) pour le calcul de la dose efficace E.....	114
Figure V-2 : Comparaison des artefacts métalliques induits chez un même sujet, par le scanner Rx lightspeed GEMS (A) et le cone beam 3D Acuitomo (B), moins importants pour ce dernier.....	116
Figure V-3 : Exemples de reconstitution d'une première molaire obtenue à partir d'images provenant d'un CBCT montrant l'aire canalaire du canal MV1 (MB1) MV2 (MB2) disto-vestibulaire (DB) et palatin (P).....	114
Figure V-4 : Séries d'images provenant d'un CBCT d'une première molaire maxillaire représentant l'anatomie interne et les variations anatomique dans différents niveaux canalaires.	

## LISTE DES FIGURES

.....	116
Figure V-5 : Vue axiale démontrant la présence d'un MV2 dans la molaire maxillaire droite .....	114
Figure V-6 : radiographie d'une 32 présentant une invagination.....	116
Figure V-7 : classification de Oehler's .....	114
Figure V-8 : image montrant le Cone Beam de la 32.....	116
Figure V-9 : radiographie rétro-alvéolaire du traitement final de la 32 .....	114
Figure V-10 : Radiographie en deux dimensions et CBCT de 14 montrant 3 racines .....	116
Figure V-11 : tableau montrant les résultats de l'étude concernant la mise en évidence des résorptions .....	114
Figure V-12 : radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la présence d'une résorption sur la 45. (Cas du Dr Chaudeau).....	116
Figure V-13 : coupe sagittale du Cone Beam réalisé sur la 45. (Cas du Dr Chaudeau).....	114
Figure V-14 : coupe axiale du Cone Beam réalisé sur la 45. (Cas du Dr Chaudeau) .....	116
Figure V-15 : tableau montrant la prévalence des LIPOE en fonction du système radiographique utilisé . ....	114
Figure V-16 : rétro-alvéolaire d'une incisive centrale maxillaire .....	116
Figure V-17 : Cone Beam de l'incisive centrale maxillaire droite.....	114
Figure V-18 : tableau résumant le CBCTPAI (d'après Estrela et coll).....	116
Figure V-19 : classification du CBCTPAI.....	114
Figure V-20 : radiographie d'une 46 .....	116
Figure V-21 : CBCT mettant en évidence une fracture.....	114
Figure V-22 : radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la présence d'une fracture radiculaire horizontale de la 21 .....	116
Figure V-23 : radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la présence d'une fracture radiculaire horizontale de la 21.....	114
Figure V-24 : image issu du Cone Beam réalisé sur la 21 .....	116
Figure V-25 : Instrument fracturé dans la racine mésiale d'une molaire mandibulaire .....	114
Figure V-26 : CBCT d'un instrument fracturé dans le canal mésio-vestibulaire(Source : Dr Sevin,2018) .....	116
Figure V-27 : perforation évidente du plancher pulpaire de cette molaire, visible par une zone radio-claire et la discontinuité des racines au niveau de la furcation.....	114
Figure V-28 : radiographie avec lime en place objectivant la présence d'une perforation de la racine distal. ....	116
Figure V-29 : CBCT d'une perforation en A et d'un stripping en B .....	114
Figure V-30 : Radiographie rétro-alvéolaire orthocentrée d'une incisive centrale .....	116
Figure V-31 : image issue d'un Cone Beam mettant en évidence la présence de foramens mentonniers accessoires .....	114
Figure V-32 : radiographie rétro-coronaire montrant des lésions carieuses proximales (flèches).....	116
Figure V-33 : Schémas montrant des lésions carieuses situées à des endroits différents	

## LISTE DES FIGURES

---

.....	114
Figure V-34 : Carie occlusale d'une même dent. A: cliché radiologique conventionnel, B: imagerie CBCT, C: coupe histologique. Notons que la carie est bien plus visible au CBCT qu'à la rétro-alvéolaire .....	116
Figure V-35 : Caries proximales d'une même dent. A: radiographie conventionnelle: imagerie CBCT, C: coupe histologique. Le CBCT ici apporte d'avantage d'indication sur le volume des caries proximales.....	114

### ***Chapitre VI. Les Mesures et Les Moyens de la Radioprotection***

Figure VI-1 : Effet direct et indirect du rayonnement ionisant sur l'adn.....	116
Figure VI-2 : Devenir cellulaire suite à des modifications de l'adn .....	114
Figure VI-3 : Bébé thalidomide .....	116
Figure VI-4 : Enfant porte l'effet génétique .....	116
Figure VI-5 : la blouse plombée .....	114
Figure VI-6 : tablier de protection pédiatrique .....	116
Figure VI-7 : protégé-gonades.....	116
Figure VI-8 : visière de radioprotection .....	114
Figure VI-9 : col thyroïdien de protection.....	116
Figure VI-10 : diaphragme .....	114
Figure VI-11 : calles mousse .....	116
Figure VI-12 : les sangles .....	114

## LISTE DES FIGURES

---

### *Introduction*

La radiographie est un procédé d'imagerie qui permet de visualiser les structures anatomiques internes au moyen des faisceaux de rayons X traversant le patient. C'est une technique utilisée en médecine pour affiner un diagnostic afin de réaliser un traitement adapté.

L'imagerie est certainement l'un des domaines de la médecine qui a le plus progressé ces 30 dernières années et qui se retrouve au cœur des révolutions médicales.

L'odontologie a naturellement bénéficié des innovations en imagerie médicale. L'utilisation de l'image en odontologie constitue une réalité de la pratique quotidienne. Malgré le fait qu'elle doit rester un examen complémentaire, elle intervient dans toutes les étapes de la prise en charge du patient. Les différentes phases du diagnostic et de la thérapeutique endodontiques peuvent faire appel à différentes modalités d'imageries intra et/ou extra-orales. Les appareils radiographiques intra-oraux font partie du matériel d'équipement du cabinet dentaire.

Depuis quelques années, la radiographie numérique remplace progressivement la radiographie argentique de par ses avantages tels que la qualité de l'image, le gain de temps et la faible exposition de dose d'irradiation. L'odontologie est l'une des disciplines médicales qui prescrit le plus d'examens radiographiques.

La pratique de dentisterie conservatrice représente plus de 50 % de la pratique odontologique et la radiographie constitue l'examen complémentaire principe pour le chirurgien-dentiste. Le traitement endodontique qui a pour objectif de traiter les maladies de la pulpe et du périapex et ainsi de transformer une dent pathologique en une entité saine, asymptomatique et fonctionnelle sur l'arcade requiert la prise d'au moins 3 clichés radiographiques : la préopératoire, la per- et la postopératoire. C'est de plus en plus un acte quotidien pour le chirurgien-dentiste.

## INTRODUCTION

---

### *Introduction*

La radiographie est un procédé d'imagerie qui permet de visualiser les structures anatomiques internes au moyen des faisceaux de rayons X traversant le patient. C'est une technique utilisée en médecine pour affiner un diagnostic afin de réaliser un traitement adapté.

L'imagerie est certainement l'un des domaines de la médecine qui a le plus progressé ces 30 dernières années et qui se retrouve au cœur des révolutions médicales.

L'odontologie a naturellement bénéficié des innovations en imagerie médicale. L'utilisation de l'image en odontologie constitue une réalité de la pratique quotidienne. Malgré le fait qu'elle doit rester un examen complémentaire, elle intervient dans toutes les étapes de la prise en charge du patient. Les différentes phases du diagnostic et de la thérapeutique endodontiques peuvent faire appel à différentes modalités d'imageries intra et/ou extra-orales. Les appareils radiographiques intra-oraux font partie du matériel d'équipement du cabinet dentaire.

Depuis quelques années, la radiographie numérique remplace progressivement la radiographie argentique de par ses avantages tels que la qualité de l'image, le gain de temps et la faible exposition de dose d'irradiation. L'odontologie est l'une des disciplines médicales qui prescrit le plus d'examens radiographiques.

La pratique de dentisterie conservatrice représente plus de 50 % de la pratique odontologique et la radiographie constitue l'examen complémentaire principe pour le chirurgien-dentiste. Le traitement endodontique qui a pour objectif de traiter les maladies de la pulpe et du périapex et ainsi de transformer une dent pathologique en une entité saine, asymptomatique et fonctionnelle sur l'arcade requiert la prise d'au moins 3 clichés radiographiques : la préopératoire, la per- et la postopératoire. C'est de plus en plus un acte quotidien pour le chirurgien-dentiste.

## **CHAPITRE I :**

***Généralité et histoire de la découverte des des rayons X***

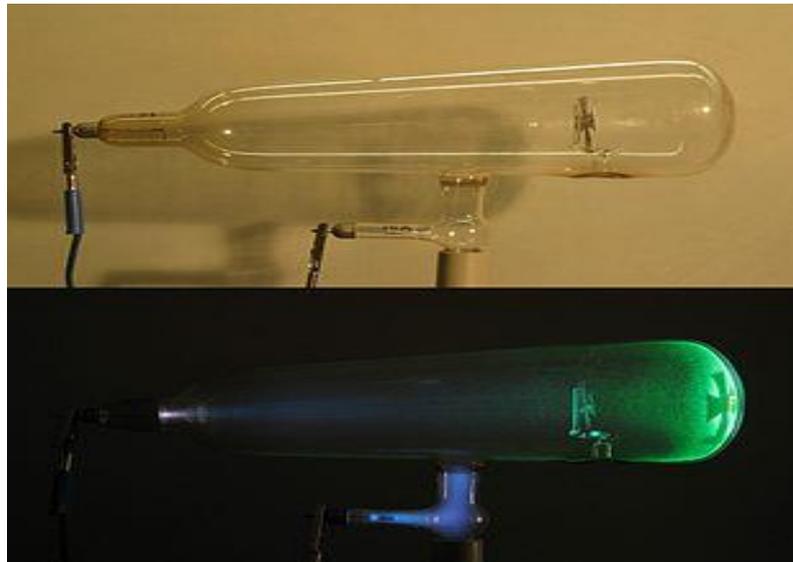
## Chapitre I. *Généralité et histoire de la découverte des rayons X*

### I-1. Histoire de la découverte des rayons X :

En 1895, le physicien allemand Wilhelm Röntgen alors âgé de 50 ans étudie le rayonnement cathodique avec des tubes de Crookes. Il s'intéresse plus précisément à la pénétration des rayons dans le verre. Il a déjà été constaté à l'époque que les rayons cathodiques peuvent franchir la paroi du tube et pénétrer de quelques centimètres dans l'air.



**Figure I.1:** plan de Wilhelm Conrad Roentgen



**Figure I.2:** l'un tube de Crookes

→ Les électrons circulent en ligne droite de la cathode, sur la gauche, mise en évidence par l'ombre portée de la croix sur la paroi fluorescente, à droite. L'anode est en bas

- ❖ Dans la soirée du 8 novembre, au cours de ses travaux préliminaires il décide de recouvrir le tube d'un cache en carton noir. Il constate alors qu'un écran recouvert d'une couche de platinocyanure de baryum placé fortuitement en face du tube devient fluorescent lors de la décharge. Or il sait qu'à cette distance, la fluorescence ne peut pas être due aux rayons cathodiques. Il éloigne encore l'écran et constate que la fluorescence persiste malgré l'augmentation de la couche d'air à traverser. Puis il intercale des objets entre l'ampoule et l'écran : une feuille de papier, une feuille d'aluminium, du bois, du verre et même un livre de mille pages. À chaque fois la fluorescence persiste : il en conclut qu'il vient de découvrir un rayonnement distinct de celui émis par la cathode, très pénétrant puisqu'il est capable de traverser la matière. Ces rayons étant inconnus jusqu'alors, il les nomme « X » du nom de l'inconnue en mathématiques.
- ❖ Il consacre les dernières semaines de 1895 à manipuler en solitaire et parvient à attribuer les caractéristiques suivantes aux rayons X :
  - Ils sont faiblement absorbés par la matière. Mais cette absorption augmente avec la masse atomique des atomes absorbants : une fine couche de plomb suffit à stopper le rayonnement produit avec ses sources de rayons X.
  - Ils sont diffusés par la matière. C'est l'origine du rayonnement de fluorescence.
  - Ils impressionnent une plaque photographique.
  - Ils déchargent les corps chargés électriquement.
  - Il montre également que les rayons ont pour origine la paroi du tube de verre à l'endroit où arrive le rayonnement cathodique.
- ❖ Dans sa première communication faite à la Société Physico-Médicale de Würzburg « Sur un nouveau type de rayon » il remarque que « si l'on met la main entre l'appareil à décharges et l'écran, on voit l'ombre plus sombre des os de la main dans la silhouette un peu moins sombre de celle-ci. » Röntgen décrit la première image radiographique. Il réalise également le premier cliché radiographique le 22 décembre 1895 en intercalant la main de son épouse entre le tube de Crookes et une plaque photographique. Les parties les plus denses et épaisses sont les plus sombres sur la plaque : on distingue une bague sur le majeur.



**Figure I.3:** Premier cliché radiographique (Röntgen,1895)

→ Röntgen se verra attribuer le premier Prix Nobel de physique en 1901 en récompense « des services extraordinaires rendus possibles par sa découverte des rayons remarquables qui portent son nom »

#### **I.1.1- Premières utilisations en imagerie médicale :**

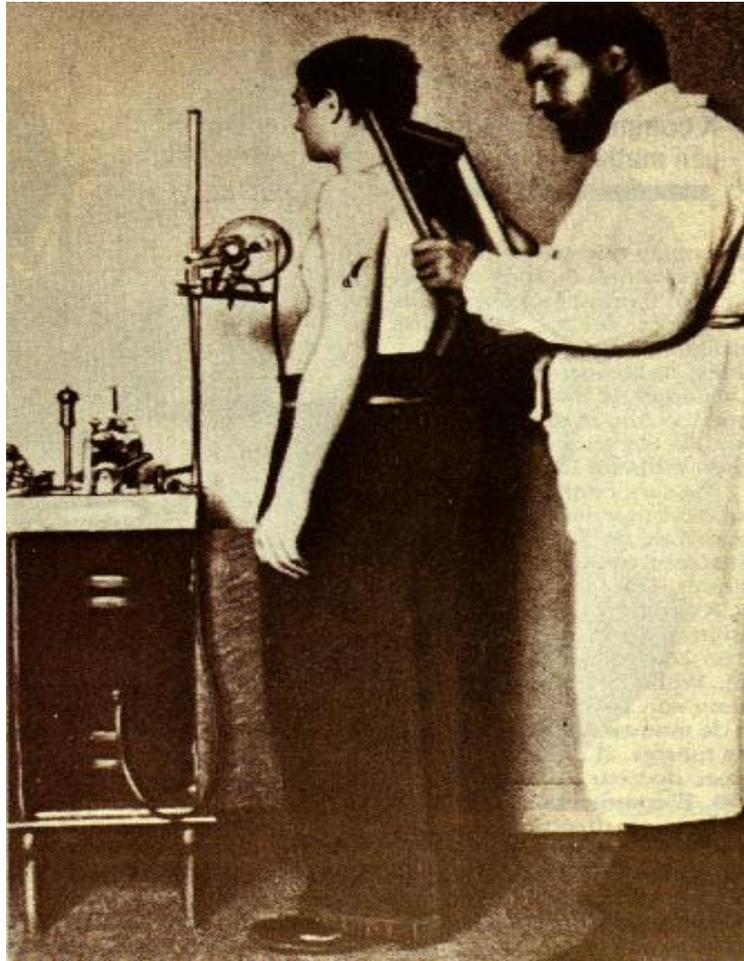
Les rayons X suscitent immédiatement un vif intérêt au sein du public : les premières radiographies font le tour du monde par voie de presse et il ne faut pas longtemps pour que la radioscopie (observation sans prise de cliché) et la radiographie deviennent des attractions de foires.

Le corps médical saisit très vite l'intérêt offert par cette technique d'imagerie. Le dentiste allemand Walkhoff présente la première radiographie dentaire deux semaines seulement après la communication de Röntgen à la Société Physico-Médicale de Würzburg. Le temps de pause est très long, 25 minutes, et la qualité du cliché ne permet pas le diagnostic, mais les perspectives ouvertes sont importantes.



**Figure I.4:** Première radiographie dentaire (Walkhoff)

L'usage des rayons X pour réaliser des images médicales se répand dans le monde entier dès 1896. En 1897, la France se dote du premier laboratoire de radiologie grâce au docteur Bécclère qui met en place, à ses frais, une installation radioscopique dans son service de médecine générale à l'hôpital Tenon. Une radioscopie du thorax des patients permet le dépistage systématique de la.



**Figure I.5:** Radiographie des poumons par le docteur Bécclère

→On peut voir devant le patient le tube générateur de rayons X. (Image : Institut Curie)

## I-2.Généralité sur les rayons X :

### I.2.1-Définitions :

#### A- La radiologie :

Dans le domaine médical, désigne l'ensemble des modalités diagnostiques et thérapeutiques utilisant les rayons X, ou plus généralement utilisant des rayonnements pour obtenir des images d'une partie du corps ou des organes.

On distingue deux types d'examen radiologiques :

**A.1. La radiologie bidimensionnelle :** la plus ancienne est encore la plus utilisée, qui est la projection d'un volume sur un plan, ( radiographie rétroalvéolaire, orthopantomographie ).

**A.2 La radiologie tridimensionnelle :** qui provient de l'acquisition de coupes scanner X (chaque coupe est une image bidimensionnelle) et à partir desquelles peut être réalisée une reconstruction tridimensionnelle.

#### B- Les rayons X :

Les rayons X sont une forme de rayonnement électromagnétique à haute fréquence dont la longueur d'onde est comprise approximativement entre 5 pico mètres et 10 nanomètres, l'énergie de ces photons va de quelques eV (électronvolt), à plusieurs dizaines de MeV (milli-électron-volt).

C'est un rayonnement ionisant utilisé dans de nombreuses applications dont l'imagerie médicale.

#### C-Clarté ou transparence :

Il s'agit d'une image radiologique correspondant à des structures qui atténuent moins les rayons X que le voisinage.

Sur un film radiographique standard, cette image sera plus sombre que les zones voisines. Zone de moindre densité = (sombre ou noire).

#### D- Opacité ou hyperdensité, densification, condensation :

Il s'agit d'une image radiologique correspondant à des structures qui atténuent plus les rayons X que le voisinage.

Sur un film radiographique standard, cette image sera plus blanche que voisines.

Zone de forte densité = ( blanche )



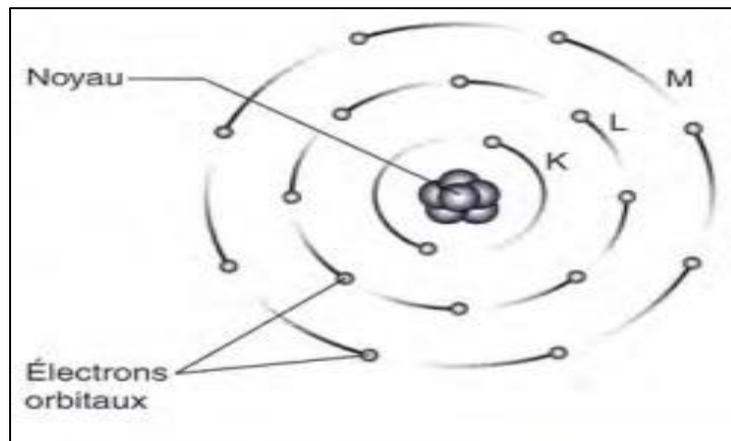
## **CHAPITRE II :**

***Production, Propriété de rayons X et formation d'image***

## *Chapitres II. Production, Propriété de rayons X et formation d'image*

### II.1. Rappel sur la structure atomique :

Les atomes sont les éléments constitutifs fondamentaux de la matière. Ils sont composés d'infimes particules appelées particules fondamentales ou particules élémentaires, dont la cohésion est assurée par des forces électriques et nucléaires. Les atomes sont constitués d'un noyau central dense contenant des particules nucléaires protons et neutrons entouré d'électrons qui occupent des orbitales ou couches spécifiques.



**Figure II.1:** Représentation schématique de la structure atomique montrant le noyau central et les électrons orbitaux

### II.2. La production des rayons X :

Les rayons X sont produits dans des appareils appelés générateurs de rayons X ; Un appareil à rayons X caractéristique utilisé en odontologie est illustré.

La partie génératrice de rayons X est appelée tube radiogène (**Figure II.2**). Il contient une petite ampoule de verre, le tube à rayons X, où règne un vide absolu.

Les rayons X sont produits à l'intérieur du tube à rayons X lorsque des électrons énergétiques (haute vitesse) bombardent la cible et sont arrêtés brutalement.



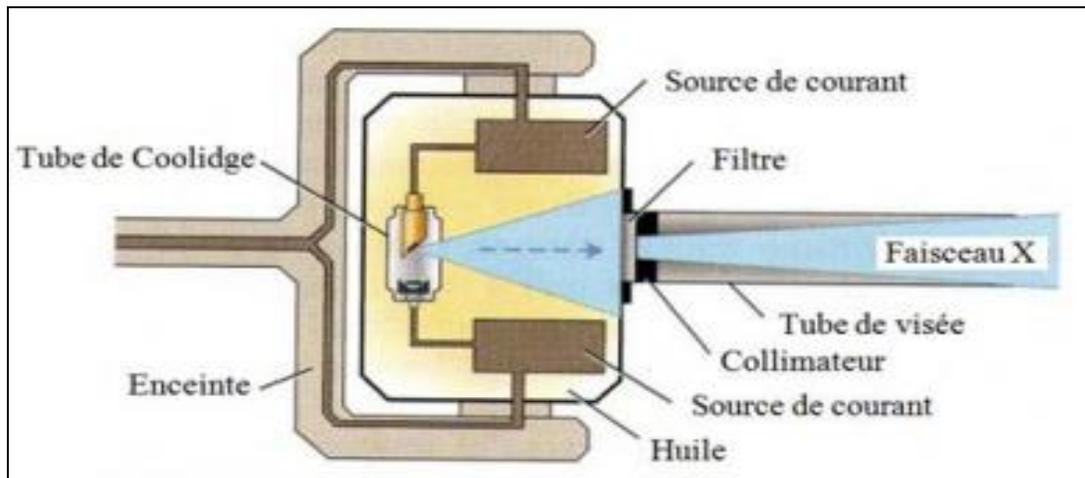
**Figure II.2:** l'appareil radiogène

### II.3. Les propriétés des rayons X:

- Les rayons X sont des paquets d'ondes d'énergie de rayonnement électromagnétique émis au niveau de tube radiogène.
  - Chaque paquet d'ondes est équivalent à un quantum d'énergie appelé photon.
  - Un faisceau de rayons X est constitué de millions de photons de différentes énergies.
  - Le faisceau de rayons X utilisé pour le diagnostic peut varier en intensité et en qualité.
- intensité le nombre ou la quantité de photons X dans le faisceau;
- qualité l'énergie des photons X qui est une mesure de leur pouvoir de pénétration.
- Les facteurs susceptibles de modifier l'intensité et/ ou la qualité du faisceau comprennent:
- amplitude de la tension appliquée au tube (kv).
  - amplitude du courant circulant dans le tube (ma).
  - distance de la cible (d).

### II.4. Caractéristiques et exigence principale d'un tube de rayons X :

- La cathode (portée à un potentiel négatif) est constituée d'un filament de tungstène chauffé qui fournit la source d'électrons.
- L'anode (portée à un potentiel positif) représente la cible (une petite pièce en tungstène) enchâssée dans la face biseautée d'un bloc de cuivre massif afin d'assurer une évacuation efficace de la chaleur. Un dispositif de focalisation dirige le flux d'électrons vers le point focal de la cible.
- Une haute tension (exprimé en kilovolts, kv) établie entre la cathode et l'anode accélère les électrons entre le filament négatif et la cible positive. On la désigne parfois par kvp ou tension maximale.
- Un courant (exprimé en milliampères, ma) circule de la cathode à l'anode et représente une mesure de la quantité d'électrons accélérés.
- Une gaine tapissée de plomb entoure le tube et absorbe les rayons X à titre de mesure de radioprotection car les rayons X sont émis dans toutes les directions.
- L'huile environnant le tube facilite l'évacuation de la chaleur.



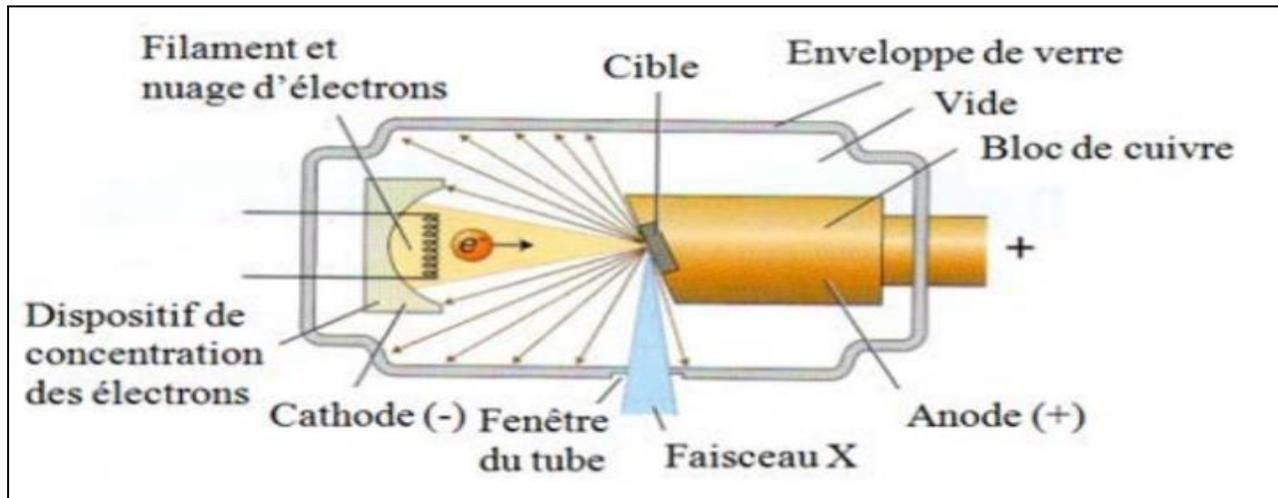
**Figure II.3:** Schéma montrant différents composants de l'appareil radiogène

### II.5. Considérations pratiques:

La production de rayons X peut être résumée par la séquence des événements suivants :

1. Le filament est chauffé par un courant électrique et un nuage d'électrons est produit autour de celui-ci.
2. La haute tension (différence de potentiel) appliquée au tube accélère les électrons et les projette à très grande vitesse vers l'anode.
3. Le dispositif de focalisation concentre le flux d'électrons sur le point focal de la cible.
4. Les électrons bombardent la cible et sont arrêtés brutalement.
5. L'énergie perdue par les électrons est convertie en chaleur (environ 99 %) ou en rayons X (environ 1%).

6. La chaleur produite est évacuée et dissipée par le bloc de cuivre et l'huile environnant le tube.
7. Les rayons X sont émis dans toutes les directions depuis la cible. Ceux qui sont émis au travers de la petite fenêtre taillée dans la gaine de plomb constituent le faisceau utilisé à des fins diagnostiques.

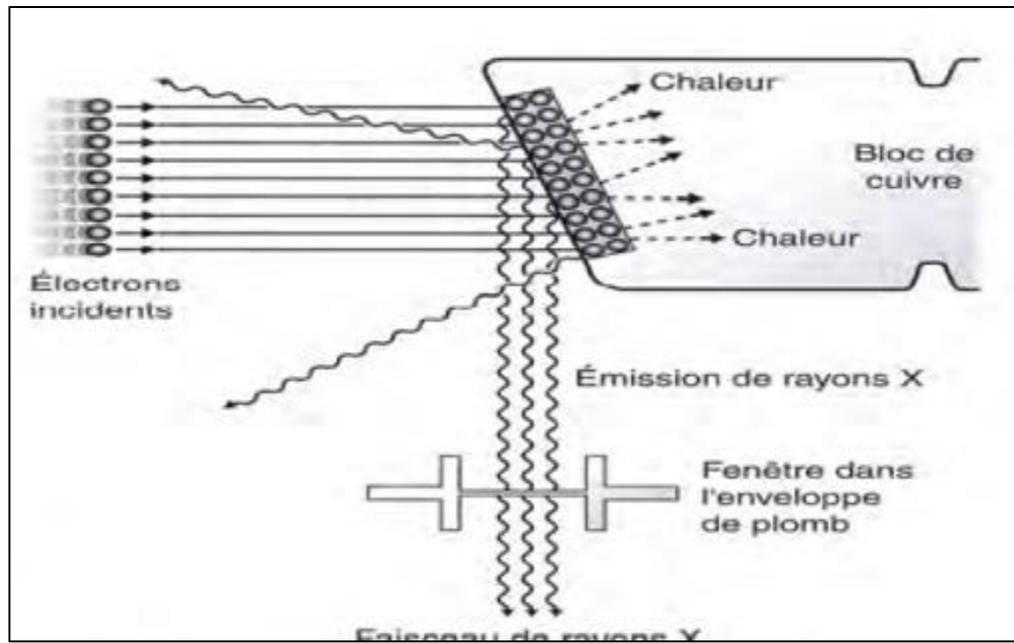


**Figure II.4:** Schéma montre émission de rayons x de l'appareil radiogène

### II.6. Interactions au niveau atomique:

Les électrons qui bombardent la cible à grande vitesse sont impliqués dans deux types principaux de collision avec les atomes de tungstène :

- Collisions accompagnées d'un dégagement de chaleur.
- Collisions accompagnées d'une émission de rayons X.

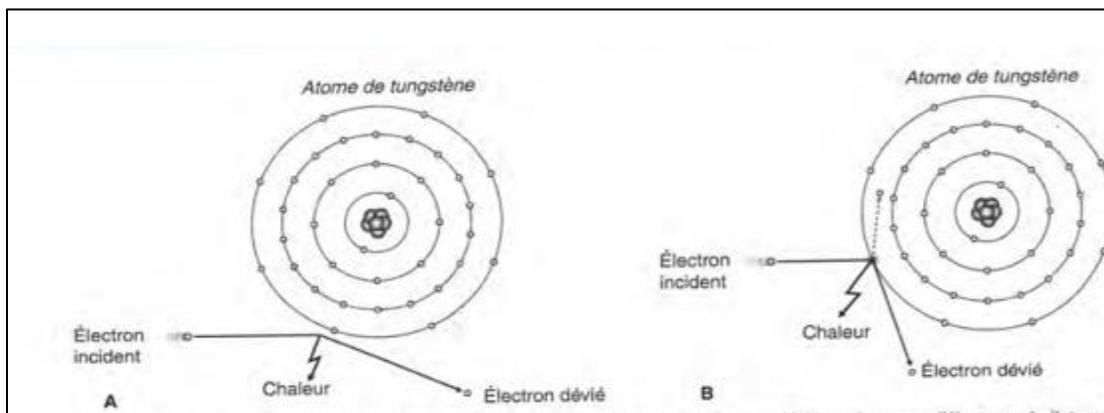


**Figure II.5:** schéma de l'anode agrandie, montrant le cible et synthétisant les interactions au niveau de la cible

### II.6.1. Collisions accompagnées d'un dégagement de chaleur :

L'électron incident est dévié par le nuage d'électrons des couches externes de l'atome de tungstène et perd un peu d'énergie sous forme de chaleur (**Figure II.6.**).

L'électron incident percute un électron d'une couche externe de l'atome de tungstène et le déplace dans une couche encore plus externe (excitation) ou l'éjecte de l'atome (ionisation), de nouveau avec une légère perte d'énergie sous forme de chaleur (**Figure II.7.**)



**Figure II.6.:** Collision accompagnée d'un dégagement de chaleur : l'électron incident est dévié par le nuage d'électrons de l'atome de tungstène

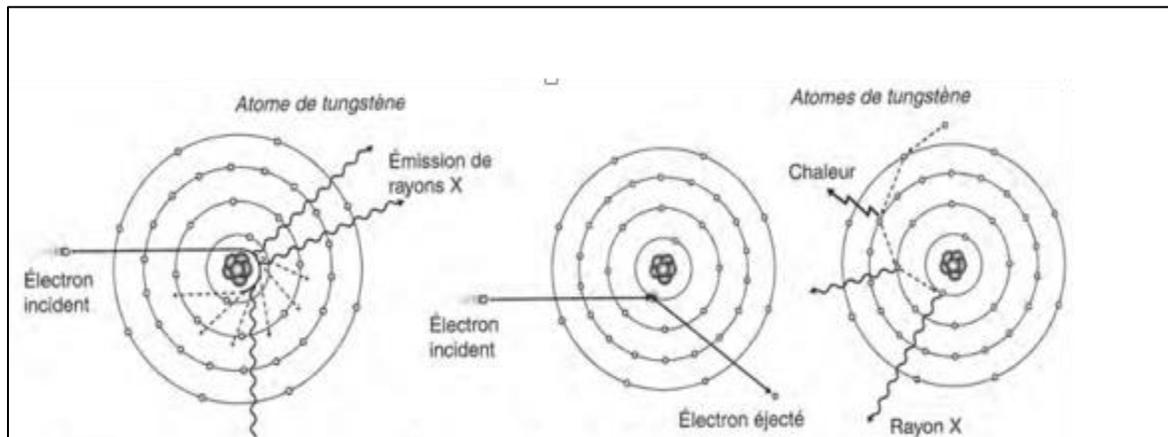
**Figure II.7.:** Collision accompagnée d'un dégagement de chaleur : l'électron incident percute et déplace un électron de la couche externe de l'atome de tungstène

### II.6.2. Collisions accompagnées d'une émission de rayons X :

L'électron incident est fortement ralenti et dévié par le noyau, avec une importante perte d'énergie qui est émise sous forme de rayons X (**Figure II.8.**).

L'électron incident percute un électron d'une couche interne de l'atome de tungstène et le déplace dans une couche externe (excitation) ou l'éjecte de l'atome (ionisation), avec une importante perte d'énergie et une émission consécutive de rayons X.

L'électron incident pénètre dans les couches électroniques externes et passe près du noyau de l'atome de tungstène.



**Figure II.8.:** Collision accompagnée d'une émission de rayons X

→ l'électron incident passe près du noyau de l'atome de tungstène, subit une décélération rapide et est dévié avec émission de photons X. B. Collision accompagnée d'une émission de rayons X: étape 1- l'électron incident percute un électron d'une couche interne de l'atome de tungstène et le déplace: étape 2 - les électrons des couches externes tombent dans les couches internes avec émission consécutive de photons X.

→ Après la traversée d'un milieu, le faisceau de rayons X est atténué et modifié en fonction des structures rencontrées. Ce faisceau est aussi appelé image radiante.

### II.7. Formation géométrique de l'image:

L'image radiologique est une ombre projetée d'objets plus ou moins opaques aux rayons X. C'est une représentation en deux dimensions d'une épaisseur complexe.

L'aspect conique du faisceau de rayons X et l'orientation du rayon directeur entraînent une déformation des structures radiographiées.

Il en résulte une perte d'information quant à la position (profondeur et la forme exacte des objets).

Une deuxième vue, prise souvent avec une incidence perpendiculaire au premier est nécessaire pour évaluer la position et la forme des objets dans l'espace.

Trois éléments sont indispensables à la formation de l'image radiologique:

### II.7.1. Le foyer:

Quasi-ponctuel. c'est la source des rayons X qui prennent naissance sur l'anode du tube.

### II.7.2. Le Récepteur :

Plan de forme rectangulaire orienté de façon orthogonale au faisceau de rayons X. Film le plus souvent, mais progressivement remplacé par des procédés électroniques, qui supporte l'image utile.

### II.7.3. L'Objet :

C'est un volume à 3 dimensions.

L'image Radiologique est l'ombre projetée de l'objet plus ou moins transparent et plus ou moins opaque, aux rayons X.

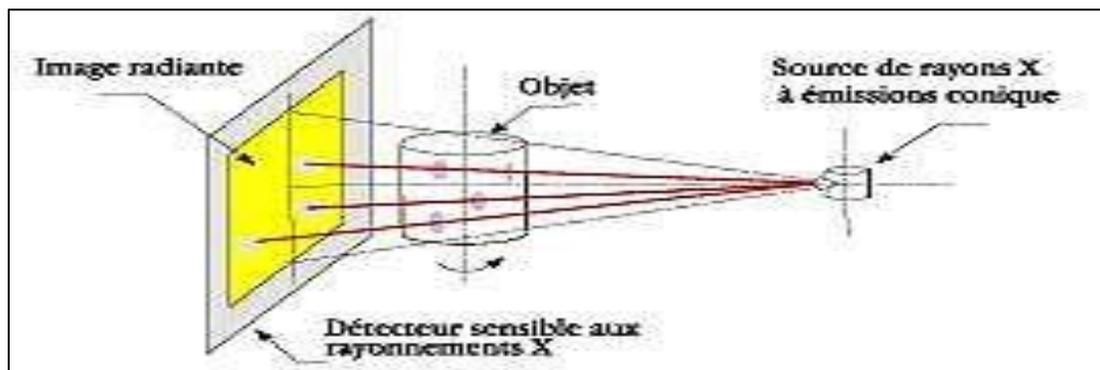


Figure II.9.: schéma montre différents composants de construction de l'image radiographique

### II.7.4. Les Ombres radiographiques :

→ La quantité de rayons X stoppés (ou atténués) par un objet détermine la radio-densité des ombres:

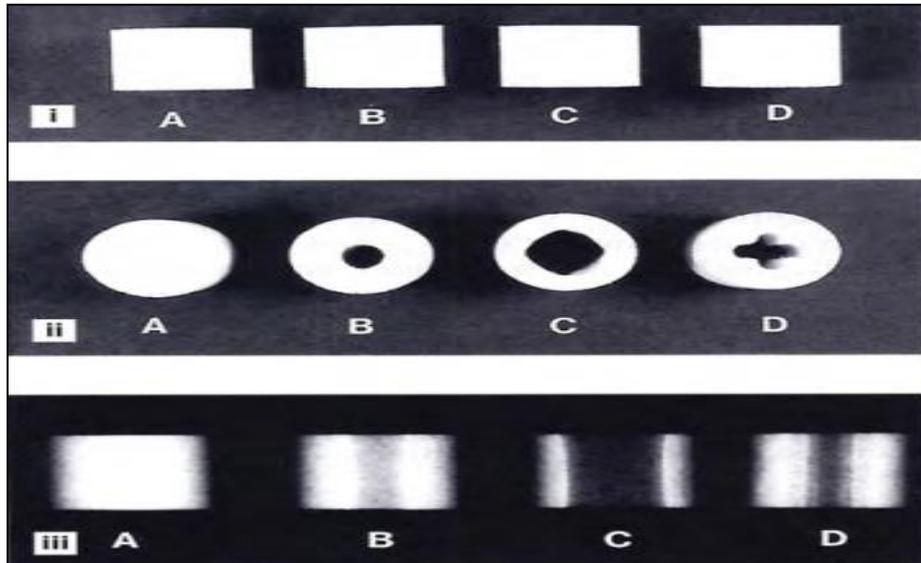
- Les ombres blanches ou radio-opaques sur l'image représentent les différentes structures denses au sein de l'objet qui ont entièrement stoppé les faisceaux de rayons X.
- Les ombres noires ou radiolaires représentent les zones où le faisceau de rayons X est passé à travers l'objet sans avoir été atténué.
- Les ombres grises représentent les zones où le faisceau de rayons X a été atténué selon des degrés différents.

→ La densité de l'ombre finale de n'importe quel objet est par conséquent affectée par :

- Le type de matériau spécifique constituant l'objet.
- L'épaisseur ou la densité du matériau.
- La morphologie de l'objet.
- L'intensité du faisceau de rayons X utilisé.
- La sensibilité et le type de récepteur d'image.

- La position de l'objet en lien avec le faisceau de rayon x et le récepteur d'image.

L'effet des différents matériaux, des différentes épaisseurs/densités, des différentes morphologies et des différentes intensités du faisceau de rayons X exercé sur l'image radiographique.



**Figure II.10. (i)** Vue de face de quatre cylindres apparemment similaires construits en plâtre de Paris

**Figure II.10.(ii)** Vue supérieure montrant que les cylindres ont des conceptions internes et des épaisseurs variables

**Figure II.10.(iii)** Radiographies des cylindres apparemment similaires montrant comment des objets de morphologie et de matériau similaires, mais de densités différentes, produisent des images radiographiques différentes.

### II.7.5. Les Critères de qualité de l'image radiologique :

**II-7-5-a. Contraste** : c'est la différence de noircissement entre deux régions voisines sur l'image.

**II-7-5-b. Définition** : Déterminée par la netteté des contours de l'image.

**II-7-5-c. Résolution** : c'est la possibilité d'un système radiologique de distinguer deux objets l'un de l'autre.

### II.7.6. Qualité de l'image radiographique :

La qualité de l'ensemble de l'image et la proportion de détails montrées par la radiographie dépendent de plusieurs facteurs, incluant :

- **Le contraste** : c'est la différence visuelle entre les différentes ombres noires, blanches et grises.
- **La géométrie de l'image** : c'est les positions relatives du récepteur d'image, de l'objet et du tube radiogène;
- Les caractéristiques du faisceau de rayons X.
- La netteté de l'image et sa résolution.

Ces facteurs sont à leur tour dépendants de plusieurs variables relatives à la densité de l'objet, au type de récepteur d'image et à l'équipement de rayons X.

Cependant, pour représenter la manière dont la précision géométrique et le détail de l'image finale peuvent être influencés, deux des principaux facteurs sont considérés ci-dessous:

#### **II.7.6.a. Positionnement du récepteur d'image, de l'objet et du faisceau de rayons X :**

Les positions du faisceau de rayons X, de l'objet et du récepteur d'image nécessitent de satisfaire à certaines exigences géométriques de base. Elles intègrent le fait que :

- L'objet et le récepteur d'image doivent être en contact ou aussi proches que possible.
- L'objet et le récepteur d'image doivent être parallèles entre eux.
- Le tube radiogène doit être positionné de manière à ce que le faisceau rencontre à la fois l'objet et le récepteur d'image à angle droit.

Ces exigences idéales sont représentées schématiquement sur la figure Les effets observés sur l'image finale lorsque l'on fait varier la position de l'objet.

#### **II.7.6.b. Caractéristiques du faisceau de rayons X :**

Le faisceau de rayons X idéal utilisé pour la radiographie doit être :

- Suffisamment pénétrant, de manière à traverser le patient et à réagir avec l'émulsion du film ou le capteur numérique et de manière à produire un bon contraste entre les différentes ombres
- -parallèle, c'est-à-dire non divergent, pour prévenir l'agrandissement de l'image.
- Produit à partir d'un point source, pour réduire le flou des contours de l'image, phénomène connu sous le terme d'effet de pénombre.

#### **II.7.7. Perception de l'image radiographique :**

Le verbe percevoir signifie appréhender avec l'un ou plusieurs des sens.

La perception est l'acte ou la faculté de percevoir. En radiologie, nous utilisons nos sens pour percevoir l'image radiographique, mais, malheureusement, nous ne pouvons pas nous fier totalement à ce que l'on voit. La projection d'ombres noires, blanches et grises, apparemment simple, est une forme d'illusion optique (du latin *illudere*, signifiant «imiter»).

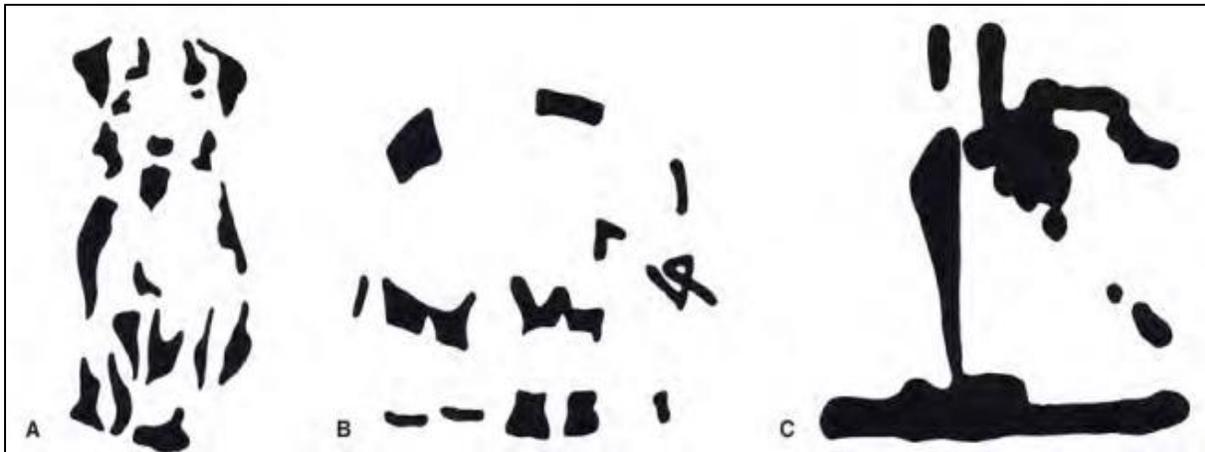
L'image radiographique peut donc imiter nos sens de nombreuses façons.

Les principaux problèmes peuvent être causés par les effets:

- Des images partielles.
- Du contraste du contexte.

#### **II.7.7.a. Effet des images partielles :**

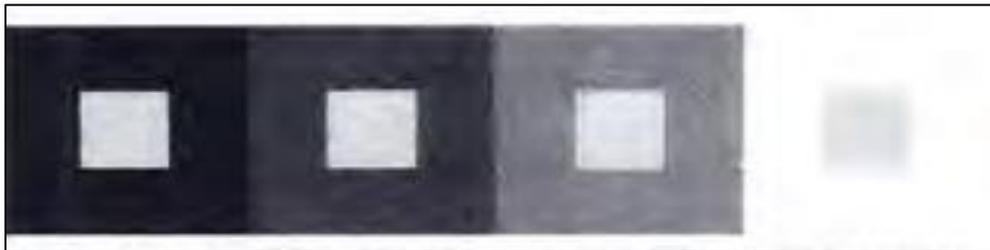
Comme mentionné précédemment, l'image radiographique fournit seulement au praticien une image partielle avec une information limitée sous la forme d'ombres de différentes densités. Pour compléter l'image, le clinicien comble les lacunes mais nous ne faisons pas forcément cela de la même manière, et cela peut conduire à des conclusions différentes. Trois exemples non cliniques sont montrés sur la figure. D'un point de vue clinique, nos perceptions divergentes peuvent conduire à des diagnostics différents.



**Figure II.11.** problème des images partielles nécessitant à l'observateur de compléter mentalement les lacunes (a-chien b- elephant c-bateau a vapeur)

#### II.6.7.b. Effet du contraste :

La densité apparente d'une ombre radiographique particulière peut être affectée considérablement par la densité des ombres environnantes. En d'autres termes, le contraste entre les structures adjacentes peut altérer la densité perçue sur l'une d'entre elles. C'est d'une importance particulière en odontologie, où les restaurations métalliques produisent des ombres blanches radio-opaques qui peuvent affecter la densité apparente des tissus dentaires adjacents, en relation avec le diagnostic de lésions carieuses.



**Figure II.12.** Effet de contraste

#### II.7.7.c. Effet du contexte :

L'environnement ou le contexte dans lequel on observe une image peut affecter notre interprétation de l'image.

En odontologie, l'environnement qui peut modifier notre perception des radiographies est ainsi créé par la description des doléances. Nous pouvons imaginer que nous voyons certains éléments radiographiques car le patient a conditionné notre appareil de perception.

Ces différents problèmes de perception sont intégrés simplement comme une mise en garde vis-à-vis de l'interprétation radiographique qui n'est pas aussi évidente qu'elle pourrait le laisser

penser initialement.

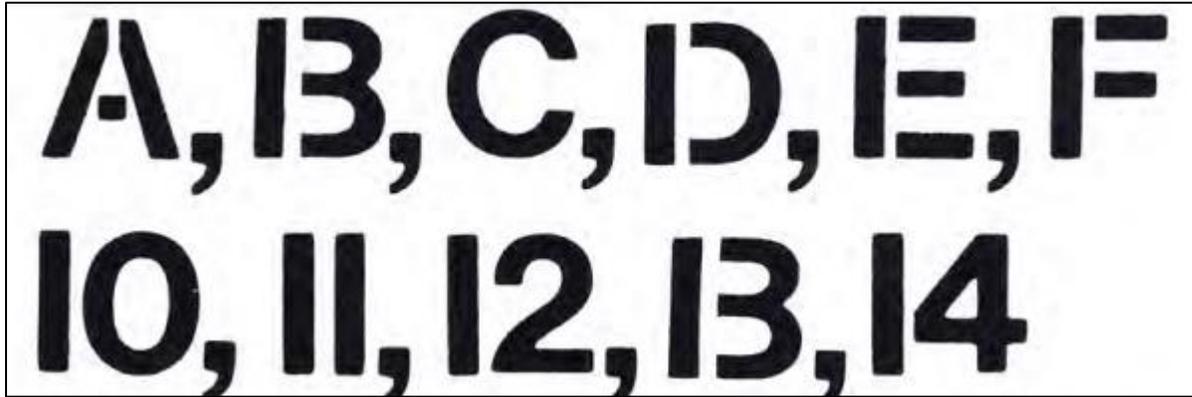


Figure II.13. effets de contexte

## II.7.8. Problématique et les solutions de flou d'image radiographique :

### II.7.8.a. Flous de l'image :

Le flou est l'absence de netteté de l'image

#### ✓ Flou géométrique :

Due au fait que le foyer des rayons X n'est pas ponctuel et que l'objet n'est pas au contact du film. Ce flou est lié à la disposition géométrique des éléments concourant à la formation de l'image : taille du foyer, agrandissement, décalage par rapport au rayon directeur.

Trois types de mouvements:

#### ✓ Flou de Mouvement :

- Mouvement de l'objet : Le malade respire, le cœur bat, les organes digestifs bougent, l'immobilité musculaire ne peut être maîtrisée longtemps.
- Mouvement de foyer
- Mouvement du récepteur : mouvement de la cassette et de son support.

#### ✓ Flou de réception (de film ou d'écran) :

Il est dû à l'épaisseur non négligeable et à la structure granulaire de l'émulsion du film et l'épaisseur des écrans renforçateurs.

#### ✓ Flou de forme:

Le contour parfaitement défini d'un objet produira une image plus nette qu'un objet au contour imprécis.

### II.7.8.b. Solution pour le flou :

#### ✓ Diminution du flou géométrique :

- Choix d'un petit foyer et diminution de la distance sujet-film .à essayer de placer la structure intéressante le plus près possible du film.
- Augmentation de la distance foyer-sujet : malheureusement cela nécessite l'emploi de tube

puissant et donc de gros foyer.

✓ **Diminution du flou cinétique:**

Supprimer ou réduire les causes de mouvements: apnée, immobilité, sangle, sacs de sable, appui sur stati. Avec la réduction du temps de pose mais cela nécessite un tube puissant et donc de gros foyer.

**CHAPITRE III :**

***Equipement dentaire, Générateur de RX, Radiographie***

***Argentique et Numérique***

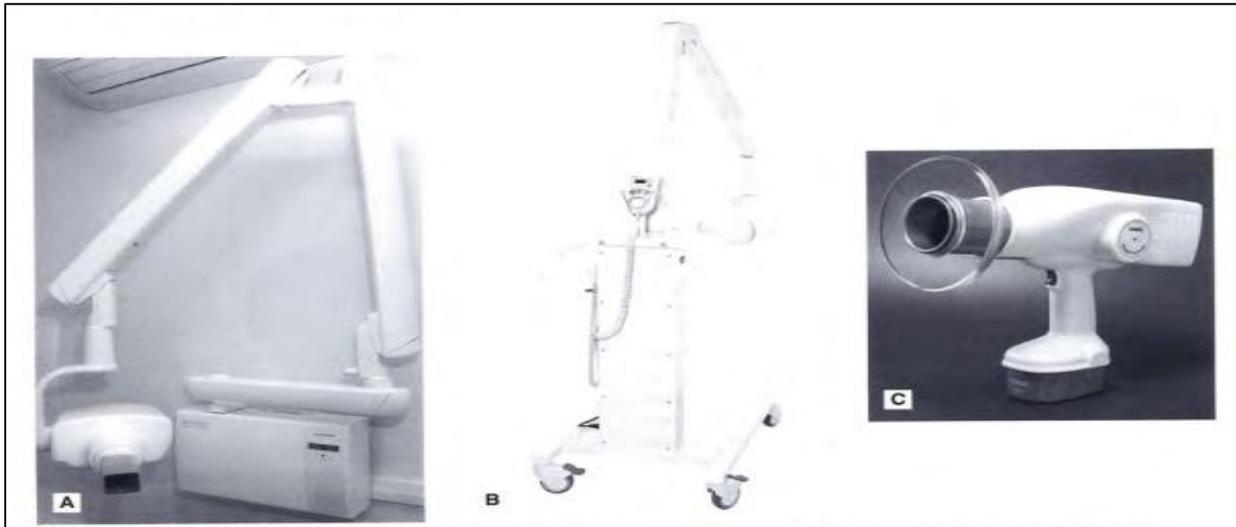
## *Chapitres III. Equipement dentaire, Générateur de RX, Radiographie*

### *Argentique et Numérique*

Ce chapitre synthétise les aspects pratiques les plus importants des générateurs de rayon X dévolus aux cabinets dentaires . Il existe plusieurs équipements disponibles émanant de différents fabricants. Ces générateurs varient en apparence , complexité et cout, mais tous ces équipements réunissent trois composants principaux :

- Un tube
- Un bras de positionnement
- -Un tableau de commande et un câblage

Ces équipements dentaires peuvent être fixes (au sol, au mur, installés au plafond) ou mobiles (solidaires d'un support solide monté sur roulettes), l'une des évolutions a été la fabrication d'équipements dentaires portatifs, peuvent être utiles lors de visites à domicile et pour des radiographies dans le domaine médico-légal .



**Figure III.1:** exemple des générateurs dentaires modernes

- A. Générateurs installés au mur .
- B. Générateurs portatif
- C. Générateurs déplaçable .

→ l'équipement doit être :

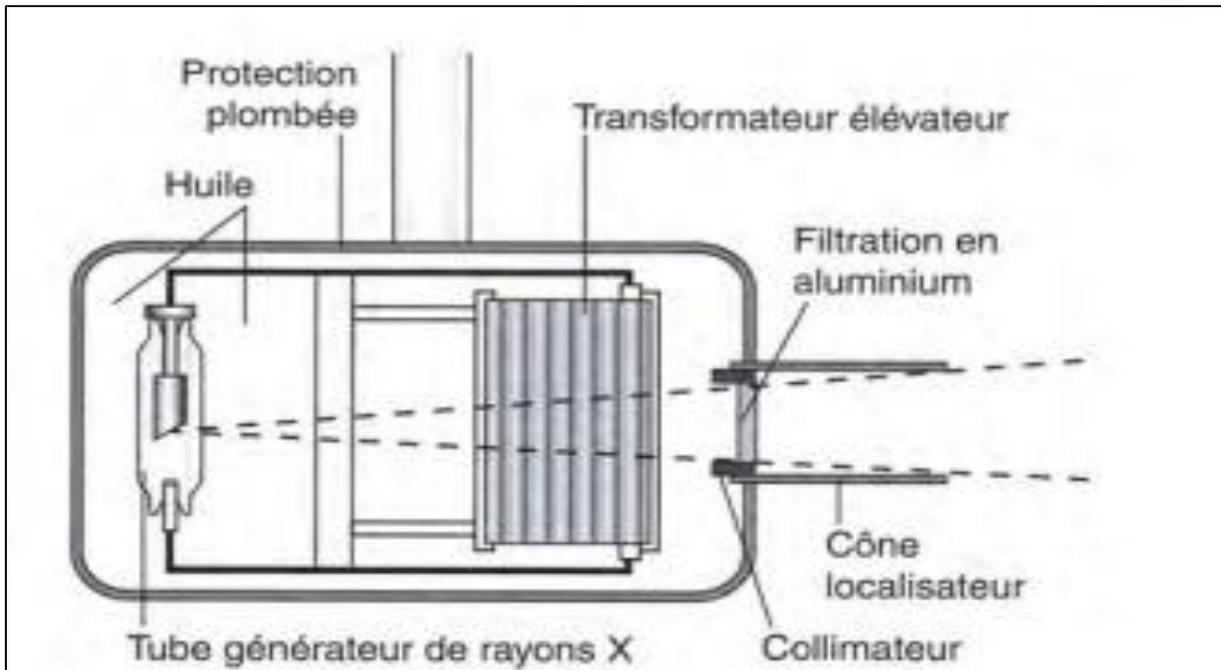
- Petit ,Sécurisé et précis
- Capable de générer des rayonnements ionisants avec le niveau d'énergie désiré et avec

- des mécanismes d'évaluation de la chaleur .
- À haute fréquence ou à tension stabilisée .
  - Facile à manœuvrer et à positionner .
  - Stable et équilibré une fois que le tube radiogène a été installé
  - Facilement replié et rangé .
  - Simple à faire fonctionner et adapter à la fois aux radiographies argentiques et numériques .

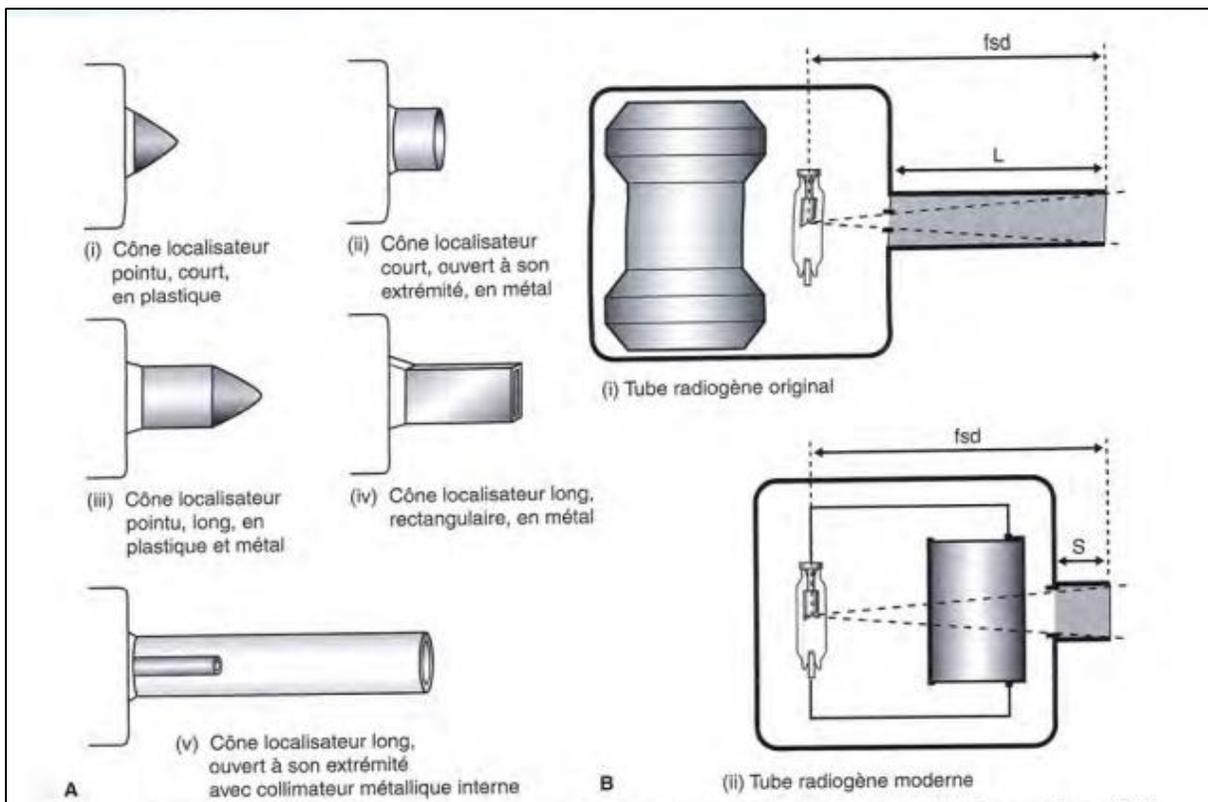
### III.2. Les Principaux composants de tube :

- Le tube de rayon X au sein d'une ampoule de verre, comprenant le filament ( cathode), le bloc en cuivre, et la cible ( anode) .
- Le transformateur requis pour transformer la tension principale de 240 volts en courant de haut voltage ( 50-140 kv), tension devant traverser le tube radiogène.
- Le transformateur requis pour transformer la tension principale de 240 volts en courant de basse tension ( 10-12 KV) nécessaire pour chauffer les filaments
- Une protection plombée pour minimiser les fuites ,
- L'ampoule qui baigne de l'huile pour faciliter l'évaluation de la chaleur , l'huile participant au système de refroidissement
- Une filtration en aluminium pour éliminer les rayonnements de faible énergie ( rayons mous) inutile
- Le collimateur : disque ou cylindre métallique avec une ouverture centrale créer pour former et limiter la taille du faisceau à un rectangle ( de même dimension d'un film intra-oral) ou à un disque de 6 cm de diamètre . **Figure III.3.**
- Le cône localisateur ou dispositif indicateur de faisceau : système pour indiquer la direction de faisceau et régler la distance idéale du foyer optique peau requise est d'au moins 20 cm pour les appareils fonctionnants au-dessus de 60 KV.

C'est la distance de foyer optique à la peau qui est importante et non pas la longueur physique du cône de localisation , différents conceptions sont illustrés sur **Figure III.3.**



**Figure III.2:** schéma d'un générateur dentaire de rayon X classique montrant les principaux constituants de l'appareil.



**Figure III.3:** schéma montrant différents types et différentes formes de cônes de localisation, tube radiogène moderne, et le tube authentique avec la source de rayonnements ionisants ...

### III.3. Les Principaux composants de la commande de contrôle :

Les principaux composants incluent :

- L'interrupteur principal marche/arrêt et la lumière d'alerte
- Le moniteur, qui peut être décomposé en trois principaux types :
  - Électronique
  - À impulsion
  - Mécanique ( inapproprié et plus de tout utilisé)
- Un mécanisme de sélection du temps d'exposition , en général soit :
  - Numérique, temps sélectionnés en seconde
  - Anatomique, région de la bouche sélectionnée et temps d'exposition ajusté anatomiquement
- Des lumières d'alertes et avertisseurs pour indiquer quand les rayons X sont générés.

→ d'autres caractéristiques peuvent inclure :

- Sélection de la vitesse de fils - sélection de la corpulence du patient
- Compensateur de tension
- Sélection de la tension ( kilovoltage)
- Sélection de l'intensité (milliampère)
- Ajustement de l'exposition pour l'imagerie numérique .

### III.4. Le Câblage et tension de tube :

→ l'alimentation de secteur de 240 volts à deux fonctions :

- Générer la différence de potentiel élevée (Kv) nécessaire pour accélérer les électrons à travers le tube radiogène via le transformateur élévateur de tension .
- Fournir le courant de bas voltage nécessaire pour chauffer le filament via le transformateur réducteur de tension..

→ Cependant, le courant entrant de 240 volts est un courant alternatif avec un aspect typique ondulatoire ; La moitié d'un cycle est positif et l'autre moitié est négative . Pour la production de rayon X, Seul la moitié positive de cycle peut être utilisé pour garantir que les électrons issus du filament sont toujours attirés vers la cible .

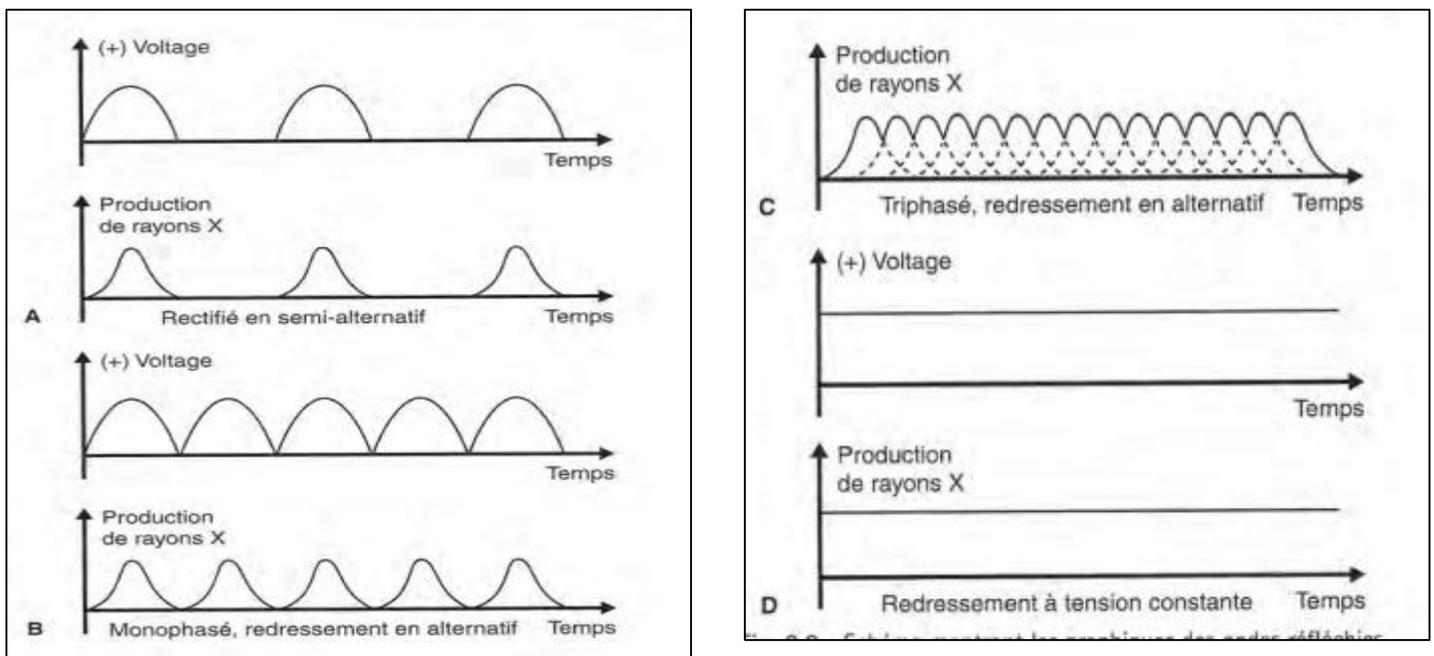
Par conséquent, la haute tension transformés appliqué à travers le tube radiogène a besoin d'être rectifié pour éliminer la moitié négative du cycle.

Quatre types de circuits rectifiés sont utilisés :

- Rectifié en semi –alternatif
- Rectifié en alternatif monophasé
- Rectifié en alternatif triphasé
- À tension constante

→ Les formes d'onde résultant de ces circuits rectifiés, avec la représentation graphique de la production de rayon X qui s'ensuit, ses différentes formes d'ondes signifient que l'équipement travaille seulement à son rendement optimal ou en sortie de crête au sommet de chaque cycle . Par conséquent , le kilovoltage est souvent décrit comme le KV de crête au pic du kilovolt . Ainsi, un appareil source de rayons X semi-alternatifs à 50 volts de crête fonctionne en fait pour une très petite part de la durée totale d'exposition . Les conceptions modernes optent pour des systèmes de circuits à tension stabilisée, faisant souvent référence à l'expression unités CC (pour courant continu ou, en terme anglo-saxon , DC units), qui conservent le kilovoltage surtout au long d'exposition , garantissant ainsi que:

- La production de rayon X par unité de temps est plus efficiente
- Plus de photos de plus haute énergie utiles au diagnostic, sont produites pour chaque exposition;
- -moins de photos de faible énergie, nuisibles, sont produites lors de chaque exposition
- Des temps d'expositions plus courtes sont possibles..



**Figure III.4:** schéma montrant les graphiques des ondes réfléchies et des productions de rayons X issus de différents modèles de réctifications .

### III.5. Les Autres appareils générant de rayon X :

Les autres équipements courants générant des rayons X retrouvés en odontologie incluent :

- Les appareils de radiographie panoramique ont souvent combinés avec des équipements de téléradiographie .
- Les appareils d'examen crâniens comme le craniotome ou l'Orbix .
- Les appareils de tomographie volumétrique à faisceau conique ( cône beam computed tomography ou CBCT) ..

### III.6. Comparaison de différents systèmes radiographiques dentaires appliqués à la pratique quotidienne (argentique - numérique) :

Le but de ce travail étant surtout de définir le côté le plus pratique de ces deux techniques sans omettre de tenir compte de la qualité de l'image obtenue.

Il faut penser à privilégier la qualité du travail à notre confort.

#### III.6.1. La radiographie Argentique:

**III.6.1.1. Définition:** l'image radiographique est la fixation sur un support des structures projetées par un faisceau de rayons X incidents. Donc, toute projection non idéale donnera une image différente de l'objet réel. ( JONES et BERCY 1987 ).

Les rayons X produit par le générateur traversent les divers corps plus ou moins facilement et vont heurter le film, plus précisément l'émulsion sensible qui le constitue, pour ensuite être stoppés par la feuille de plomb. Les rayons X impressionnent les émulsions photographiques.

Ce film sera ensuite rendu visible par son traitement. Il s'agit là d'une réaction chimique.  
Développement

Tube → Dents → Film → Image définitive

#### III.6.1.2. Le matériel nécessaires:

Sont nombreux de la prise de cliché à sa conservation dans le dossier

-Un générateur de rayons X : En odontologie sont utilisés des tubes de COOLIDGE, composés d'une ampoule de verre dans laquelle règne le vide et où nous trouvons:

- Une cathode (filament de tungstène),
- Une anode.

Le tube est alimenté par deux circuits électriques

-Des films : Ils sont de constitutions et de dimensions différentes selon le type de radiographie intrabuccale à réaliser. Il y a également différents types de films définis par l'Organisation Internationale de Normalisation en 1976 en fonction de leur dimension et de la rapidité de l'émulsion .

Il existe des films sans écrans renforçateurs qui sont directement exposés à l'action des rayons X et des films avec écrans renforçateurs qui sont sensibles . Ces derniers nécessitent l'utilisation d'écrans luminescents, ce qui permet de gagner un facteur de l'ordre de dix dans la sensibilité et donc de réduire le temps d'exposition.

### A. Le film photographique (argentique) :

L'argentique disparaît ! Après de bons, longs et loyaux services, elle a cédé le pas face aux techniques de détection numérique, ce qui est à vrai dire le cas de tout le domaine beaucoup plus vaste de la photographie au sens commun du terme. Ses derniers bastions sont tombés : La mammographie y trouvait des caractéristiques qui lui convenaient bien, en termes de contraste notamment, mais les progrès du numérique ont supprimé cet atout. Des techniques d'imagerie comme le scanner ou l'IRM, par nature numériques, ont longtemps trouvé intéressant de faire le chemin inverse, à savoir imprimer sur films argentiques des images stockées dans les mémoires d'un ordinateur. La raison de cela est à trouver dans la formation des praticiens, habitués à l'observation sur négatoscope. Aujourd'hui l'analyse sur écran couleur haute définition supplante cette pratique.

Il reste que cette technique d'enregistrement a marqué pour longtemps le domaine de la radiographie. On ne peut nier son importance historique et conceptuelle qui en fait une sorte de paradigme. Il n'est donc pas mauvais qu'un cours de physique de l'image rappelle encore aujourd'hui, fut-ce rapidement, quelles en étaient les caractéristiques, les qualités et les défauts.

#### A.1. La structure du film:

La couche active du film est un gel ou émulsion de  $25\mu\text{m}$  d'épaisseur typique, posée sur un support souple de  $200\mu\text{m}$  et couvert d'une fine couche protectrice. Pour accroître l'efficacité, la couche active est souvent dédoublée sur les deux faces du film

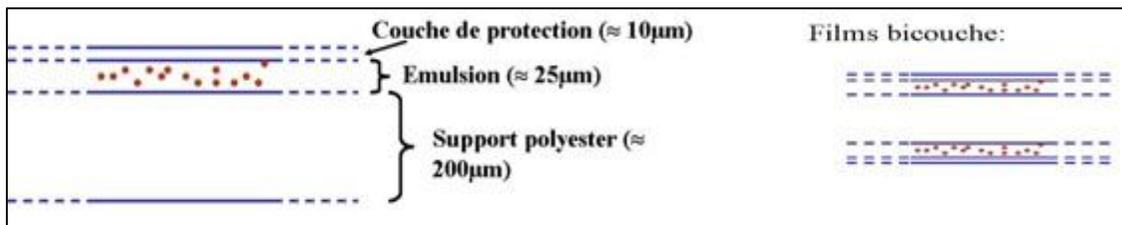


Figure III.5.: schéma montrant la structure du film argentique

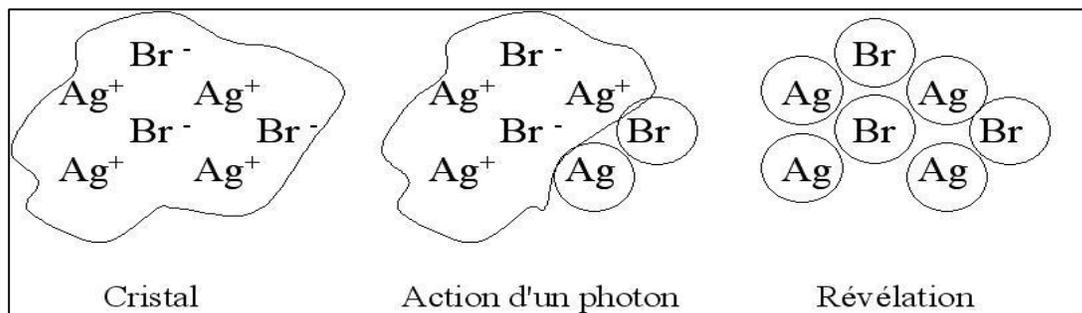
→ l'émulsion est un état colloïdal tel que le milieu de dispersion est gélatineux et la phase dispersée composée de micro-cristaux de bromure d'argent brag (Un colloïde est un état constitué d'un milieu de base dans lequel se trouvent dispersées de petites particules d'un phase autre: une fumée est un colloïde, mais aussi un brouillard, ou encore le lait)

La gélatine a pour caractéristique d'être plutôt liquide lorsqu'elle est hydratée et plutôt solide lorsqu'elle n'est pas hydratée. Dans le cas qui nous occupe, elle est hydratée à la fabrication, pour étalement, déshydratée pour usage comme film détecteur, réhydratée au développement de façon à permettre les échanges chimiques, et enfin séchée à nouveau pour usage final, observation au négatoscope ou archivage.

Les grains de bromure d'argent sont des cristaux de type ionique, à savoir des structures où l'un des atomes, ici l'argent, se défait complètement d'un électron au profit de l'autre atome, ici le brome. D'autres exemples de cristaux ioniques sont le nacl, ou sel de table, ou encore le nai, très utilisé en imagerie comme détecteur à scintillation. Les grains ont une taille de l'ordre du micron et contiennent grosso modo un million de paires d'ions Ag-Br. Il y a environ  $10^{10}$  grains par  $\text{cm}^3$  d'émulsions. La distance moyenne entre deux grains est de quelques microns.

### A.2. Action des photons:

Quand un photon interagit avec la structure cristalline, il y a réduction d'un atome d'argent ce qui peut être vu comme le transfert d'un électron du brome vers l'argent. C'est cette information très ténue qui sera considérablement amplifiée lors du développement par réduction complète du grain concerné



**Figure III.6.:** schéma montrant l'action des photons

→ l'action des photons sur le film dépend très fortement de leur longueur d'ondes. Ainsi, il est important de souligner que les rayons X sont en réalité peu efficaces pour impressionner le film et que en ce qui concerne la fenêtre optique, la lumière bleue ou verte est très efficace, contrairement à la lumière rouge qui ne l'est pratiquement pas. C'est pour cette raison que les locaux utilisés pour la manipulation des films sont équipés de lampes rouges (lumière "inactinique"). Surtout, cela explique pourquoi les écrans renforçateurs, décrits plus loin, ont représenté un grand progrès en radiologie.

### A.3. La Courbe sensito-métrique (courbe de noircissement)

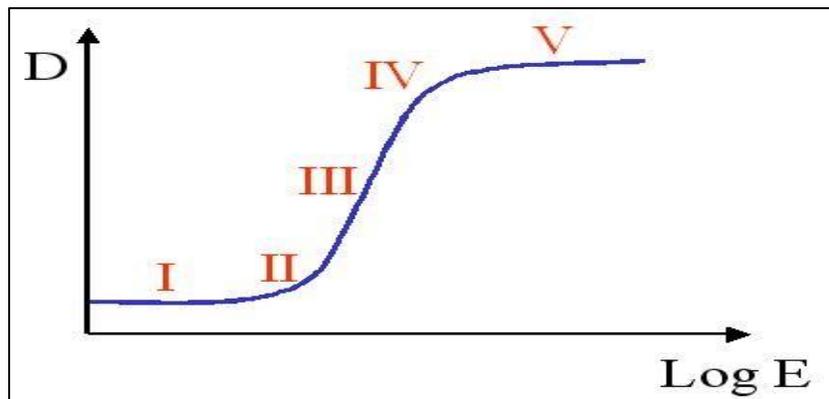
Cette courbe est une caractéristique importante du film, qui permet non seulement d'apprécier ses qualités mais aussi de comparer entre eux les différents produits proposés par les fabricants. Elle met en relation la *densité optique* D et le logarithme de l'*exposition* E. En somme elle relie l'effet à la cause, la cause étant l'exposition à une certaine intensité de rayons X et l'effet étant le noircissement obtenu au niveau du film.

L'exposition E est une mesure de l'énergie rayonnante qui a impressionné le film. Elle dépend évidemment de la tension appliquée au tube (les kv) et de la charge demandée pour le cliché (les mas).

La densité optique D est une mesure du voile apparu localement au niveau de l'émulsion. Si le film est éclairé à l'arrière selon une intensité lumineuse  $I_0$  (...émise par exemple par les lampes d'un négatoscope), et qu'on appelle  $I_t$  l'intensité transmise localement à un endroit du film (...tel qu'observé au négatoscope, dans notre exemple), alors le rapport  $I_t/I_0$  est appelé *transmittance* locale. L'inverse de la transmittance, soit  $I_0/I_t$ , est l'*opacité*, ou de façon équivalente le *noircissement*. Par définition, la *densité optique* D est le logarithme de l'opacité.

$$\text{"Densité optique"} \stackrel{\text{def}}{=} \log (\text{opacité}) = \log \frac{I_0}{I_t}$$

Etant donné que la courbe sensitométrique exprime la densité optique en fonction du logarithme de l'exposition, elle peut donc être vue comme une courbe log-log. Elle a une forme sigmoïde qui peut être décomposée en cinq parties comme le montre la figure ci-dessous.



**Figure III.7.:** schéma montrant la courbe sensitométrique

→ **La zone I:** concerne les zones pas du tout ou peu exposées aux rayons X. Le noircissement n'est pas nul et mesure le voile de fond voulu par le fabricant du film. L'idée est d'éviter à l'œil d'être ébloui par les zones non exposées lorsque l'image est observée au négatoscope.

→ **La zone II:** marque le début de l'action photographique des rayons X. A partir de là, le noircissement devient une fonction univoque de l'exposition: à exposition différente, densité optique différente. Cette zone est dite *seuil*, ou *pied* de la courbe.

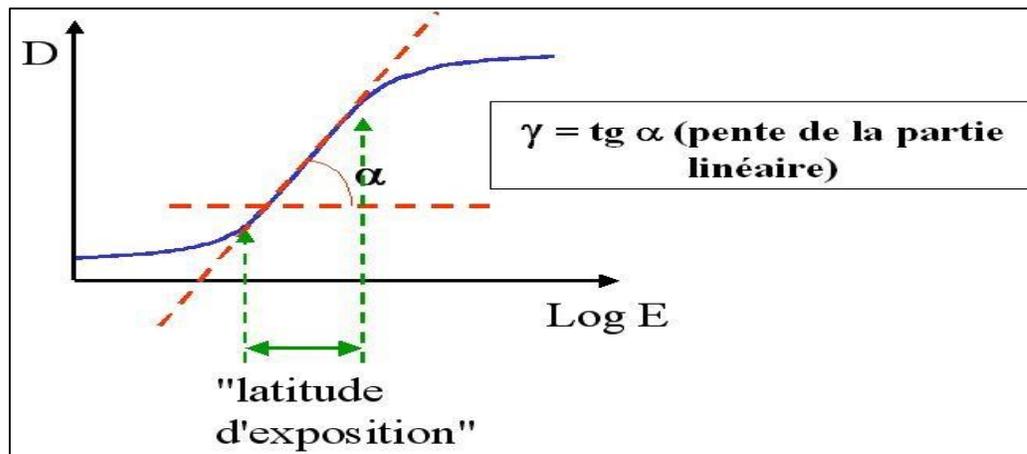
→ **La zone III:** est la partie linéaire de la région de relation bi-univoque. C'est une zone de proportionnalité entre D et  $\log(E)$  qui peut être vue comme la partie utile de la courbe. La gamme de valeurs d'exposition concernée définit l'ensemble des régions anatomiques différentes en quantité, nature ou densité de matière, qui peuvent être distinguées sur le film par des niveaux de gris différents.

→ **La zone IV, ou épaulement :** marque le début de la saturation. Le film est très noir et les détails deviennent peu visibles.

→ **La zone V :** il y a surexposition. Les valeurs de E sont supérieures à l'exposition qui impressionne la quasi totalité des grains de bromure d'argent.

#### A.4. Latitude d'exposition :

La caractéristique principale de la courbe sensitométrique est la largeur de la zone III., qu'on appelle latitude d'exposition. C'est elle qui définit la gamme des valeurs d'exposition qui correspond à des noircissements variables et donc à des détails observables et distinguables. Une bonne mesure de cette largeur de zone est la pente de la portion de droite correspondant à la zone III. On appelle cette pente le gamma de la courbe, ou le facteur de contraste.



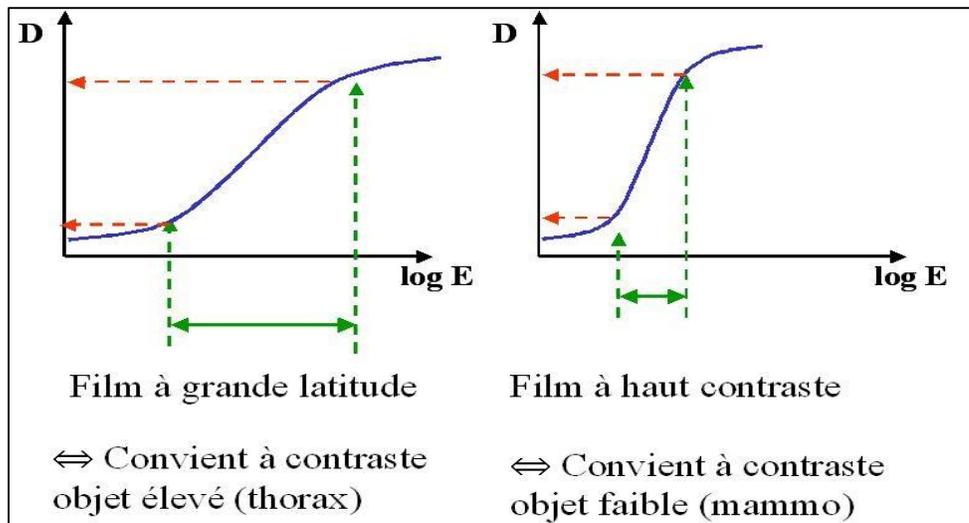
**Figure III.8.:** schéma montrant la latitude d'exposition

→ Un film à grande latitude est un film qui projette sur les différents niveaux de gris, du blanc au noir, une large fenêtre en valeurs d'exposition. Cela convient bien à des collections d'objets à différences de densités élevées (thorax, osseux,...).

Autrement dit à un haut contraste objet doit correspondre un faible contraste film. Inversement si

on souhaite observer une région à contraste objet faible, il faut un haut contraste film, donc une faible latitude. C'est le cas de la mammographie par exemple, qui prétend faire la différence entre des tissus de densités proches. On trouve ici la raison pour laquelle la mammographie est restée un temps l'un des derniers bastions de l'argentique.

→ En regard des techniques numériques que nous verrons plus loin, les films à faible latitude occupent une position particulière: Plus performants que les écrans numériques à conversion indirecte, ils ont été finalement supplantés par les films numériques à conversion directe. Il a donc fallu attendre le développement de ces derniers pour que le numérique s'impose là aussi.



#### A.5. Le Développement du film :

→ l'action des photons sur le film se traduit par la réduction d'ions d'argent en argent métallique. Il s'agit là d'une action chimique qui ne fait apparaître aucune modification physique visible. On parle alors d'image latente. Le développement va transformer cette image latente en image visible. Il comporte quatre étapes:

**-La révélation:** Le révélateur est une solution chimique dont l'action est de réduire totalement les grains porteurs de germes. Comme un grain de bromure d'argent comporte typiquement un million de paires Ag-Br, on a là un processus d'amplification tout à fait important! Il existe une valeur optimum pour le temps de révélation: s'il est trop court, la réduction des grains n'est que partielle. S'il est trop long, des Ag métalliques peuvent diffuser et servir de germe aux grains non exposés.

**Le fixage:** Le fixateur est une substance qui solubilise le brome, tant les atomes Br qui résultent de la révélation que les grains agbr non exposés. Après action, il ne reste plus que les atomes d'argent métalliques responsables du noircissement du film.

**-Le lavage:** élimine les traces de fixateur qui subsistent après l'étape précédente.

**-Le séchage:** resolidifie le gel pour permettre la manipulation du film: Analyse, transport ou archivage. Il peut se faire soit par exposition à un rayonnement infrarouge, soit par circulation

d'air chaud à la surface du film.

→ Les développeuses automatiques assurent le suivi de ces différentes opérations sans intervention manuelle. Le film est guidé mécaniquement par des jeux de rouleaux au travers de trois cuves chargées respectivement de la révélation, du fixage et du lavage. Il termine son chemin dans un bac où il peut-être récupéré après séchage.

- **Une chambre noire :** La chambre noire doit être équipée selon des règles strictes. Il faut qu'elle soit imperméable à la lumière extérieure et elle ne doit subir aucune variation de température ou du moins les plus faibles possible ; Cette chambre noire est elle-même constituée de quatre bacs:
  - Révélateur,
  - Eau de rinçage,
  - Fixateur,
  - Eau de rinçage, courante (si possible).

Les cuves de révélateur et de fixateur doivent être amovibles, elles doivent avoir un couvercle afin de conserver leur température, et posséder des agitateurs qui ne doivent en aucun cas être permutés.

- **Un thermomètre flotteur:** Il permet de s'assurer à tous moments de la température des bains.
- **Un minuteur:** Il est indispensable pour bien réaliser chaque étape de traitement du film.
- **Une éprouvette graduée:** Elle permet la dilution des bains concentrés.
- **Un négatoscope:** pour une lecture précise de la radiographie. Le mieux est d'y associer une loupe afin de pouvoir observer précisément des détails difficilement visibles à l'œil nu.
- **Des pochettes de rangement – stockage:** Cela permet un classement particulier et pour des comparaisons plus faciles:
  - Soit par date du cliché,
  - Soit par dent (ou sextant).
- **Des angulateurs :** Utiliser des angulateurs pour la prise de radiographie en chirurgie dentaire c'est l'assurance du respect de la règle de la bissectrice de l'angle, et de radiographie obtenues avec le minimum de déformation. A chaque type de capteur et pour chaque secteur buccal correspond un angulateur adapté.



**Figure III.9.:** exemple d'un angulateur

→ Il en existe différents types des angulateurs telle que:

- ✓ Les RINN,
- ✓ Les flaps,
- ✓ Bite-wings,
- ✓ La pince de Péan,
- ✓ Le doigt (très peu recommandé).
  
- ✓ **Angulateurs de RINN :** Ils sont surtout utilisés pour les rétro-alvéolaires et les bilans long cône. Il en existe deux types:
  - Pour les dents antérieures
  - Pour les dents postérieures

Ces angulateurs sont d'une grande utilité pour éviter les radiographies défilées, de plus leur utilisation est d'une grande simplicité. Ils sont composés à une extrémité d'un porte-film et à l'autre d'un cercle, le tout relié par une tige. Le cercle nous sert de guide pour positionner le tube.

- ✓ **Les flaps :** Ce sont des languettes autocollantes placées sur le film de façon perpendiculaire et en son milieu pour réaliser des bite-wings (ce qui correspond à des clichés mettant en évidence les couronnes à la fois supérieures et inférieures sur une même radiographie.)
- ✓ **Les angulateurs à bite-wings :** Ce sont des petits angulateurs utilisables avec des grands et des petits films et à droite ou à gauche de façon indifférente.
- ✓ **La pince de Péan :** Elle peut être utilisée lorsque le patient ne peut pas fermer la bouche pour la prise du cliché comme par exemple une radiographie instruments en place lors de la réalisation d'un traitement de racines en endodontie.
- ✓ **Le doigt:** Celui-ci est souvent utilisé dans les mêmes conditions que précédemment.

Cette méthode est très peu recommandable mais si elle est utilisée, il est préférable de se servir du doigt du patient, rarement exposé, plutôt que celui du praticien.

- **Un distributeur de films plombé:** c'est indispensable pour protéger des rayonnements les films non encore utilisés .
- **Un tablier de plomb:**Il est indispensable pour protéger à la fois le patient, surtout les femmes enceintes, les enfants, ainsi que les personnes en âge de procréer, mais également le praticien (indispensable si le cabinet n'est pas équipé d'un mur de plomb pour se protéger pendant la prise de cliché).
- **Un collier cervical :** il est fortement conseillé de l'utiliser afin de prévenir le risque de cancer de la glande thyroïde.
- **Une machine à développement automatique :** Le développement automatique est d'une durée d'environ six minutes. L'objectif actuel des constructeurs est de réduire la durée de traitement des films.

### **III.6.1.3.Le stockage des films radiographiques :**

Pour conserver toutes ses qualités, un film radiographique doit être entreposé en respectant certaines règles. Dans le cas où ces règles de conservation de stockage des films ne seraient pas respectées cela peut provoquer un vieillissement prématuré du film comme par exemple une augmentation du "voile de fond". Les conditions de stockage sont les suivantes:

- Sur la tranche et non pêle-mêle dans une boîte ou au fond du tiroir,
- À une température relativement basse: ils s'altèrent s'ils sont chauffés à plus de 40°,
- Isolés par rapport aux produits chimiques de traitement,
- À distance de la zone de rayonnement,
- À l'abri de l'humidité,
- Faire attention à la date de péremption.

### **III.6.1.4.Le traitement :**

Il existe deux méthodes de traitements, le traitement classique ou manuel et le traitement automatique qui nécessite alors l'achat d'une développeuse automatique

#### **III.6.1.4.A. Traitement classique:**

Le traitement classique d'un film radiographique correspond à une suite d'opérations dont chacune a son importance. En effet, aucune d'elle ne peut être négligée sans entraîner immédiatement ou par la suite des incidences sur la qualité de l'image ou sur la conservation du film radiographique.

**→ Les différentes étapes du traitement sont:**

- **Le développement ou révélation :** La durée du développement varie en fonction de différents facteurs:
  - L'état du bain révélateur :
  - Température,
  - Degré de vieillissement,
  - Agitation.
  - Selon les fabricants,
  - Selon la nature de l'émulsion.

Les conditions optimales de développement sont de cinq minutes à vingt degrés

- **Le rinçage :** Un bon traitement du film nécessite un premier rinçage d'une durée d'environ trente secondes à l'eau courante. Celui-ci est malheureusement souvent difficile à réaliser lorsque le développement est manuel dans une chambre noire où l'eau est stagnante dans un bac.
- **Le bain d'arrêt (facultatif) :** Un bon traitement du film nécessite un premier rinçage d'une durée d'environ trente secondes à l'eau courante. Celui-ci est malheureusement souvent difficile à réaliser lorsque le développement est manuel dans une chambre noire où l'eau est stagnante dans un bac.
- **Le fixage :** Lorsque le film est exposé, seuls les cristaux d'halogénure d'argent sont transformés en argent métallique. Les cristaux qui n'ont pas été sensibilisés par le rayonnement ne sont pas modifiés par le révélateur, ils doivent donc être éliminés pour que l'on obtienne une image interprétable. Le but du fixage est donc d'obtenir une dissolution du bromure d'argent inattaqué afin d'empêcher un noircissement ultérieur. La composition du bain de fixage est la suivante:
  - Un agent d'élimination,
  - Un agent de protection,
  - Un agent acidifiant,
  - Un tannant
- **Le lavage :** Le lavage doit se faire obligatoirement à l'eau courante et ce pendant dix à vingt minutes. Il faut également frotter le film avec les doigts afin d'éliminer tout l'hyposulfite ainsi que les complexes d'argent qui imprègne la gélatine. Cette manœuvre permet d'éviter la formation à plus ou moins long terme d'un voile jaune de sulfure en se décomposant. Le lavage doit être fait de façon délicate afin d'éviter de donner des coups d'ongles qui altèreraient la qualité de l'image.
- **Le séchage :** Le séchage le plus conventionnel est dans un séchoir avec un courant d'air tiède pendant dix à trente minutes car celui-ci sera alors réalisé à l'abri de la poussière. Il est possible de faire sécher les films à l'air libre en les suspendant tout en les protégeant au maximum de la poussière et des éclaboussures ( produits chimiques de traitement, eau,...). Sinon, il est également possible d'obtenir un séchage rapide en

trem pant le film dans un bain d'alcool à sa sortie du dernier bac de rinçage. Le film sera ensuite séché à la seringue à air.

→ **Le monobain** : Cette technique peut s'utiliser avec tous les films commercialisés. C'est une solution qui permet de réaliser à la fois la révélation de l'image latente et le fixage de l'image ainsi obtenue. Le principe est simple sachant que seuls les sels d'argent sensibilisés par les photons X subissent nettement l'influence de l'agent révélateur et que les cristaux non sensibilisés sont dissous par l'agent fixateur. Il faut savoir que ce traitement est moins sensible à la température du bain et que le temps nécessaire est plus court: pour un même film, il faut huit minutes avec le monobain contre cinq + dix minutes ( soit quinze minutes) avec le traitement classique.

#### **III.6.1.5. La conservation:**

Une fois le film développé, il doit être annoté de façon précise. Il doit comporter le nom et le prénom du patient, le numéro correspondant à la dent radiographiée ainsi que la date à laquelle le cliché a été réalisé. Une fois cette démarche administrative effectuée, la radiographie doit être stockée. D'une manière générale, les clichés sont mis dans des pochettes .

#### **III.6.1.6. Vieillessement:**

Dans les conditions optimales de développement, un film radiographique est prévu pour être conservé des années. Lorsque ce n'est pas le cas, c'est qu'il y a eu des erreurs de manipulation ou de conservation du film.

#### **III.6.1.7. Les effets biologiques du rayonnements X et la radioprotection:**

Il faut savoir que les médecins et les chirurgiens-dentistes possèdent légalement le monopole de l'utilisation des radiations chez l'Homme. Ils assument la responsabilité du risque encouru par leurs patients, leur personnel et par eux-mêmes. Ils leur appartiennent donc d'évaluer ce risque en fonction de l'intérêt diagnostique de l'examen, de connaître les normes acceptables, et de rechercher et d'appliquer tous les moyens susceptibles de réduire l'exposition.

#### ✓ **La Dose Maximale Admissible:**

Il existe la D.M.A. (Dose Maximale Admissible) pour l'exposition professionnelle, qui est calculée de manière à exclure formellement l'apparition d'effets somatiques certains. Il est important de se rendre compte que les rayonnements ionisants sont nuisibles. Cependant, il faut savoir que les doses inférieures à cent rads en cas d'irradiation partielle administrées en quelques jours n'ont pas d'effets somatiques manifestes. L'exposition professionnelle est limitée aux D.M.A. recommandées par la Commission Internationale de Protection Radiologique (C.I.P.R.).

- ✓ **La protection:** Il reste bien évidemment des moyens de protection contre le rayonnement X. Tout praticien doit prendre la décision de prendre une radiographie en se fondant sur le principe que le risque est inférieur au bénéfice que l'on peut en retirer pour le diagnostic. Une fois qu'il estime l'acte radiologique indiqué, il doit employer tous les moyens susceptibles de limiter au maximum les doses de rayonnements délivrées aux patients et à son personnel aussi bien qu'à lui-même .

### **III.6.2. La radiographie Numerique:**

La radiovisiographie (ou R.VG.) Est une nouvelle méthode d'investigation des structures alvéolo-dentaires. Les rayons X provenant du générateur vont traverser les structures alvéolo-dentaires. Ceci entraîne la formation d'une image radiante qui sera enregistrée par le capteur et transformée en signal électronique. Ce signal est conduit vers l'unité de production d'images qui affiche instantanément le cliché sur le moniteur vidéo. Ensuite, il y a deux possibilités:

- ✓ Soit nous l'imprimons sur papier,
- ✓ Soit nous la stockons dans l'ordinateur.

#### **III.6.2.1.Le materiels necessaries:**

La plupart du matériel précédemment détaillé est nécessaire dans la réalisation d'une radiographie numérique. Cependant, dans la pratique quotidienne, nous ne nous rendons pas compte de l'existence de tous ces éléments. La réalisation d'une radiographie numérique est nettement simplifiée. En réalité, nous utilisons:

- ✓ Un générateur de rayons X,
- ✓ Un périphérique d'entrée: le capteur,
- ✓ Des angulateurs,
- ✓ Un tablier de plomb,
- ✓ Un collier cervical,
- ✓ Des collimateurs,
- ✓ Une unité de traitement de l'image,
- ✓ Un logiciel,
- ✓ Un périphérique de sortie: le moniteur vidéo ou l'imprimante.

Dans le cas d'utilisation d'un système avec capteurs phosphoriques, il est nécessaire de se procurer un développeur.

**A-Générateur de rayons X:** Le générateur de rayons X, que ce soit pour faire des radiographies argentiques ou numériques, est le même, seuls certains réglages sont différents.

Il faut que la fonction RVG soit prévue. Celle-ci entraîne automatiquement une diminution de la dose de rayons émise.

**B-Capteurs :** Il s'agit d'une sorte de caméra miniature. Ils existent de différentes sortes et de différents formats. Il existe les capteurs CCO et les capteurs phosphoriques.

**C-Angulateurs :** Des angulateurs sont fournis avec les capteurs, il s'agit du meilleur moyen pour qu'ils soient bien adaptés.

**D-Tablier de plomb:** Il est indispensable pour protéger le patient, bien que la dose de rayons X délivrés soit inférieure à celle délivrée pour la radiographie argentique.

**E-Collier cervical:** Soit celui-ci est inclus dans le tablier, suivant le modèle, soit il faut le rajouter. Il est surtout nécessaire chez les enfants pour protéger la glande thyroïde.

**G- Collimateurs:** Comme pour la radiographie argentique, ils permettent de limiter la surface de tissus se trouvant dans le champ de radiation.

**H- Unité de traitement d'image:** Il s'agit d'un boîtier très simple d'utilisation apparenté à un ordinateur. Cette unité permet de traiter le signal reçu et de le transformer en image.

**I-Logiciel:** Il est indispensable dans la prise de radiographie numérique. C'est un programme qui présente plusieurs fonctions:

- L'explication des radiographies
- Il permettra dans l'avenir la télétransmission

### **III.6.2.2.Les Capteurs:**

#### **III.6.2.2.1.Les Capteurs CCD:**

**A-Description:** c'est un petit boîtier noir de dimensions variables selon le fabricant. Il est relié au reste de l'appareillage par un petit câble. Ce boîtier se place en bouche de façon identique à un film radiographique, en arrière de la dent à examiner. Ce capteur est non stérilisable, il existe donc des protections pour le recouvrir afin de l'isoler de la salive. Il s'agit d'enveloppe en plastique ou en latex à usage unique.

**B-Rôle :** Le rôle du capteur est de recevoir l'image radiante de la dent radiographiée, et de la transformer en signal électrique analogique. Les rayons X traversent les objets à radiographier et vont ensuite frapper une matrice constituée d'un nombre très important de capteurs semi-conducteurs élémentaires ( CCD ou Coupled Charge Device).

**C-Composition :** Il est constitué de divers éléments dont chacun à un rôle bien déterminé:

- Un boîtier,

- Un scintillateur,
- Une plaque de fibres optiques,
- Un Dispositif à Transfert de Charges (D.T.C.).

### **C-1. Le boîtier:**

- ✓ **Composition** : l'enveloppe est constituée d'une résine polyuréthane , afin d'être le plus opaque possible à la lumière.
- ✓ **Rôles** : Son opacité permet de limiter le passage des rayons, c'est à dire qu'elle permet un passage des rayons X mais arrête les rayons lumineux susceptibles de perturber la réception des rayons X par le scintillateur. Il joue les rôles:
  - D'isolant thermique pour éviter l'échauffement des composants électroniques qu'il contient,
  - D'isolant mécanique pour protéger son contenu des chocs,
  - D'isolant électrique.

**C-2. Le scintillateur** : Il a pour rôle de transformer l'image radiante en image phosphorescente. Les atomes du scintillateur sont excités par le faisceau de rayons X, ce qui modifie leurs structures électroniques. A ce momentlà, les électrons se promènent sur des niveaux d'énergie différents. Les électrons instables se réorganisent ce qui entraîne la libération d'un photon. L'ensemble des photons forme une lumière appelé "image phosphorescente".

### **C-3. La plaque de fibres optiques :**

- ✓ **Composition** :Elle est constituée d'un faisceau contenant un ensemble de fibres optiques.
- ✓ **Rôles** : Elle prend en charge les photons émis par le scintillateur et les conduit au

Dispositif à Transfert de Charges (D.T C.). Elle joue un rôle dans la protection du dispositif à transfert de charges en le préservant des rayons X. Elle évite les dispersions photoniques qui désorganiseraient l'image radiologique. Elle sert d'adaptateur dimensionnel entre la dent et le D.TC. Qui est de dimension plus petite.

### **C-4.Dispositif à Transfert de Charges :**

- ✓ **Rôle** : Le D.TC. Ou C.C.D. (Charge coupledevice) a pour rôle de capter l'image photonique, provenant du scintillateur et conduite par la plaque de fibres optiques, et de la transformer en signal électrique. Il assure la conversion de la lumière en électricité.
- ✓ **Fonctionnement** Lorsqu'un photon incident vient frapper un point précis de la cellule sensible (oupixel), il cède une partie de son énergie à un électron. Celui-ci devenu libre constitue une charge électrique susceptible de se déplacer sous l'influence de champs électriques. Il faut savoir qu'à chaque fibre optique correspond une cellule. Comme nous

venons de le voir, chaque cellule frappée par un photon entraîne la libération d'un Électron. C'est l'ensemble de ces électrons qui contribue à la formation du signal électrique. Donc, le signal électrique délivré est proportionnel à la quantité de photons émis. Une fois ce signal électrique délivré, il devra être transmis à l'unité de traitement d'images. Cette transmission se fait par l'intermédiaire d'un câble souple ne dépassant pas les 2,5 mètres de longueur.

### III.6.2.2.2. Le capteur Ecran Radio Luminescent à Mémoire (ERLM):

**A-Description:** Ce second principe utilisé en radiographie numérique est utilisé depuis peu en odontologie.

Un ERLM ou capteur phosphorique a un aspect similaire au film argentique et s'utilise de la même façon.



**Figure III.10.:** les différents capteurs ERLM utilisés dans le service d'odontologie  
(T2 : taille adulte T0 : taille enfant )

**B-Le role:** Il reçoit les rayons X après qu'ils aient traversé l'objet à radiographier. L'image latente contenue dans cet ERLM sera ensuite développée dans un scanner à laser. Ce dernier transmet alors un signal analogique.

**D-La composition:** Le capteur phosphorique est constitué d'un support souple recouvert d'une mince couche de phosphore photosensible dopé. La plaque impressionnée est introduite dans un scanner qui transfère l'image latente au moniteur. Il n'y a pas de liaison physique entre la plaque et l'ordinateur, ce qui le rend plus facile à manipuler.

### III.6.2.2.3. Comparaison entre les deux capteurs:

→ Dans les deux cas, le signal obtenu, soit en sortie du CCD, soit en sortie du photo-multiplicateur est un signal analogique continue qui doit être converti en signaux digitaux, seuls susceptibles d'être traités par un système informatique.

→ Le procédé utilisant les capteurs phosphoriques nécessite un temps de développement dans le scanner à laser, l'image n'est donc pas quasi instantanée comme pour les capteurs CCD.

→ De plus, les plaques phosphoriques peuvent être régénérées après l'utilisation mais ont une durée de vie définie, cela induit donc un coût supplémentaire qui n'existe pas avec les capteurs CCD. Une fois cette conversion analogique - digitale effectuée, il reste bien sûr à l'exploiter grâce à un logiciel adapté.

→ La manipulation du capteur ERLM est plus délicate que celle du capteur CCD, elle se rapproche du film argentique. En effet, c'est un écran souple et peu coûteux qui nécessite d'être protégé dans un soucis évident d'hygiène et de protection mécanique. Pour cela, une thermo-soudeuse incorporée permet la fermeture étanche de cet étui.

→ Pour le capteur ER LM, la lecture est différée. Elle peut, suivant le matériel utilisé, mettre de 30 secondes à 1 minute 30 secondes. Certains fabricants proposent un matériel permettant la révélation simultanée de plusieurs ERLM de tailles différentes afin de gagner du temps.

→ Les capteurs ERLM sont des supports souples, disponibles en plusieurs dimensions et d'aspect similaire au film argentique. Ils permettent une prise de cliché facile dans toutes les situations, contrairement à son homologue CCD gêné par son encombrement et sa rigidité. Il n'y a pas de coût supplémentaire pour les angulateurs, puisqu'ils restent identiques à ceux utilisés en radiographie classique. Ce support est en plus moins onéreux.

→ Actuellement, lorsque nous décidons de faire de la radiographie numérique, nous en profitons pour "informatiser le cabinet", c'est à dire que nous avons tendance à choisir le logiciel de gestion et donc le système numérique associé. Cependant, si nous choisissons le système radiographique au préalable, celui-ci est fourni également avec un système de gestion. Ce dernier est de toute façon indispensable pour mémoriser les radiographies prises. Dans les deux cas, il faut savoir qu'il existe des accords commerciaux entre différentes sociétés éditrices de logiciels et les fabricants de capteurs, ce qui verrouille plus ou moins la gamme de choix disponibles.

### III.6.2.3. Le Traitement:

**III.6.2.3.1. Traitement de l'image latente du capteur CCD:** Le traitement se traduit ici par l'interprétation d'un signal électrique. Celui-ci devra donner naissance à une image et ce par l'intermédiaire de technologies poussées.

Cette transformation en image se fait au sein d'une unité appelée "unité de traitement d'image". Celle-ci s'apparente à un ordinateur. Son utilisation est très simple mais son fonctionnement reste très complexe. Cette unité a pour rôle de mémoriser le signal électrique provenant du capteur, de le traiter, de l'analyser et de le traduire en image qui sera ensuite produite sur le moniteur vidéo.

**III.6.2.3.2. Traitement de l'image latente de l'ERLM:** l'image latente contenue dans cet ERLM est développée dans un scanner qui balaie la surface totale du capteur avec un faisceau laser provoquant ainsi l'excitation des électrons des atomes et produisant une émission photonique de lumière bleue. Ces photons collectés sur un photo multiplicateur sont convertis en signaux électriques analogiques afin d'être numérisés par un ordinateur. Après traitement par un logiciel spécifique, l'image produite peut être restituée sur un moniteur, imprimée ou tout simplement archivée.

#### **III.6.2.4. La conservation:**

Une fois réalisée, l'image est produite sur l'écran du moniteur vidéo. Là, elle va pouvoir être stockée dans la mémoire de l'ordinateur ou imprimée.

**III.6.2.4.1. Enregistrement dans l'ordinateur:** Il est possible d'enregistrer la radiographie dans la mémoire de l'ordinateur, sans être obligé de l'imprimer. Celle-ci sera toujours accessible dans les séances ultérieures pour se rappeler ou faire une comparaison dans le temps.

**III.6.2.4.2. Impression sur papier :** l'autre solution de stockage est bien entendu de conserver les radiographies sur papier. Cependant cela nécessite un lieu de stockage supplémentaire. De plus il faut savoir que le papier entraîne un vieillissement de l'image, bien qu'il existe des papiers de différentes qualités. Les différentes sortes d'impression sur papier sont:

- ✓ **Sur papier thermique:** Le papier thermique était la solution la plus proposée par les Fabricants. Cependant, ce papier commence à être écarté du fait de son instabilité dans le temps.
- ✓ **Sur papier vidéo-photographique:** Ce support est en matière plastique. Il présente une grande qualité de finesse et de contraste. Cependant, le coût est élevé.
- ✓ **Sur papier classique:** c'est le support le plus utilisé actuellement.

#### **III.6.2.5. La Vieillessement:**

Lorsque nous choisissons d'imprimer les radiographies pour les stocker, nous sommes confrontés au problème de vieillissement du papier. Il n'y a aucune possibilité de manipulation pour y remédier. La première chose à faire est de bien choisir son papier. Cependant, si nous préférons stocker nos radiographies dans la mémoire de l'ordinateur ou dans un moyen de sauvegarde quelconque, nous ne sommes en aucun cas confronté au vieillissement de la radiographie. Il nous suffit alors d'imprimer celle-ci quand elle nous est demandée et elle sera

fidèle à l'image obtenue le jour de la prise du cliché.

### III.6.3. Comparaison (La radiographie argentique et Numerique)

Le Principe de prise de cliché est identique dans les deux cas, il s'agit d'un flux de rayons X qui traverse un objet pour ensuite heurter soit un film, soit un capteur. Seul le support est différent. Dans le premier cas, il s'agit d'un film qu'il faut annoter et stocker, dans le deuxième cas, il s'agit d'une image stockée dans un ordinateur. L'image apparaît sur le support correspondant soit à la suite d'une transformation chimique, soit à la suite d'une transformation électronique .

- **Traitement argentique:**

Tube → Dent → Film → Image définitive

- **Traitement numérique:**

Tube → Dent → Capteur → Image définitive

→ Les matériels communs sont surtout: Les générateurs et les angulateurs

Il y a également: le tablier de plomb, le collier cervical, les collimateurs.

→ La grande différence au niveau du matériel est Dans le premier cas:

- une chambre noire et tous les produits de développement ou une développeuse automatique si cette option est choisie,

- le négatoscope,

- tout le petit matériel présentant un coût moindre mais cependant indispensable.

#### III.6.3.1. Comparaison entre le Film et le capteur :

##### A-Formats:

- Ils existent tous les deux dans plusieurs dimensions. Il existe d'une manière générale des films classiques rétro-alvéolaire, des films dits "pédo" pour les enfants de plus petite dimension et des films occlusaux.
- En ce qui concerne les capteurs, ils existent maintenant en trois dimensions classique ou "deux dents", plus grands appelé "trois dents", et le capteur "pédo" pour les enfants, plus petit.
- Le film argentique est très fin donc n'entraîne pas de problème de mise en place contrairement au capteur CCD, qui lui présente une certaine épaisseur qui peut parfois être gênante. Cependant, il faut savoir que parfois le film argentique peut être coupant du fait de ses bords fins. Attention, avec la radiographie numérique, il y a un

manque important, la réalisation d'un mordu occlusal n'est pas possible.

### **B-Aspect :**

- Le film est mince et souple. Il peut donc être coupant et entraîner une déformation de l'image. Cependant, il est facile à manipuler et à mettre en place.
- Le capteur CCD est un petit boîtier plus épais, rigide, relié à un câble souple. Sa rigidité peut être gênante pour bien placer ce boîtier au niveau du palais, surtout si celui-ci est ogival ou peut blesser le patient au niveau du plancher de bouche. Cependant, il n'entraîne plus de déformation de l'image. Le câble limite la position du boîtier par rapport au fauteuil.
- Le capteur ERLM quant à lui est souple comme le film.
- Il n'y a pas grande différence au niveau des supports, en effet, dans les deux cas, il y a toujours des avantages et des inconvénients.

### **C- Stockage :**

- Le film doit être stocké de façon bien rangée sur la tranche et non pêle-mêle, à l'abri de la chaleur, des produits chimiques, de l'humidité. Attention, il faut également savoir que les films radiographiques se périment, il faut donc faire attention à la date de péremption. Le mieux est de les conserver dans un distributeur plombé car ils sont très sensibles.
- En ce qui concerne le capteur CCD, il n'y a aucune règle si ce n'est de le manier avec précaution du fait de sa fragilité.
- Le capteur ERLM est également à manier avec précaution.

### **D-Hygiène:**

- Les films sont à usage unique. Il faut faire attention en prenant un film de ne pas souiller les autres (d'où l'utilité supplémentaire du distributeur plombé).
- Le capteur CCD n'est pas à usage unique et est non stérilisable. La solution alors est d'utiliser des jetables.

### **E- Qualité :**

- L'étude de la sensibilité des principaux imageurs dentaire du marché a montré que leurs performances étaient assez homogènes. Ainsi, nous constatons que le capteur le plus sensible réduit la dose de 87,5 % par rapport au film le plus sensible, alors que le capteur le moins sensible réduit la dose de 5,5 %.
- Par conséquent, l'ensemble des capteurs amène un progrès par rapport au film en ce qui concerne la sensibilité, ce qui bien entendu retentit de façon bénéfique pour le patient lors du radiodiagnostic dentaire.
- En ce qui concerne le rapport signal sur bruit, des études montrent que les capteurs sont de qualités inférieures aux films. Les différents capteurs du marché présentent à

peu de choses près des performances homogènes. Ce problème peut être dû à différentes raisons comme par exemple la température intra buccale qui fait que certains pixels du capteur vont provoquer un bruit défavorable à la qualité finale de l'image.

### **F-Traitement :**

- Dans le premier cas, il s'agit d'un traitement chimique qui nécessite des produits particuliers. Il y a le traitement classique, entièrement manuel, le traitement semi-automatique et le traitement automatique.
- Cependant, dans les trois cas, il y a différentes étapes à respecter:
  - Révélation,
  - Rinçage,
  - Fixage,
  - Lavage,
  - Séchage.
- D'une manière générale, chacune de ces étapes nécessite un certain temps qu'il faut minuter avec une certaine précision.
- Dans le deuxième cas, pour les capteurs CCD, il s'agit d'un signal électrique qui devra être interprété. Une fois le matériel nécessaire installé, tout le déroulement des différentes étapes se fait sans quasiment aucune intervention de notre part.
- En ce qui concerne les capteurs ERLM, il y a une étape d'interprétation de l'image dans laquelle nous devons intervenir.
- Il est clair que le traitement d'une radiographie numérique, que ce soit par le capteur CCD ou par le capteur ERLM est nettement simplifié pour le praticien en comparaison au traitement de la radiographie argentique. Cependant l'utilisation d'une développeuse automatique remettant à jour elle-même le niveau des bains et les conservant à la bonne température est également d'une grande simplicité.
- La plus grande différence à mettre en avant est la durée nécessaire pour visualiser le cliché.

### **G- Conservation :**

- Il n'y a aucun doute sur le fait que la conservation d'une radiographie numérique est nettement plus pratique que celle d'une radiographie argentique.
- En effet l'ensemble des données est alors stocké dans un même endroit, à l'intérieur de l'ordinateur. Nous n'avons pas alors le risque d'égarer la pochette contenant toutes les radiographies d'un patient.
- Nous n'avons plus à rajouter des annotations sur les radiographies comme la date et le nom ( qui souvent prend beaucoup de place ou s'efface ). Ces données s'impriment

Directement sous le cliché lorsque cela est nécessaire.

→ Nous pouvons dire que la radiographie argentique a déjà fait ses preuves au niveau de la qualité d'image alors que la numérique n'est pour le moment pas encore tout à fait satisfaisante. En effet, elle présente des images qui ne sont pas toujours bien nettes. Cependant, nous pouvons constater que cette qualité ne fait qu'augmenter et ce sur un laps de temps très court. Nous pouvons certainement croire à une égalité voire un dépassement dans un avenir très proche.

→ Cependant, il ne faut pas oublier que l'investissement de départ est totalement différent. La réalisation de radiographies numériques nécessite l'achat de tout un matériel informatique qui est non négligeable. Toutefois, cette méthode de radiographie étant utilisée depuis peu dans le milieu de la chirurgie dentaire, nous pouvons croire à une future baisse des tarifs actuellement proposés.

→ Nous pensons donc que la radiographie numérique est pleine d'avenir dans la profession. Celle-ci tend à bientôt remplacer la radiographie argentique tant par ses performances qui ne cessent d'augmenter que par sa rapidité et son côté pratique de stockage -qui évite le vieillissement dans le temps du cliché. De plus l'informatisation des cabinets dentaires est souvent associée à la radiographie numérique. Celle-ci deviendra indispensable quant la télétransmission des demandes d'entente préalable pour la prothèse sera exigé par la sécurité sociale. Il serait aberrant de télétransmettre la demande et d'envoyer la radiographie par courrier

**CHAPITRE IV :**

*Apport Radiologique en odontologie*

## *Chapitres IV. Apport Radiologique en odontologie*

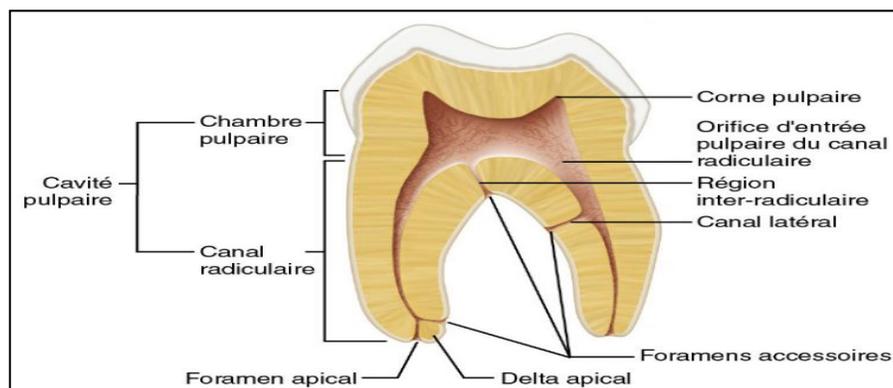
La radiographie joue un rôle plus important en odontologie conservatrice et endodontie, elle donne beaucoup d'aides pour mieux comprendre les différents concepts et d'évolution chacun phénomènes physiologique et pathologiques. C'est la clé de démarrage l'acte odontologique

### **IV.2. Définition de la discipline odontologique et endodontie :**

La discipline d'Odontologie Conservatrice et d'Endodontie regroupe l'ensemble des soins conservateurs que sont la dentisterie restauratrice et les traitements radiculaires. Préalable à tous les soins, il est nécessaire que l'hygiène orale et la maladie parodontale (maladie des gencives) soient contrôlées.

Le traitement de canal, également appelé traitement endodontique, consiste à retirer de la dent la pulpe infectée, endommagée ou morte. L'espace situé à l'intérieur des couches dures de la dent s'appelle le canal. Ce dernier est rempli d'un tissu mou appelé pulpe dentaire. Ce tissu renferme les nerfs et les vaisseaux sanguins qui permettent à la dent de se développer. Les bactéries (microbes) qui pénètrent dans votre dent par des caries profondes, des fissures ou des obturations endommagées peuvent entraîner la formation d'un abcès. C'est l'infection de la pulpe dentaire qui est à l'origine de cet abcès. Dans ce cas, la pulpe doit être enlevée. L'abcès peut causer une douleur ou une inflammation. Votre dentiste peut détecter l'infection à partir d'une radiographie dentaire ou en observant d'autres changements sur votre dent. En l'absence de traitement, l'abcès peut entraîner de graves problèmes de santé buccodentaire.

### **IV.3. Rappel anatomique :**



**Figure IV.1:** Représentation schématique

### IV.3.1. Anatomie-endodontique :

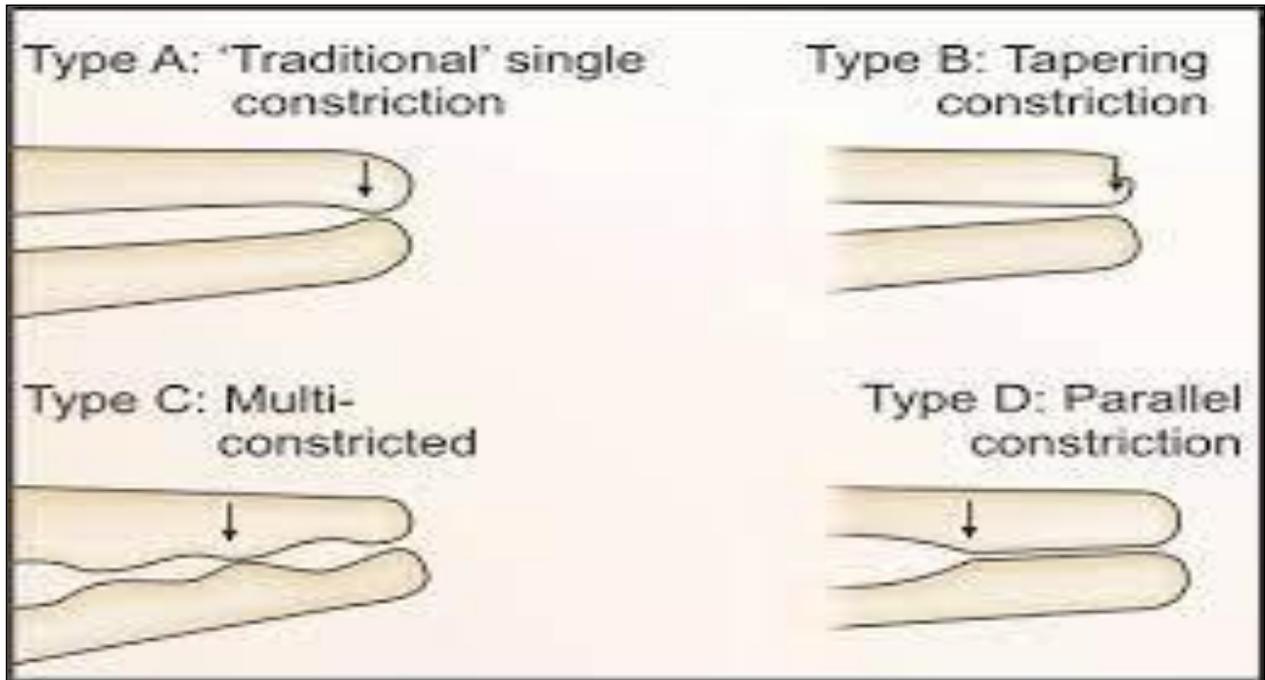
**IV.3.1.A. La chambre pulpaire :** occupe le centre de la couronne et le tronc de la racine. Elle présente un plafond, un plancher et des parois latérales. Elle est généralement une version miniature de la dent et ses contours sont en conformité avec les contours de la dent. Cette configuration varie avec l'âge de la dent et/ou les réponses aux irritations.

**IV.3.1.B. Les canaux radicaire :** Les canaux radiculaires s'étendent le long de la racine, Ils partent d'une entrée en entonnoir et débouchent à l'extrémité de la racine par le foramen apical, La forme et la localisation des canaux sont gouvernées par la forme de la racine (en coupe transversale). Des formes différentes peuvent apparaître à tout niveau d'une racine unique. Les canaux radiculaires prennent des chemins différents dans la région apicale. Ils peuvent se ramifier, se diviser et se rejoindre.

### IV.3.2. Anatomie Apical :

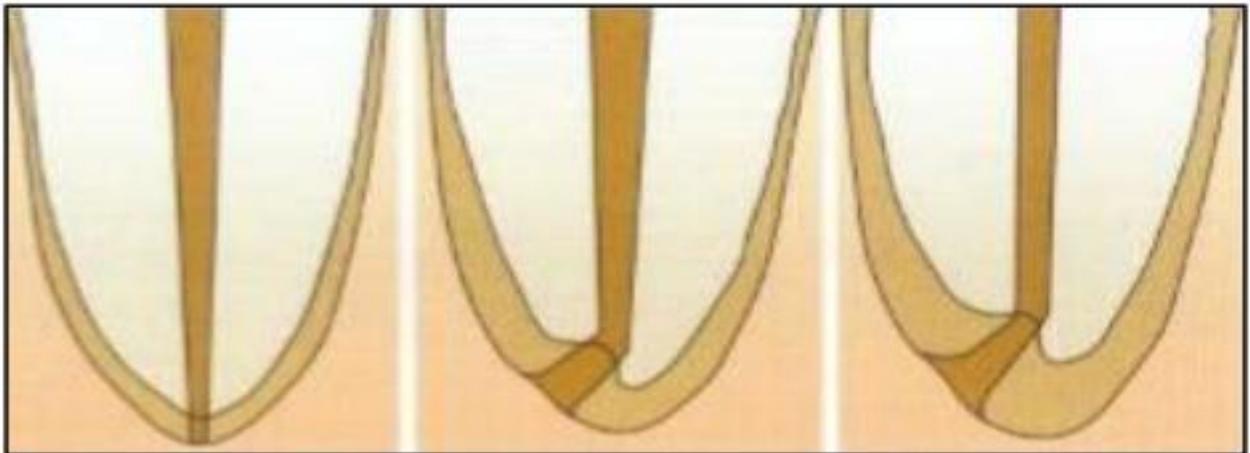
**IV.3.2.A. La constriction apicale (foramen mineur) :** Selon Grove: la constriction apicale est l'endroit où la pulpe se termine et le parodonte commence.

- Dummer et al ont décrit quatre types de constriction apicales :
- ✓ **Le type A :** qu'ils qualifient de traditionnel, correspond à la description de Kuttler : il est observé dans 46 % des cas et la distance moyenne constriction-vertex y est de 1,07 mm
- ✓ **Le type B :** correspond à une forme effilée de la constriction, ce qui la rend plus difficile à percevoir. Il représente 30 % des canaux, surtout observé au niveau des incisives mandibulaires.
- ✓ **Le type C :** les constriction multiples Elles sont bien évidemment sources d'erreurs. Elles sont rencontrées dans 19 % des canaux observés et la distance constriction-vertex est de 1,08 m
- ✓ **Le type D :** pour les constriction parallèles, ne se rencontre que dans 5 % des cas. Ce sont les canaux dont la constriction s'observe plus en deçà de l'apex (1,14 mm en moyenne) et qui se poursuivent jusqu'au cône cimentaire par une portion étroite et parallèle du canal.



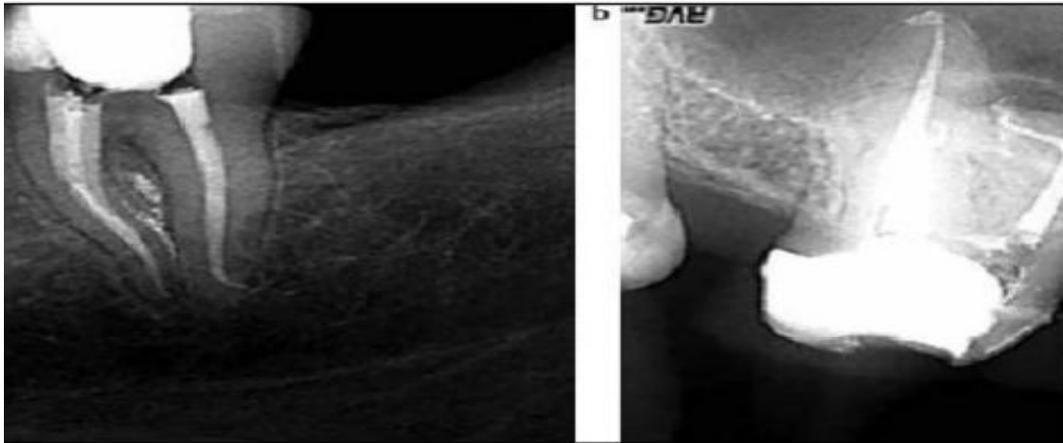
**Figure IV.2:** Représentation schématique des différents types de foramen apical selon Dummer et al

**IV.3.2.B. La constriction apicale (foramen majeur) :** Le foramen apical correspond à l'ouverture du canal principal dans la région apicale. Plus précisément, il s'agit de la base du cône cimentaire.



**Figure IV.3:** dépôt chronologique du ciment et déviation du foramen

→ A gauche : le concept erroné, au centre : représentation schématique de l'apex chez les 18-25 ans, à droite : représentation schématique de l'apex chez les + de 55ans. 6



→ Le foramen n'est pas toujours au centre de l'apex radiographique, il peut être déplacé latéralement.

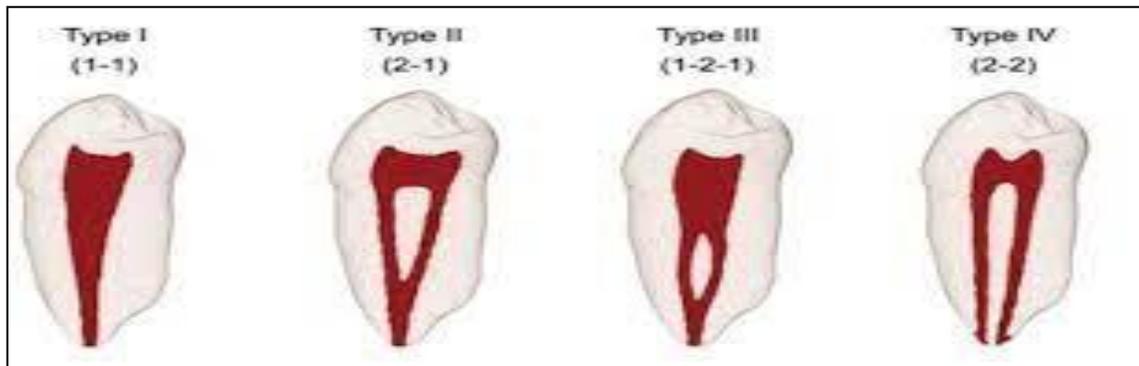
**IV.3.2.C. La classifications de système canalaire :**

➤ **Classification de Vertucci :**

<b>I</b> (1-1)	un seul canal de la chambre pulpaire à la terminaison du canal ( configuration 1-1).	
<b>II</b> (2-1)	deux canaux séparés quittant la chambre, mais se rejoignant à la sortie du canal pour former un seul canal (2-1).	
<b>III</b> (1-2-1)	un seul canal qui se divise en deux et fusionne ensuite pour en sortir un (configuration 1-2-1).	
<b>IV</b> (2-2)	deux canaux distincts de la chambre pulpaire à l'extrémité du canal (configuration 2-2).	
<b>V</b> (1-2)	un seul canal quittant la chambre et se divisant en deux canaux distincts à l'extrémité du canal (configuration 1-2).	
<b>VI</b> (2-1-2)	VI: deux canaux distincts quittent la chambre pulpaire, se rejoignent dans le corps de la racine et se divisent à nouveau en deux canaux distincts situés à l'avant de l'extrémité du canal (configuration 2-1-2).	
<b>VII</b> (1-2-1-2)	un seul canal qui divise, fusionne et sort en deux canaux distincts proches de l'extrémité du canal (configuration 1-2-1-2).	
<b>VIII</b> (3-3)	trois canaux distincts de la chambre pulpaire à l'extrémité du canal (configuration 3-3).	

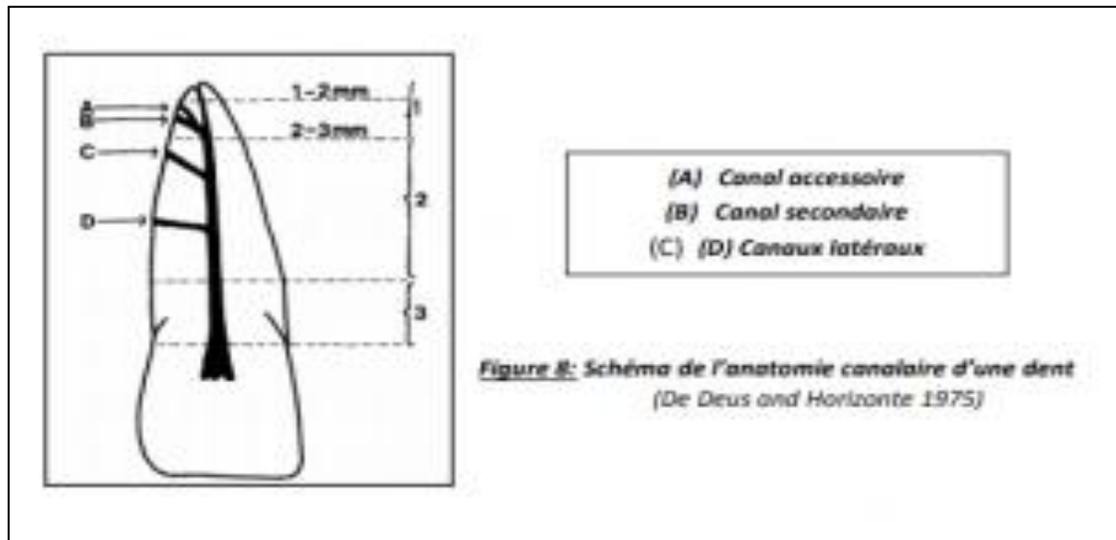
**Figure IV.4:** Tableau montrant différentes anatomies canalaires selon Vertucci

- **Classification de Weine :** Quatre types anatomiques fondamentaux de la cavité pulpaire radiculaire :
  - ✓ **Type I :** continuité d'un seul canal principal de la chambre pulpaire à l'apex.
  - ✓ **Type II :** deux canaux principaux qui se séparent à partir de la chambre pulpaire et qui confluent pour ne former qu'un seul canal principal proche de l'apex.
  - ✓ **Type III :** deux canaux séparés qui partent de la chambre pulpaire et qui débouchent à l'apex en deux foramens différents.
  - ✓ **Type IV :** canal unique qui part de la chambre pulpaire et qui se divise en deux canaux principaux distincts chacun d'entre eux débouchant en un foramen qui lui est propre.



**Figure IV.5:** Classification de weine

- **Classifications de Deus :**
  - ✓ **Canal principal :** se prolonge le long de la racine dès l'entrée canalaire au foramen apical.
  - ✓ **Canal latéral :** émanation du canal principal mettant en communication endodonte et le desmodonte au niveau des deux tiers coronaires de la racine à l'axe principal de la dent.
  - ✓ **Canal secondaire :** nait à partir du canal principal au niveau de tiers apical .son axe est plutôt oblique par rapport à celui du canal principal.
  - ✓ **Canal accessoire :** c'est une branche latérale du canal secondaire.



**Figure IV.6:** Classification de Deus

#### IV.4. Classification des différents stades d'évolution dentaire :

- **Stade de Nolla :** Lorsque la dent fait son éruption, sa racine n'est pas complètement formée. Nolla a décrit en 1960 les différents stades de développement de la dent permanente. Selon ce dernier, l'édification radiculaire commencerait au stade 6 et au stade 8 les 2/3 de la racine seraient édifiés. C'est à ce moment que la dent permanente fait son éruption. Il faudra ensuite environ 1 à 4 ans supplémentaires pour que l'apex soit complètement fermé et donc que la dent soit mature, au stade 10 de Nolla.

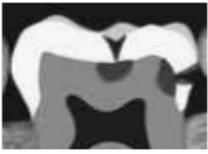
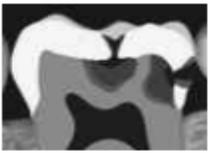
Stades de Nolla	Description
Stade 0	Absence de crypte
Stade 1	Présence de crypte
Stade 2	Calcification initiale
Stade 3	Un tiers de la couronne est minéralisé
Stade 4	Deux tiers de la couronne sont minéralisés
Stade 5	La couronne est minéralisée
Stade 6	Début d'édification radiculaire
Stade 7	Un tiers de la racine est minéralisé
Stade 8	Deux tiers de la racine sont minéralisés. La dent fait son éruption
Stade 9	La racine est édifiée, l'apex est non fermé
Stade 10	L'extrémité apicale de la racine est achevée, la jonction mémento dentinaire est en place

**Figure IV.7:** Classification de Nolla

**IV.5.La lésion carieuse :**

**IV.5.1. Définition:** La carie dentaire est une maladie dynamique multifactorielle, non transmissible et dynamique médiée par le biofilm, qui entraîne une perte minérale nette de tissus dentaires durs. Il est déterminé par des facteurs biologiques, comportementaux, psychosociaux et environnementaux. À la suite de ce processus, une lésion carieuse se développe.

**IV.5.2. La classification des SISTA:**

Stade		Site	
1 : occlusale		2 : proximale	3 : cervicale
0		Lésion initiale superficielle active, sans cavitation	
1		Lésion active débutante : opacité, coloration de l'émail, microcavitation Atteinte dentinaire 1/3 externe	
2		Lésion active étendue modérée, cavitaire Atteinte dentinaire 1/3 médian Perte du point de contact	Lésion cavitaire limitée à une face
3		Lésion active étendue, cavitaire Atteinte dentinaire 1/3 interne Perte du point de contact Fragilisation des cuspides/angle incisif	Lésion cavitaire étendue aux faces proximales
4		Lésion cavitaire extensive et parapulpaire avec destruction des cuspides/angle incisif	Lésion cavitaire entourant le collet

**Figure IV.8:** Classification de SISTA

## IV.6. Les différentes techniques radiologiques :

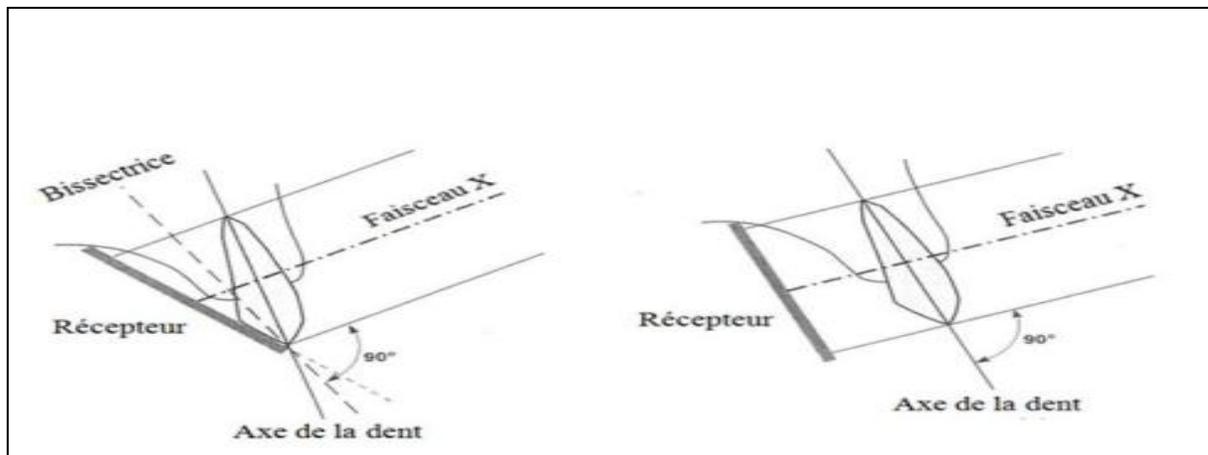
### IV.6.1. Techniques intra orale :

#### IV.6.1.1. Clichés rétro-alvéolaires :

Idéalement, un cliché rétro-alvéolaire doit montrer, non seulement, la totalité de chaque dent radiographiée jusqu'à l'apex mais aussi les tissus osseux avoisinants afin de pouvoir éliminer toute manifestation pathologique de voisinage.

De plus, le centrage du récepteur en arrière de la zone à explorer doit être rigoureux, il ne doit pas déborder du plan occlusal de plus de 3 mm et pour un film de 31 x 41 mm, utilisé avec son grand axe horizontal, trois dents contigües doivent être visibles dans leur intégralité .

Il existe deux techniques possibles pour prendre un cliché rétro-alvéolaire : la technique de la bissectrice et la technique des plans parallèles



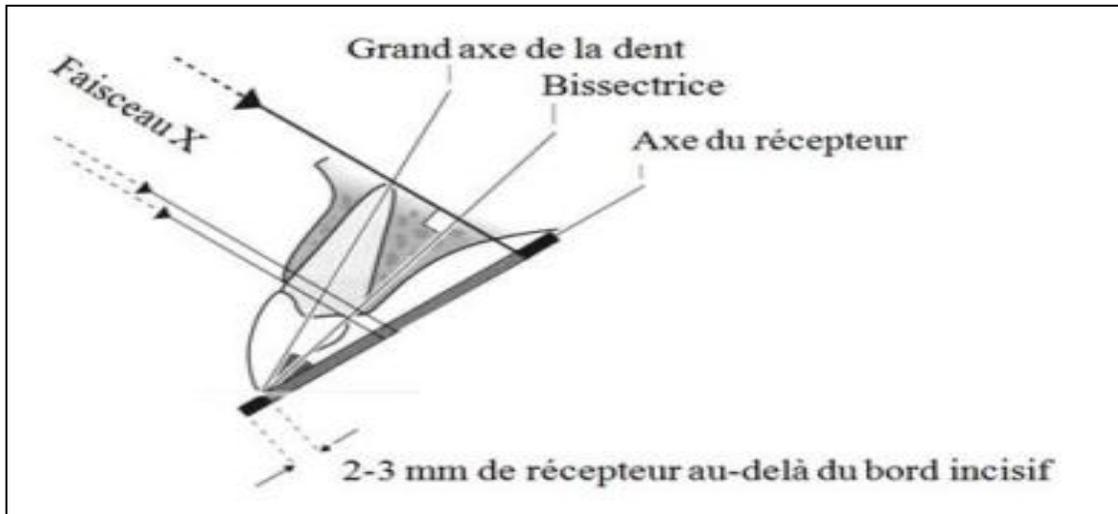
**Figure IV.9:** Schématisation des techniques de la bissectrice (à gauche) et des plans parallèles (à droite)  
(traduit d'après Jones et al 2007)

→ Une enquête menée auprès des dentistes flamands révèle que 81% prétendent utiliser la technique des plans parallèles, 14% la technique de la bissectrice et 5% ne savent pas . Une enquête réalisée dans une ville brésilienne montre que 62% des praticiens utilisent la technique des plans parallèles

#### ➤ **A-Technique de la bissectrice :**

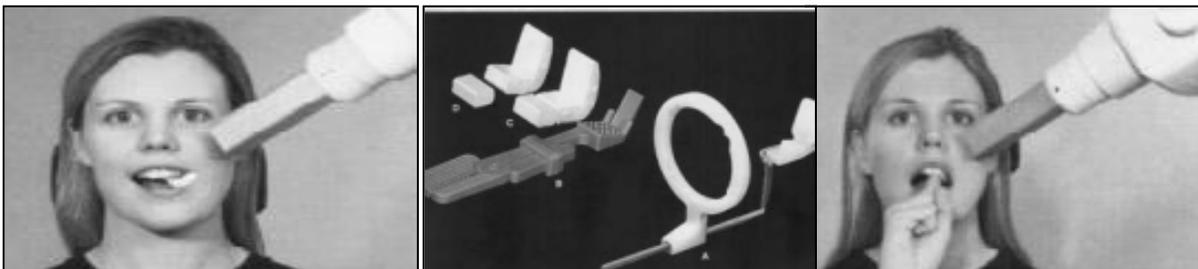
La technique de la bissectrice est aussi appelée technique isométrique de Cieszynski (White et Pharoah, 2014 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

Le principe de cette technique est de placer le récepteur au contact de la couronne de la dent et de la muqueuse, puis de visualiser la bissectrice de l'angle formé par le grand axe de la dent et l'axe du récepteur pour placer le tube radiogène de manière à ce que le faisceau de rayons X passe perpendiculairement à cette bissectrice . Ce principe géométrique permet d'obtenir une image où la longueur des dents correspond à leur taille réelle.



**Figure IV.10:** Schématisation de la technique de la bissectrice (modifié et traduit d'après Whaites Et drage 2013)

→ Avec cette technique, le récepteur peut être maintenu en position soit par un porte récepteur, soit par le doigt du patient (généralement l'index, parfois le 91 pouce). Toutefois, il est préférable d'utiliser un angulateur car les patients ont tendance à exercer une force excessive avec leurs doigts ce qui engendre une flexion du récepteur et donc une distorsion de l'image. De plus, l'utilisation d'un porte-récepteur évite d'exposer le doigt du patient au faisceau primaire de rayons X.



**Figure IV.11:** Technique de la bissectrice

Avec un bloc de morsure

Rinn Greene Stabe

**Figure IV.12:** Portes récepteurs pour

technique de la bissectrice

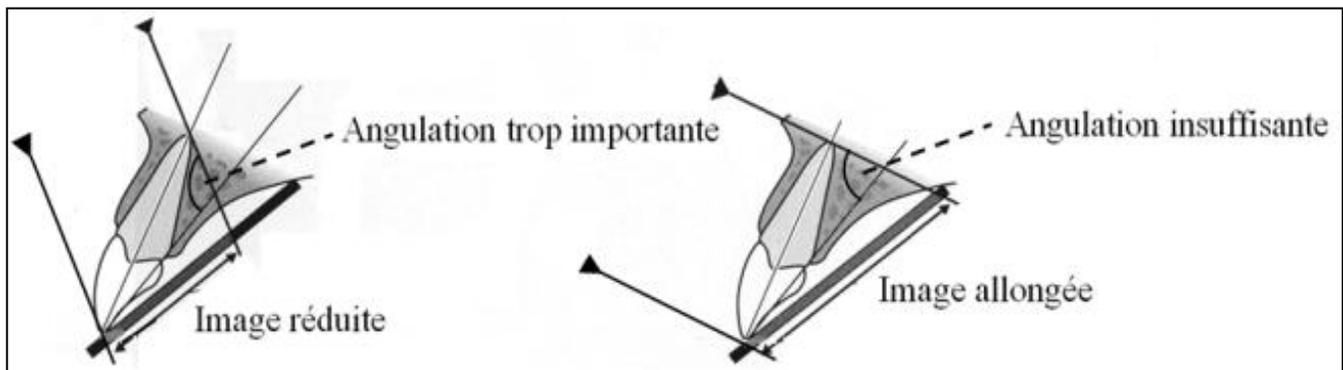
(Whaites et Drage, 2013 ®)

→ Les avantages de cette technique sont un positionnement relativement simple, rapide et raisonnablement confortable pour le patient dans tous les secteurs. Si les angulations sont bien respectées, l'image correspond à la réalité.

→ l'inconvénient majeur de cette technique est la difficulté de positionnement du tube radiogène qui conduira fréquemment à une distorsion de l'image de la dent qui apparaît allongée ou réduite.

On aura souvent une distorsion des couronnes nuisant à la détection des caries proximales, un raccourcissement des racines palatines des prémolaires et molaires maxillaires et une projection fréquente de la crête alvéolaire dans une position plus coronaire qu'en réalité.

Les autres inconvénients sont l'absence de reproductibilité des clichés, le risque d'une image tronquée à cause d'un mauvais centrage du tube radiogène, un niveau d'os cristall peu visible et une superposition de l'arcade zygomatique sur les apex des molaires supérieures (. De plus, la technique de la bissectrice nécessite une angulation plus verticale du tube radiogène dirigeant le faisceau primaire vers la glande thyroïdienne ou les yeux .

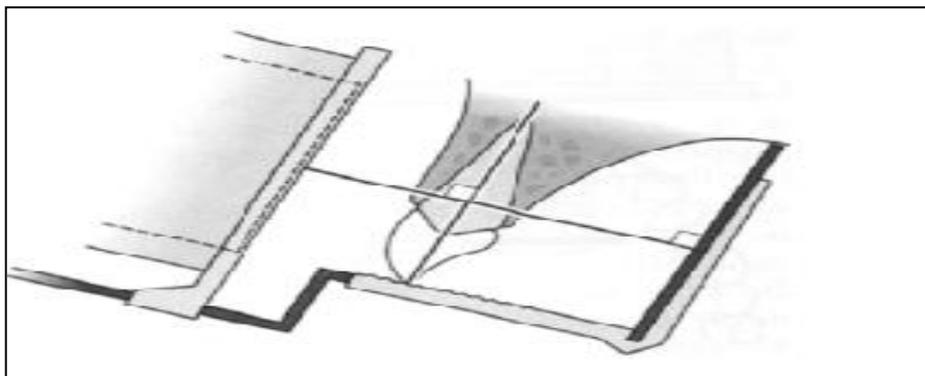


**Figure IV.13:** Erreurs d'angulation du tube conduisant à la distorsion de l'image (modifié et traduit d'après Whaites et Drage 2013)

→ De part ses nombreux inconvénients, la technique de la bissectrice est en voie de Disparition au profit de la technique des plans parallèles (Clée et Soueidan, 2014 White et Pharaoh, 2014 ; Cavézian et Pasquet, 2005).

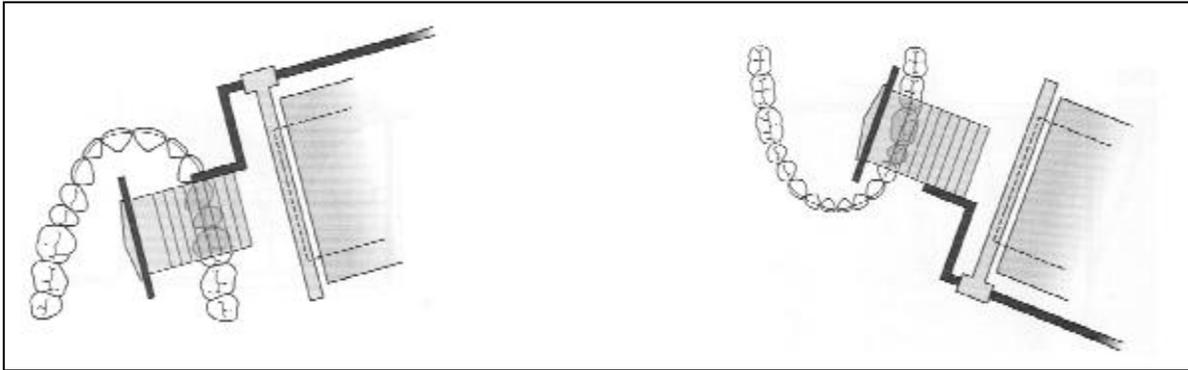
#### ➤ **B- Technique des plans parallèles :**

Cette technique consiste à placer le récepteur le plus près possible de la dent et parallèlement au grand axe de celle-ci à l'aide d'un porte-récepteur et faire passer le faisceau de rayons X perpendiculairement à la dent et au capteur.



**Figure IV.14:** Schématisation de la technique des plans parallèles

→ En pratique, au maxillaire on positionne le récepteur sur la partie la plus profonde du palais bien que cela décale légèrement la position du capteur par rapport à la dent, on s'assure ainsi d'avoir la totalité de la dent sur l'image. A la mandibule, les nombreuses structures musculaires gênent la mise en place du récepteur, celui-ci doit être inséré entre la crête mandibulaire et la langue, puis le patient ferme délicatement la bouche afin de réduire les tensions des muscles du plancher buccal.



**Figure IV.15:** technique des plans parallèle Au maxillaire et à la mandibule

→ l'utilisation d'un porte-récepteur avec système de visée est primordiale, notamment avec les collimateurs rectangulaires, et permet de bien positionner le tube radiogène afin de ne pas avoir de distorsion de l'image. Toutefois, leur utilisation ne garantit pas à elle seule un bon cliché, il faut aussi prendre garde au bon positionnement du récepteur sur l'angulateur puis du porte-capteur en bouche.

→ La technique des plans parallèles présente de nombreux avantages:

- 1) une image respectant la géométrie de la longueur des dents, des couronnes et des tissus parodontaux avec un minimum d'allongement, de rétrécissement ou de distorsion de l'image;
- 2) une amélioration de la qualité de l'image en réduisant le phénomène de pénombre.
- 3) une image reproductible et standardisée qui permet le suivi d'une pathologie.
- 4) une angulation et un centrage du tube radiogène facilement déterminés par le dispositif de visée de l'angulateur .
- 5) une bonne visualisation du niveau de l'os cristallin et la projection de l'arcade zygomatique au-dessus des apex des molaires maxillaires.

De plus, comparée à la technique de la bissectrice, elle engendre une plus faible dose d'exposition de la thyroïde, des yeux.

→ l'inconvénient majeur de cette technique est un positionnement du récepteur inconfortable pour le patient, notamment en secteur postérieur où il peut déclencher un réflexe nauséeux. De plus, la mise en œuvre de cette technique peut être impossible dans certains cas, tout particulièrement au niveau maxillaire lorsque le palais est plat.

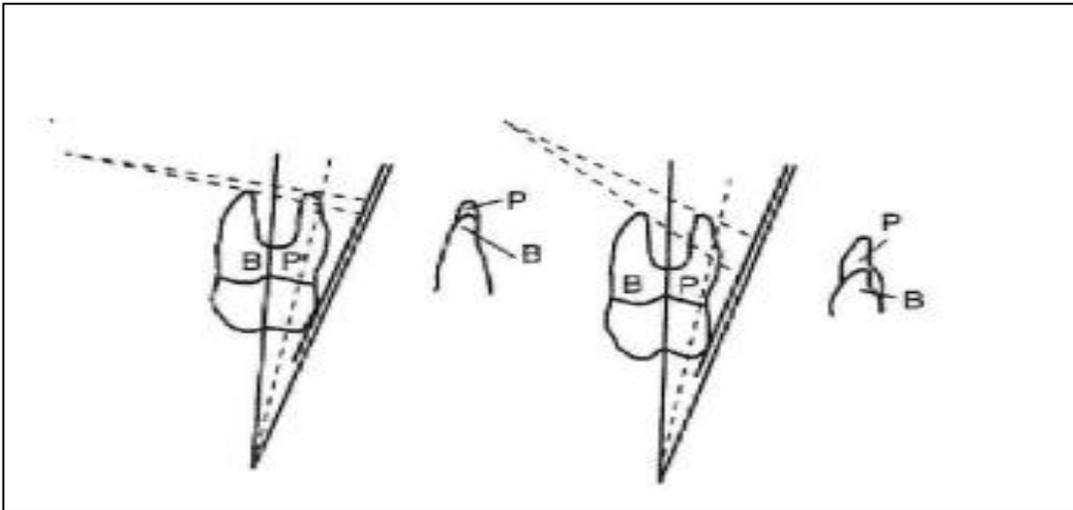
→ La technique des plans parallèles est celle qui fournit l'image la plus fidèle et qui possède plus d'avantages que d'inconvénients. C'est la procédure la plus précise pour obtenir un diagnostic exact ce qui en fait la technique de choix pour la prise des clichés rétro-alvéolaires.

➤ **C- Incidences excentrées :**

En plus d'une incidence orthocentrée, il peut être nécessaire de réaliser des incidences excentrées, lors de superpositions radiculaires ou de recherche de fracture radiculaire par exemples .

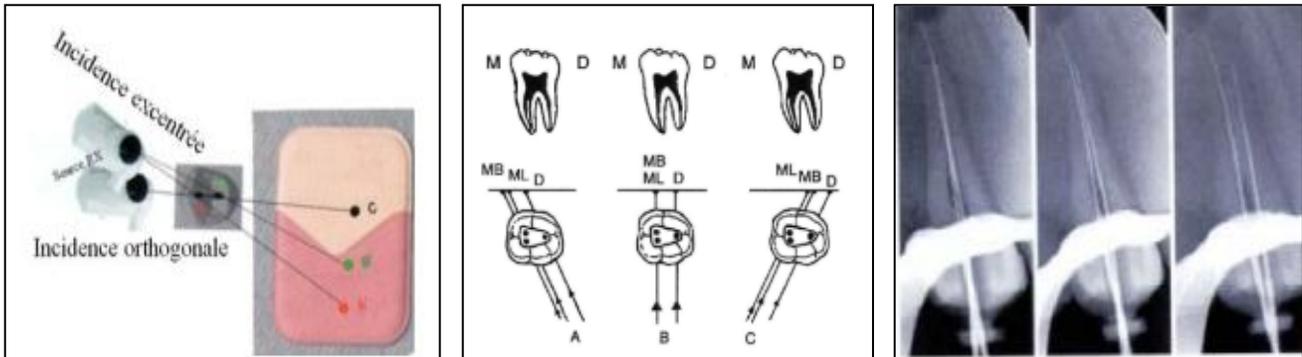
En effet, il est possible de s'approcher d'une analyse tridimensionnelle en employant différentes incidences de l'imagerie bidimensionnelle. L'excentrage du faisceau peut et doit parfois être réalisée afin d'apporter des informations complémentaires pas toujours visibles pour des incidences orthocentrées .

Si on augmente l'angulation dans le sens vertical, pour une dent pluriradiculée, les racines vestibulaires apparaissent alors plus courtes que les racines palatines ou linguales sur l'image . Cette angulation verticale est utile pour éviter la superposition d'éléments physiologiques tels que l'arcade zygomatique au maxillaire ou le canal mandibulaire à la mandibule ou d'éléments pathologiques comme une lésion d'origine endodontique.



**Figure IV.16:** angulation verticale au maxillaire

→ On peut également modifier l'angulation dans le sens horizontal mésial ou distal dans ce cas on observe sur l'image un décalage des éléments palatins ou linguaux du même côté que



l'angulation du tube et un décalage du côté opposé des éléments vestibulaires, (White et Pharoah, 2014; Arbab-Chirani et Diemer, 2010; Fava et Dummer, 1997), en d'autres termes l'élément qui se déplace le plus et qui est le plus flou est l'élément le plus éloigné du récepteur, et inversement. Cette angulation horizontale permet d'éviter la superposition d'éléments comme les canaux d'une même dent en endodontie, (Fava et Dummer, 1997). La technique d'angulation horizontale est aussi connue sous le nom de règle de Clark.

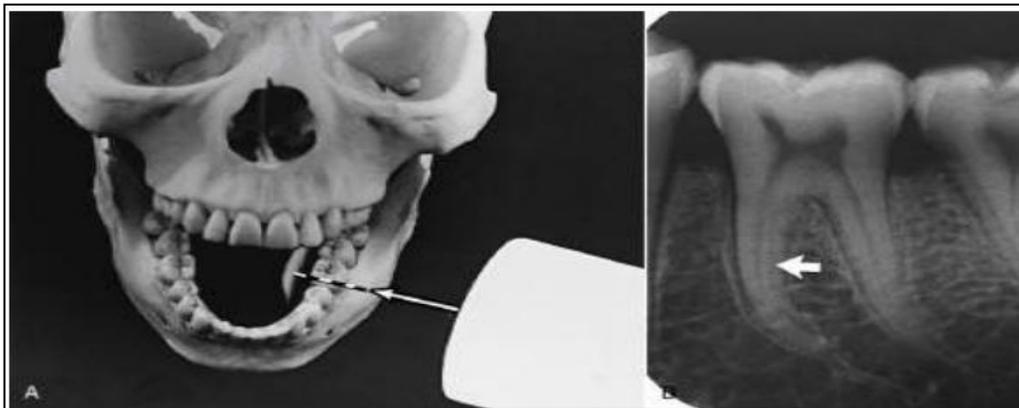
→ On notera que même dans le cas de clichés excentrés l'utilisation de l'angulateur est recommandée afin de ne pas réaliser d'angulations excessives (Arbab-Chirani et Diemer, 2010).

✓ **Règle de Clark:**

Lorsque le tube est mésialé (environ 20°). La racine la plus distale sur la cliché est la racine plus vestibulaire en réalité

✓ **Règle de Walton :**

Lorsque le tube est distal é (environ 20°). La racine la plus distale sur la cliché est la racine plus palatine en réalité

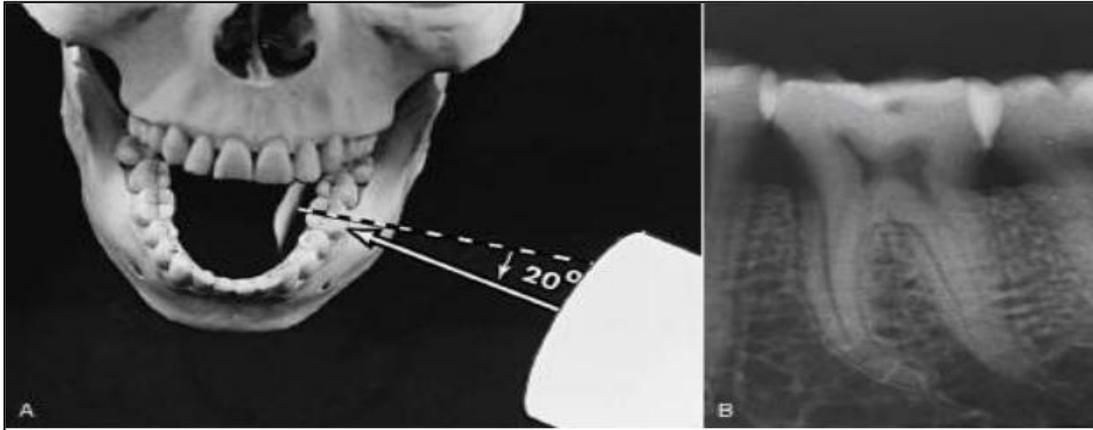


**Figure IV.17:** règle de Clark

→ **A :** La surface sensible est disposée parallèlement au plan de l'arcade. L'axe central du cône (flèche) est dirigé perpendiculairement au plan du film. C'est la relation géométrique fondamentale qui régit l'angulation verticale et l'angulation horizontale.

→ **B :** Les contours de la molaire sont nets, mais les informations sur les structures superposées

sont limitées (les canaux sont inclus dans un plan vestibulolingual). La flèche pointe un ligament parodontal adjacent à une ligne de convexité radiculaire et non à un deuxième canal.



**Figure IV.18:** règle de Walton

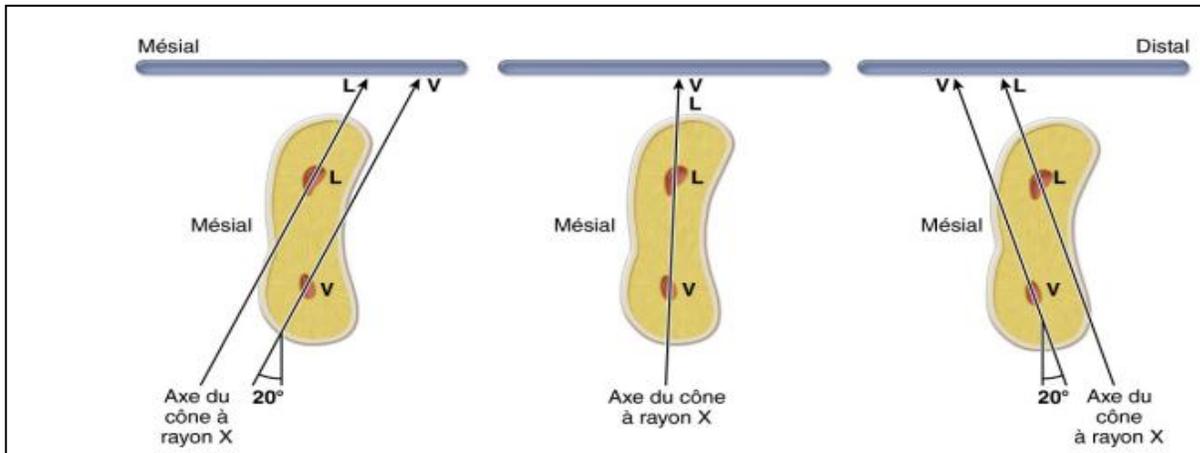
→ **A** : Une angulation du cône de 20 degrés par rapport à la perpendiculaire au plan du film (projection mésiale).

→ **B** : Le radiogramme résultant démontre les caractéristiques morphologiques du canal dans la troisième dimension. Par exemple, deux canaux sont maintenant visibles dans la racine distale de la première molaire.

✓ **La règle SLOB (same lingual, opposite buccal)**

Lorsque deux objets sont sur un plan perpendiculaire (vestibulo-lingual) à celui de la surface sensible et que la source du rayonnement (cône) est déplacée horizontalement ou verticalement, l'image des deux objets se déplace en direction opposée .

L'objet vestibulaire se déplace à distance du cône, tandis que l'objet lingual se déplace dans la direction du mouvement du cône. Sur le radiogramme, l'objet lingual a subi un déplacement relatif dans la même direction que celle de l'orientation du cône, tandis que l'objet vestibulaire s'est déplacé en direction opposée . Ce principe est à l'origine de l'acronyme anglais SLOB (same lingual, opposite buccal). Pour visualiser ce principe, il convient de placer deux doigts de la main devant un œil, l'autre étant fermé, sur un plan perpendiculaire à la face, de telle sorte que l'un des doigts soit masqué par l'autre. En déplaçant horizontalement la tête dans un sens puis dans l'autre, il est possible de visualiser le déplacement relatif des doigts l'un par rapport à l'autre. Cet effet s'applique aux racines dentaires, la source des rayons se substituant à l'œil. Pendant la mise œuvre de la technique du décalage du cône, il est crucial de mémoriser la direction du décalage, sinon des erreurs sérieuses peuvent être commises.



**Figure IV.19:** règle de SLOB

→ Sur le schéma central: l'axe du cône se confond avec l'axe vestibulolingual de la dent et le rayon traverse directement la racine ; l'image obtenue montrera la superposition des deux canaux sur le radiogramme. Lorsque le cône est décalé en direction mésiale ou distale, l'objet lingual se déplace relativement dans la même direction que le cône ; l'objet vestibulaire se déplace en direction opposée (règle SLOB).

➤ **D- Les indications de Clichés rétro-alvéolaires :**

- Pour visualiser l'anatomie des dents, la morphologie des racines et le nombre des canaux.
- Détection la localisation et la profondeur des lésions carieuses.
- Elle permet de visualiser la qualité des traitements endodontique existants
- Détection les obturations débordantes et les reprises des caries.
- Diagnostic pathologique (les résorptions, atteintes du septum, abcès péri apicale et les défauts osseux).
- Diagnostic traumatique.

➤ **E- Les avantages de Clichés rétro-alvéolaires :**

- Examiner la bonne structure des dents et de l'os alvéolaire
- Précision des informations.
- Netteté de l'image avec meilleure définition.
- Réduction de temps d'exposition au rayon x en imagerie numérique .

➤ **F- Les Inconvénients de Clichés rétro-alvéolaires :**

- Etudes uniquement la dent et sa région adjacent.
- Le champ d'exploration est limité à la taille de film .
- Cette technique est mal tolérée pour certains patients.
- Risque d'infection quand on utilise le capteur.
- Etape fastidieuse du développement du film en cas de radiographique classique.

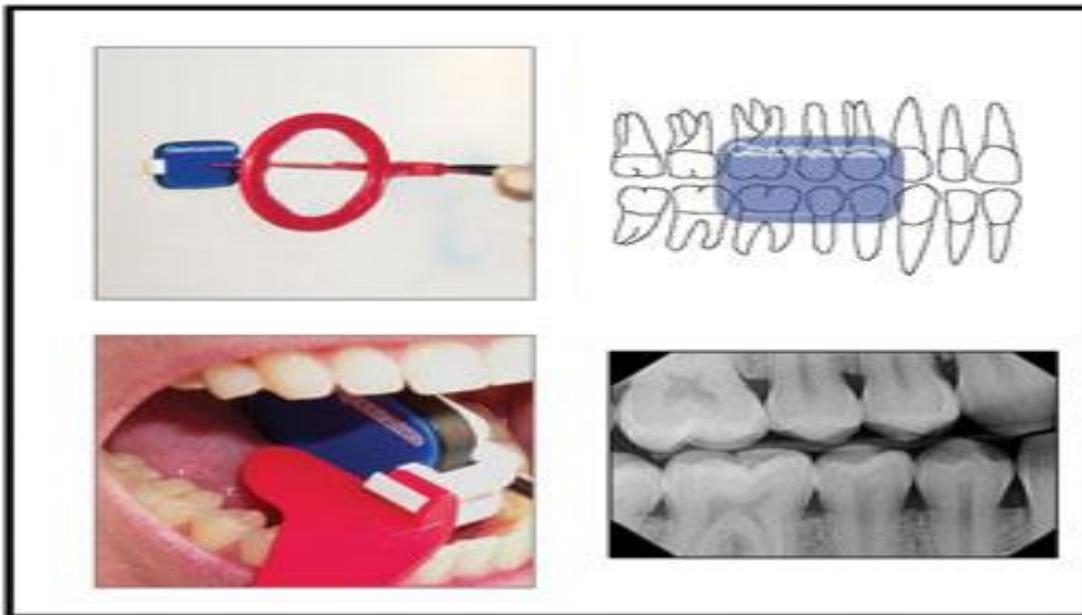
#### IV.6.1.2. Clichés rétro-coronaires (bitewing) :

→ Le cliché rétro-coronaire permet d'observer simultanément les couronnes dentaires maxillaires et mandibulaires ainsi que l'os cristal adjacent. Son principal intérêt est la détection des caries initiales proximales mais il permet aussi de détecter les reprises carieuses sous obturation, de visualiser le tartre proximal et d'évaluer le niveau de l'os cristal.

→ Pour la réalisation de ce cliché, le récepteur est placé derrière les couronnes dentaires selon un grand axe généralement horizontal mais parfois vertical. Le tube radiogène vise le centre du récepteur avec une angulation verticale de +5 à +10° afin d'éviter les superpositions des cuspides.

→ Pour une bonne analyse, il est recommandé de réaliser deux clichés rétro-coronaires par côté, un centré sur les prémolaires, l'autre sur les molaires. Toutefois, pour les enfants de 12 ans et moins, seul un cliché suffit.

→ D'un cliché bitewing on attendra au minimum que les prémolaires et molaires soient intégralement visibles, tant au niveau maxillaire qu'au niveau mandibulaire, qu'il n'y ait pas de superposition de dents en proximal sauf si les dents sont en malposition et que le contraste soit suffisant pour permettre la distinction entre l'émail et le ciment. Idéalement les points de contact distaux des canines sont visibles mais ceci peut s'avérer impossible dans certains cas où l'on n'effectue qu'un cliché par côté.



**Figure IV.20:** image montrant différents composants en technique radiographique de bitewing et image radiographique de cette technique

#### ➤ A- Les indications de Clichés rétro- coronaires (bitewing) :

- Détection de la carie proximale et occlusale.
- Détection de la carie récurrente.
- Estimation de la profondeur de la lésion.
- Evolution des lésions dans le temps.

- Localiser la source d'une gêne occlusale.
- **B- Les avantages de Clichés rétro- coronaires (bitewing) :**
  - Surfaces cliniquement inaccessibles peuvent être évaluées.
  - Méthodes non invasive n'endommage pas les tissus dentaire.
  - Dépistages précoce des caries proximales et surveillance des lésions dans le temps.
  - Diagnostic et contrôle des lésions parodontales adjacents.
- **C- Les limites de Clichés rétro- coronaires (bitewing) :**
  - Lésions non cavitaires de l'émail ne sont pas détecter avec certitudes.
  - Ne distingue pas la différence entre lésion cavitaire et déminéralisation non carieuse.
  - Surestime la profondeur des lésions dans le cas des erreurs de projections.
  - Interprétation subjective et l'information doit être associée aux données clinique.

#### IV.6.1.3. Clichés occlusaux (mordus):

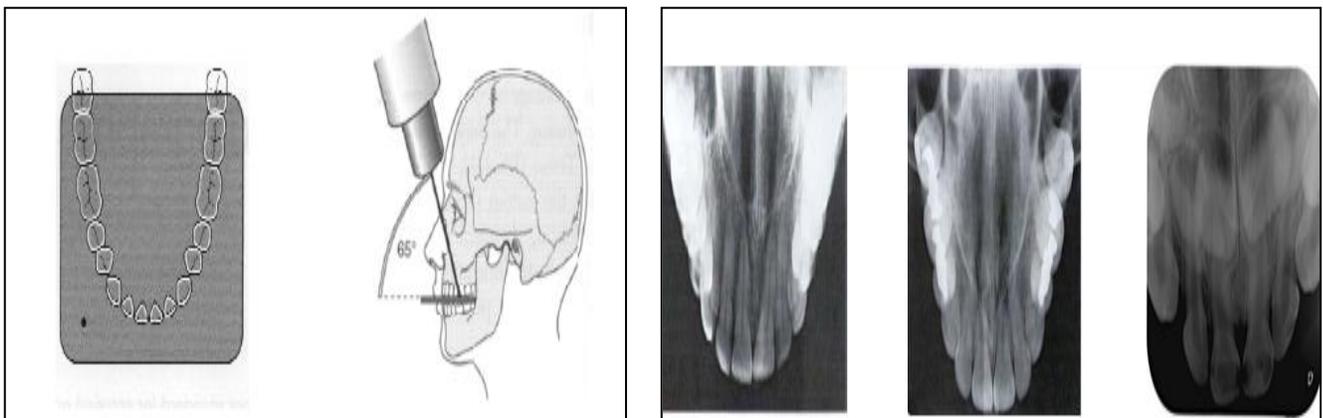
→ Les clichés occlusaux, souvent oubliés, peuvent se révéler une aide simple mais précieuse pour visualiser au maxillaire la position dans le plan vestibulo-palatin d'un élément inclus ou encore à la mandibule une lithiase salivaire dans la portion terminale du canal excréteur des glandes submandibulaires .

→ Les mordus sont généralement réalisés avec un récepteur de 57 x 76 mm et maintenus dans le plan occlusal par morsure. Chez l'enfant en denture temporaire, on utilise plutôt un récepteur de 3 x 4 cm ,

→ Il existe deux incidences occlusales: l'incidence ortho-occlusale avec le faisceau primaire perpendiculaire au plan d'occlusion maxillaire (dite de Simpson) ou mandibulaire, et l'incidence dysocclusale avec le faisceau primaire oblique au plan d'occlusion maxillaire ou mandibulaire.

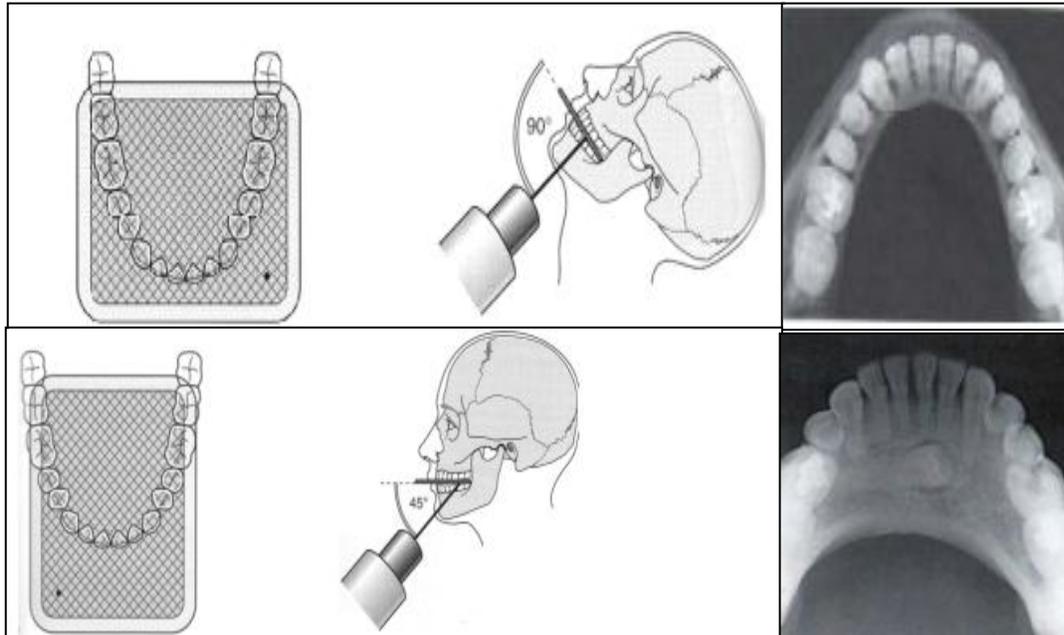
##### ➤ **A- Mordus ortho-occlusaux (orthocentrés) ) :**

Pour un mordu maxillaire ortho-occlusal, le récepteur est positionné dans un plan horizontal selon un grand axe droite-gauche et le tube radiogène médian est placé au-dessus du nez avec un angle de 65° ou seulement de 45° par rapport au récepteur.



**Figure IV.21:** image montrant l'application de mordus sur le maxillaire et image radiographique de cette technique

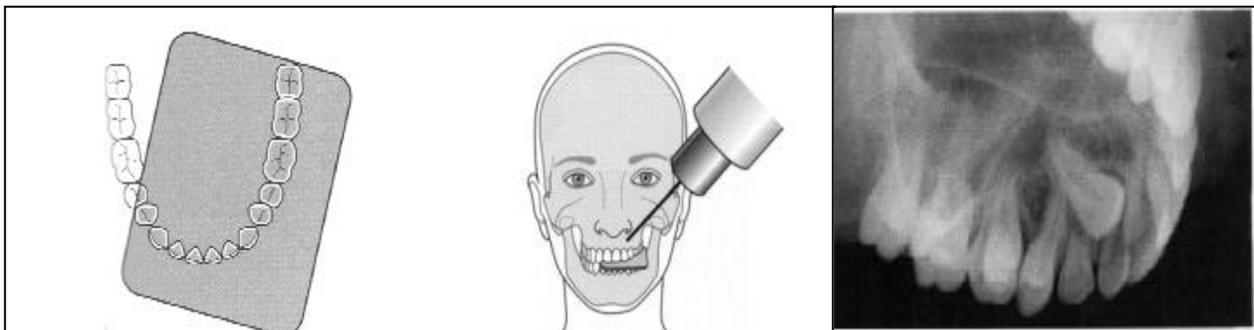
→ A la mandibule, deux types de mordus ortho-occlusaux existent. Pour l'un, le récepteur est centré avec un grand axe droite-gauche, la tête du patient en hyperextension et le tube radiogène médian avec un axe de  $90^\circ$  par rapport au récepteur. Pour l'autre, le récepteur est centré avec un grand axe antéropostérieur et le tube radiogène médian avec un axe de  $45^\circ$  par rapport au récepteur.



**Figure IV.22:** image montrant l'application de mordus sur la mandibule et image radiographique de cette technique

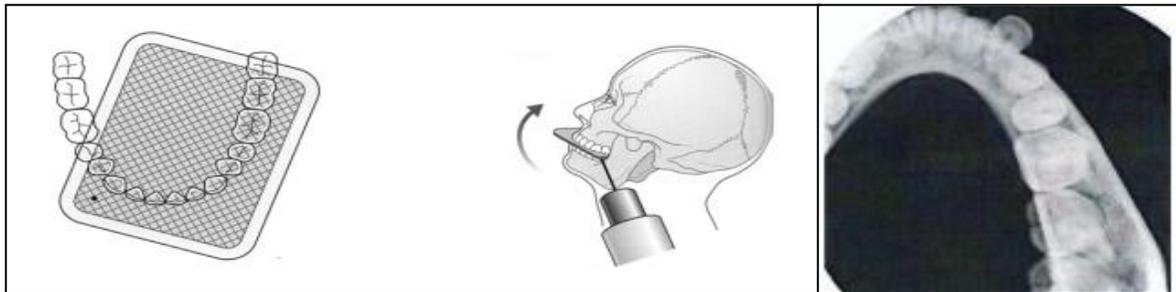
➤ **B- cliché désocclusion :**

Pour un mordu maxillaire dysocclusal, le récepteur est placé selon le grand axe antéropostérieur du côté à examiner et le tube radiogène est placé au-dessus de la joue avec un angle de  $65$  à  $70^\circ$  par rapport au récepteur.



**Figure IV.23:** image montrant l'application de cliché désocclusion sur le maxillaire et image radiographique de cette technique

→ Pour le mordu mandibulaire oblique, le récepteur est placé selon le grand axe antéropostérieur du côté à examiner, la tête du patient est en extension et en rotation du côté opposé à la radiographie et le tube radiogène est placé sous l'angle mandibulaire



**Figure IV.24:** image montrant l'application de de cliché désocclusion sur le mandibule et image radiographique de cette technique

➤ **C- Intérêts de Clichés occlusaux (mordus):**

→ En vue occlusale des maxillaire supérieur et inférieur permet de:

- Localiser les dents en position anormal.
- Visualiser la morphologie d'une dent en vue horizontale.
- Déterminer l'existence d'un calcul salivaire ou un corps étrangère intra buccale.
- Rechercher des résidus radiculaire, des dents incluses, des kystes et tout gêne des éruptions dentaire.

**IV.6.1.4. Clichés radiovisiographie:**

➤ **A- Définition :**

La radiovisiographie est une technique de radiologie numérique qui a comme particularité l'utilisation d'un capteur numérique intra-orale permettant l'apparition quasi-instantanée du cliché radiographique sur l'écran d'un ordinateur. Donc l'image numérisée est entrée au cabinet sur ordinateur et permet un contrôle thérapeutique immédiat (endodontique) pour une moindre irradiation.

L'appareillage utilise une tube dentaire et le film est remplacé par un dispositif numérique placé en bouche (capteur contenant par exemple un scintillateur, une plaque de libre optique et une caméra miniaturisée CCD).



**Figure IV.25:** clichés radiovisiographie:

➤ **B- Les avantages :**

- Réduction du temps d'exposition au rayon.
- Suppression des films donc pas de développement et gain de temps et de place.
- Image instantanée de meilleure définition.
- Il permet l'utilisation d'un Zoom qui donnerait une image de grossissement supérieure à la taille réelle de l'objet.
- Facilité de stockage de l'image et peuvent être transférée chez un confrère.

➤ **C- Les inconvénients :**

- Epaisseur du capteur et sa fragilité.
- Matériels informatiques de visualisation et de traitement et de transfert nécessairement de bonne qualité.
- Notion de diminution des doses de rayon pouvant entraîner une tentation de multiplier les clichés.
- Durée de la vie inconnue du capteur.
- Risque d'infection par contamination croisé.

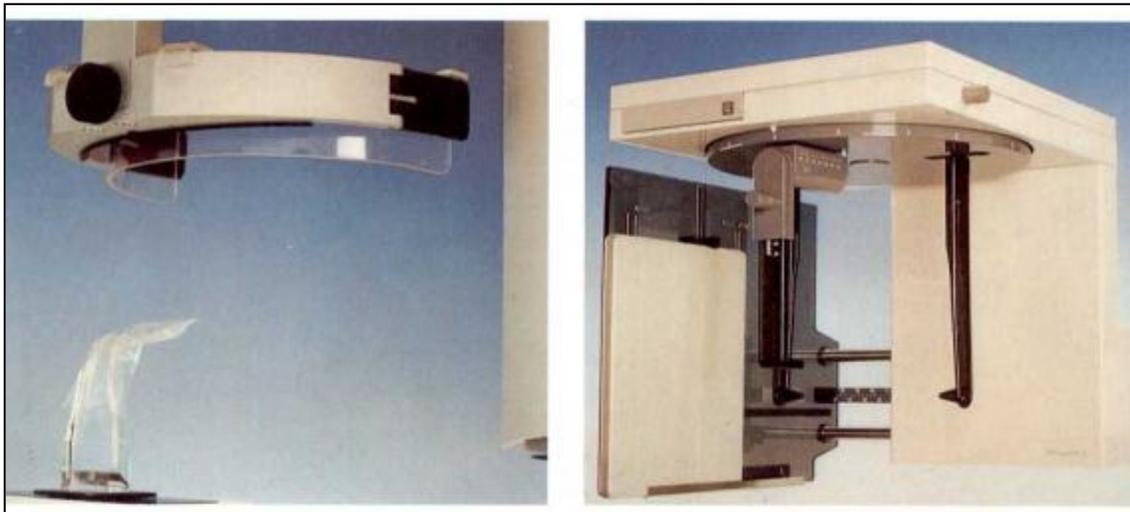
#### IV.6.2. Techniques extra orale :

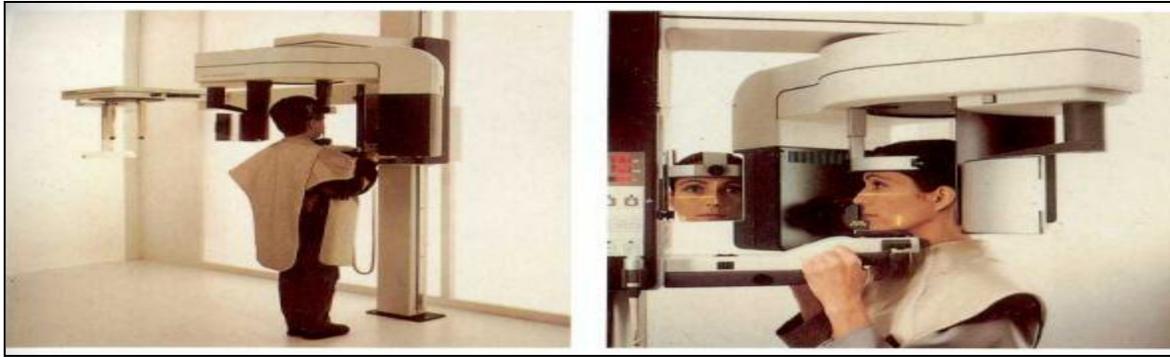
##### IV.6.2.1. La radiographie panoramique (orthopantomogramme) :

➤ **A-Définition :**

La radiographie panoramique, ou orthopantomogramme, est une des techniques de radiographie dentaire extra-orale. Elle permet d'obtenir une image des arcades dentaires ainsi que des structures avoisinantes sur un unique film grâce à une faible exposition (0,006 msv).

En complément de l'examen clinique, l'orthopantomogramme est l'examen d'imagerie de première intention.





**Figure IV.26:** Images montrant la diapositive panoramique et différents composants. Et la technique de prise

➤ **B- Historique :**

La découverte des rayons X est attribuée à Röntgen en 1895 grâce au tube de Crookes. En 1922, Bocage en France et Vallebona en Italie inventent la technique de la tomographie, un procédé original de discrimination plan par plan de structures complexes.

Cette nouvelle technique propose d'isoler un plan de coupe déterminé par homothétisme en sens inverse du tube à rayons X et du film radio. Par la suite, le Finlandais Paatero démontre dans les années 50 que l'image d'une hémisphère est grandement améliorée par le décalage de l'axe de rotation de l'appareil vers la région molaire opposée, puis que l'utilisation de deux centres de rotation décalés de chaque côté de la mâchoire et d'un centre médian permettait d'éliminer le chevauchement des dents. Il réalise ainsi un appareil qui s'inspire de ces principes: l'orthopantomogramme, permettant d'inscrire l'ensemble des arcades dentaires déroulées sur un seul film (2-5).

➤ **C- Le principe :**

→ La radiographie panoramique, contrairement à la plupart des radios, est un cliché en mouvement et non statique. En effet, le tube à RX et le film se déplacent pendant la prise du cliché. Ce principe a permis d'obtenir une image lisible d'une structure composée de différents éléments qui se superposent. Le tube et le film se déplacent de manière à ce que les points à radiographier se situent à une distance toujours constante. La projection de tous ces points détermine le plan de coupe dans lequel doivent se situer les structures à radiographier.

→ La difficulté est de créer une épaisseur elliptique de coupe pouvant convenir à la majorité des types morphologiques d'arcades dentaires. La réalisation d'une coupe épaisse semi-circulaire ne présente pas de difficulté particulière (un seul centre de rotation, une épaisseur de coupe constante, etc.). Mais la disposition ogivale des arcades introduit la nécessité de centres de rotation distincts afin de pouvoir inscrire sans interruption les structures que l'on se propose d'examiner. L'épaisseur de coupe « fine » en avant, « large » en arrière, résulte de l'existence de ces différents centres de rotation.

→ Des zones floues se situent « en avant » et « en arrière » du plan et viendront voiler le cliché final (ce qui n'est pas le cas du scanner). Les éléments situés dans ces zones seront d'autant plus flous qu'ils seront éloignés du plan de coupe.

Afin de respecter la trajectoire en forme de cloche des arcades, le tube et le film sont solidarisés et effectuent une rotation autour de plusieurs centres situés en dehors du plan de coupe.

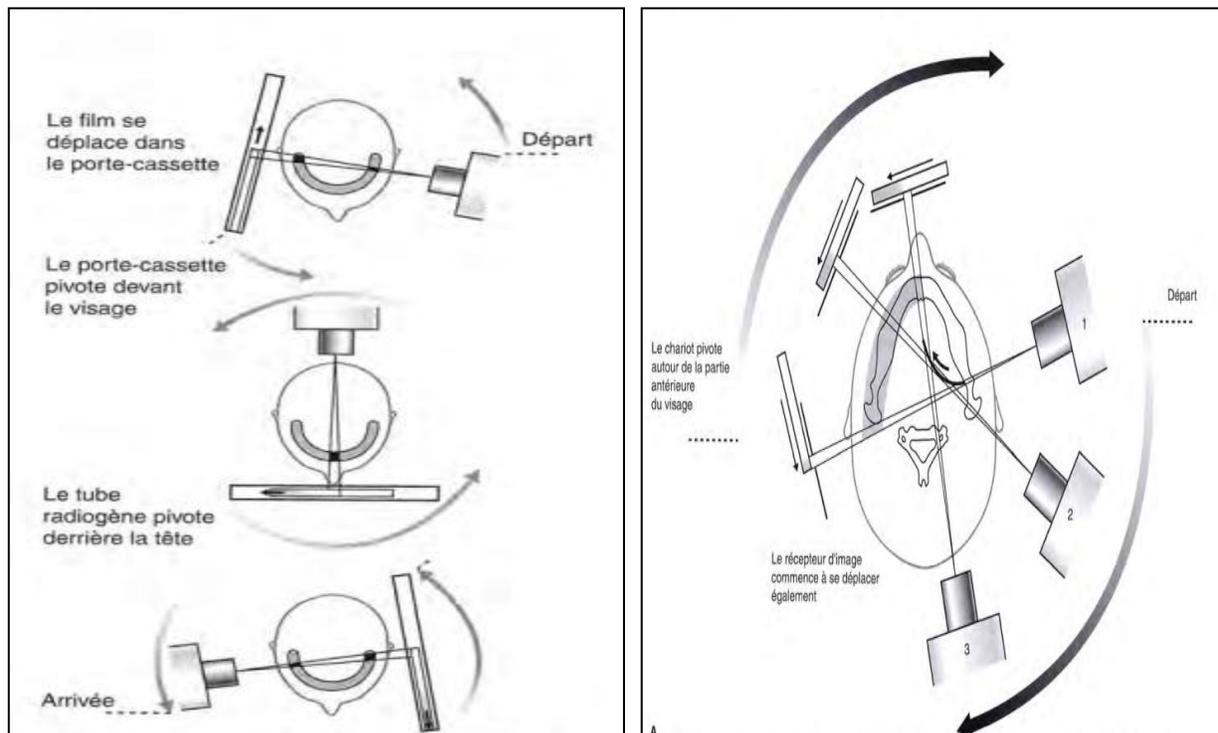
Un axe fixe solide portant le tube et le film parcourt une trajectoire elliptique dont la forme correspond à celle de la mandibule.

→ La tomographie génère ainsi des coupes dont l'épaisseur varie selon les zones radiographiées (plus épaisse dans le secteur PM/M qu'au niveau du bloc incisif).

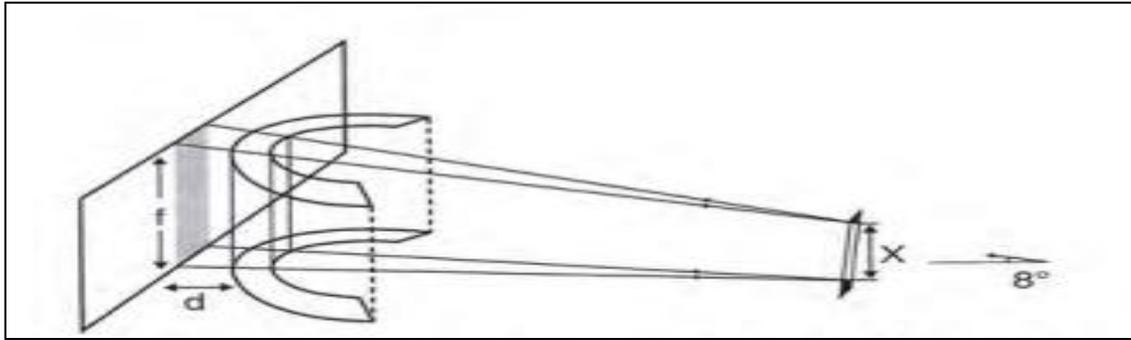
→ l'agrandissement, lié à l'angulation et la divergence des rayons, varie de 1,2 à 1,7 suivant les différentes zones de l'image. Ce facteur n'est pas métrisable par le praticien.

Le positionnement correct du patient est nécessaire afin d'éviter les distorsions:

- L'axe de symétrie du patient doit être confondu avec celui du plan de coupe. Il doit être vertical pour éviter un agrandissement des dents les plus éloignées du film
- Le patient doit avoir le cou bien étiré pour éviter une superposition de l'image des vertèbres au niveau de la symphyse.
- Le positionnement se fait à partir des incisives de manière à pouvoir les placer dans le plan de coupe dont l'épaisseur est réduite au niveau antérieur.
- Le patient doit être orienté de façon à ce que le plan horizontal serve de bissectrice à l'angle inter-incisif (le patient mordant en bout à bout).



**Figure IV.27:** Schéma montrant le balayage tout autour l'appareil oro facial par dispositif panoramique



**Figure IV.28:** Schéma montrant l'ouverture de collimateur en relation avec la longueur de cliché récepteur

➤ **D- Les avantages :**

- Est un examen complet. Il permet d'explorer, tout l'appareil masticatoire
- Il donne les renseignements d'urgence lorsque la radio intra oral est rendue difficile
- Diminution d'exposition du patient par les rayons x
- Il peut voir l'étendue d'une fracture des racines et traumatologie.
- Analyse stade de dentition.

• **E- Les limites :**

La radiographie panoramique présente néanmoins plusieurs limites. La définition de l'image panoramique (5 paires de lignes/mm) est inférieure à celle d'une radiographie rétro alvéolaire (20 paires de lignes/mm). De plus, 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. Les éléments en dehors du plan de coupe créent des ombres dites << fantômes >> qui apparaissent floues. Par exemple, lorsque le côté gauche de la mandibule est imagé, le capteur est positionné directement à proximité de ce côté. La source de rayon X est donc positionnée du côté droit du patient et le faisceau doit traverser la mandibule droite avant d'atteindre le film. Ce côté droit se situe à une distance plus grande de celui-ci et sera alors agrandi et flou sur le cliché.

**IV.6.2.2. Le Denta scan:**

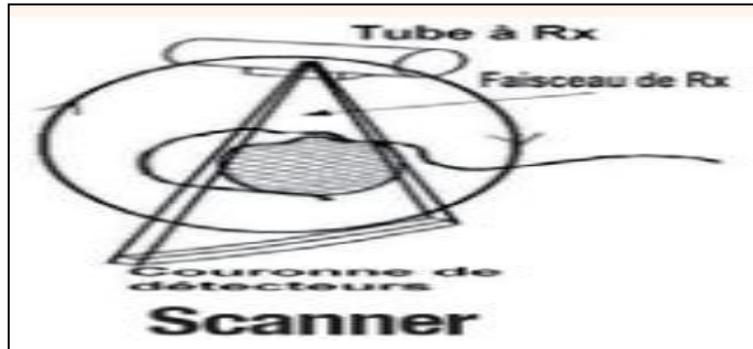
➤ **A-Définition :**

Le scanner est un examen d'imagerie qui utilise les rayons X comme la radiologie traditionnelle. Il permet d'obtenir des images en coupes, d'épaisseur variable adaptée à la structure à étudier.

➤ **B- Le principe :**

→ Grâce aux progrès de l'informatique et à l'apparition de logiciels adaptés tel le denta scan, il est possible à partir de l'ensemble des coupes acquises dans un plan axial d'obtenir des images reconstruites dans un plan de l'espace différent de celui utilisé pour l'acquisition de ces coupes.

→ Dans le cadre de l'étude odontologique, il doit être réalisé une centaine de coupes axiales, perpendiculaires aux apex des dents à étudier. L'épaisseur de ces coupes est de 1 millimètre, elles sont jointives mais chevauchées tous les 0,5 mm l'examen est centré soit sur le maxillaire soit sur la mandibule ou éventuellement sur les deux en cas d'examen double

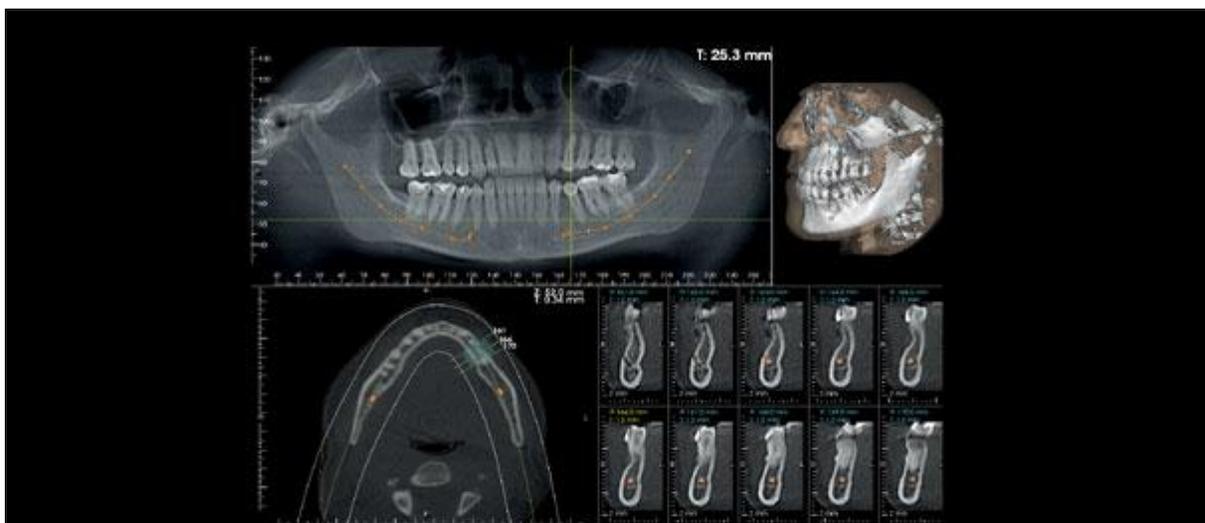


**Figure IV.29:** Schéma montrant le balyage tout autour l'appareil de denta scan

→ A partir de ces cent coupes, un logiciel spécifique ou dentascanner permet d'obtenir des reconstructions curvilignes parallèles à l'arcade dentaire rappelant le panoramique dentaire et des reconstructions corona- les obliques perpendiculaires à l'arcade dentaire. Ces images sont ensuite reproduites sur des films en grandeur réelle sans agrandissement permettant au praticien d'effectuer toutes les mesures nécessaires .

→ l'obtention d'images reconstruites est intéressante sur le plan dosimétrique en évitant la réalisation d'incidences multiples, source d'irradiation supplémentaire. De plus, les coupes natives axiales évitent le cristallin et la thyroïde, organes radio sensibles .

→ Pour obtenir des reconstructions de bonnes qualités, immobilité totale du patient est nécessaire, en particulier l'absence de déglutition, pendant l'acquisition des coupes axiales. La durée totale de l'examen n'excède pas une minute.



**Figure IV.30:** image radiographique à partir de denta scan

➤ **C- Les indications :**

->En endodontie:

Après avoir réalisé un bilan radiologique conventionnel, le denta scan peut être indiqué dans les pathologies endodontiques.

Il différencie les différentes racines et détermine leur position dans l'espace. Les coupes axiales permettent une analyse vestibulo-palatine ou vestibulo-linguale impossible en imagerie conventionnelle. Les reconstructions coronales précisent les rapports entre les racines et les éléments anatomiques comme les fosses nasales et les sinus maxillaires.

Face à une lésion péri-apicale, le scanner peut localiser la ou les racines responsables. Il permet l'étude de des rapports de la lésion avec les racines adjacentes, l'état des tables osseuses, les structures anatomiques de voisinage: sinus maxillaire, fosses nasales, canal incisif. Canal mandibulaire, trous mentonnier .

La localisation du canal mandibulaire et du trou mentonnier est indispensable lors de la réalisation de résections apicales.

Il permet également un diagnostic précis des lésions endodontiques des racines pluri radicules peu fiable sur les clichés standard en raison des superpositions. Ces lésions se présentent sous la forme d'une zone d'ostéolyse centrée sur un apex ou en cas de lésion débutante qui échappe souvent au bilan rétro- alvéolaire, latéralisée en forme de croissant. De même, une lésion à développement purement vestibulaire ou palatin/lingual peut être méconnue sur le bilan radiologique standard. Le scanner, en évitant les superpositions osseuses, démasque parfaitement ces lésions débutantes En cas de douleurs résiduelles après traitement, le scanner permet l'évaluation des éventuelles complications: dépassement de pâte dentaire. Fistule bucco-sinusienne, obturation incomplète d'un canal ou bifiditécanalaire.

➤ **D- Les avantages :**

- C'est une procédure très rapide qui se réalise en seulement 5 minutes.
- La réalisation du scanner dentaire ne nécessite pas d'injection de produit de contraste.
- C'est un examen indolore qui n'entraîne aucune gêne chez le patient.

➤ **E- Les inconvénients :**

- L'exposition de forte dose des rayons x environ de 5 minutes.
- Il est formellement déconseillé aux femmes enceintes de réaliser l'examen du denta scan.
- Le patient devra rester immobile le temps du scanner.

#### **IV.6.2.3. Le Cone Beam :**

➤ **A- Généralités :**

Le terme « conebeam » est le diminutif de conebeamcomputedtomography (CBCT) que l'on pourrait traduire par Imagerie volumétrique par faisceau conique. Cette technique repose sur les principes de base de la radiographie, représentés par la mesure de l'absorption des rayons X par les tissus. Elle se distingue de la radiographie classique par sa numérisation et du scanner par son

faisceau ouvert qui lui permet de balayer en une fois le champ à étudier.



**Figure IV.31:** conebeamcomputedtomography

→Le conebeam (ou CBCT) est une nouvelle technique de radiographie numérisée apparue vers la fin des années 1990. Comme son nom l'indique, il utilise un faisceau d'irradiation de forme conique. Cet appareil présente notamment l'avantage d'être plus précis que le panoramique dentaire en offrant une résolution similaire, voire supérieure à celle du scanner, avec la possibilité d'une reconstitution numérique en 3D.

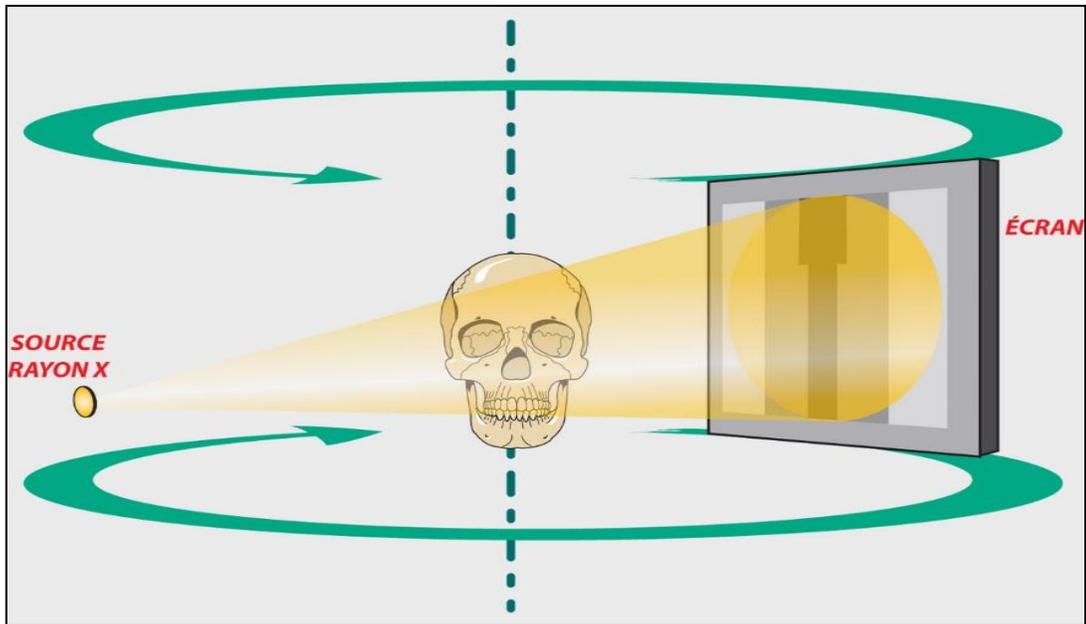
→Le conebeam apporte également des indications plus détaillées sur les petites structures osseuses, difficiles à visualiser au scanner. À l'inverse de celui-ci, il permet de balayer en un seul passage l'ensemble du volume à radiographier, en étant moins irradiant. Il offre par ailleurs la possibilité de localiser le champ d'examen sur la zone à étudier (quelques dents, une mâchoire), ce qui permet d'éviter d'irradier inutilement les autres parties du crâne.

→Les applications du conebeam sont nombreuses allant de la chirurgie buccale, en passant par l'orthodontie, la chirurgie maxillo-faciale et l'orl. Il est de plus en plus utilisé en odontologie pour l'examen des tissus minéralisés (dents, cartilages, os). Il permet d'identifier les lésions osseuses, les fractures, les infections, les kystes et les corps étrangers

➤ **B- Le Principe de fonctionnement :**

Le dispositif se compose d'un générateur à rayons X émettant un faisceau conique, d'un détecteur plan et d'un système informatique permettant de traiter les images.

L'émetteur à rayon X et le détecteur sont solidaires. Ils effectuent une rotation autour de la tête du patient lors de l'acquisition du volume des structures anatomiques.



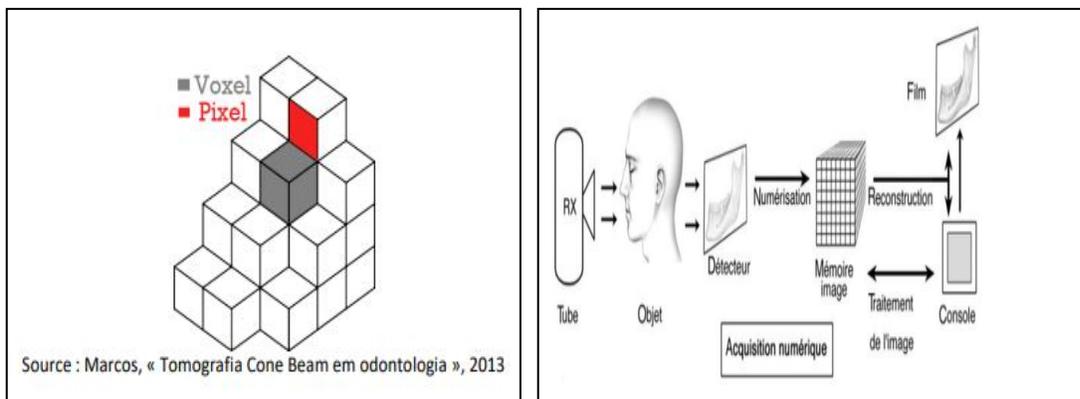
**Figure IV.32:** Schéma montre le balayage de l'appareil CBCT l'appareil orofacial

→ Le CBCT utilise un faisceau conique, lui permettant en une seule révolution, de balayer l'ensemble de la zone à radiographier.

→ A chaque degré de rotation, l'émetteur libère une impulsion de rayons X qui traversent les corps anatomiques et sont réceptionnés par le détecteur.

→ l'information recueillie constitue les données brutes. Elles seront ensuite exportées vers un ordinateur, lequel restitue l'objet selon ses pixels et réalise les différentes reconstitutions dans tous les plans de l'espace. Un logiciel utilisant des systèmes d'algorithmes permet d'obtenir une reconstitution en trois dimensions par conversion de pixels en voxels.

Ces images peuvent être exportées au format standard DICOM



**Figure IV.33:** images exportées au format standard DICOM

→ La résolution spatiale est définie par la taille du voxel (volume élément) qui est l'unité de volume. Il a la forme d'un parallélépipède caractérisé par les dimensions de ses trois arêtes. Le volume d'un examen CBCT à la particularité d'être « isotope » c'est-à-dire que les trois arêtes sont de dimension identique, le voxel est donc cubique contrairement à celui du scanner conventionnel qui lui est anisotrope (une arête est de longueur différente des deux autres), apportant ainsi une meilleure résolution spatiale à l'imagerie conebeam.

→ l'imagerie par conebeam est sûre à 98% avec une marge d'erreur comprise entre 0 et 1,99 mm pour la prévision de la hauteur et la largeur de la mandibule.

Il existe des variations importantes selon les machines sur l'exactitude des mesures. D'après Cavezian et Pasquet [6] « Il n'y a pas un appareil mais des appareils conebeam ». En effet pour balayer l'ensemble des indications en odontologie, il existe différents CBCT selon leur champ d'exploration ou FOV pour Field Of View :



- ✓ A : les petits champs : inférieurs à 10cm
- ✓ B : les champs moyens : entre 10 et 15 cm
- ✓ C : les grands champs : supérieurs à 15cm

→ En endodontie, on utilise les petits champs qui sont à haute résolution, ils présentent des voxels de très petite taille jusqu'à 0,08 mm. Les moyens et grands champs (voxels entre 0.2 et 0.64 mm) sont destinés à l'ensemble du massif facial et couvrent le reste des indications.

→ Plus le champ d'exposition est important, plus la taille du voxel augmente et moins bonne est la résolution.

De ce fait, plusieurs catégories d'appareils existent sur le marché. Les appareils diffèrent essentiellement par le type de capteur utilisé, d'amplificateur de brillance ou de détecteur plan, la taille du champ exploré, la résolution spatiale et la polyvalence de l'équipement (CBCT seul ou double modularité tomographie volumique « petit champ » et panoramique).

Mais la tendance actuelle des constructeurs est d'augmenter la résolution des appareils moyens et grands champs et d'augmenter la zone de dépoliarisation des petits champs tout en gardant au maximum leur haute résolution [6]. Ainsi, peu à peu ont été développées des machines capables

de couvrir toutes les indications de la sphère maxillo-faciale avec des dispositifs ayant la capacité de faire varier le champ d'exploration passant du grand champ à un petit champ.

➤ **C- Les Indications du conebeam en endodontie :**

→ Les avantages de la tomographie tridimensionnelle à faisceau conique sont déjà bien établis dans certaines spécialités dentaires. Le CBCT montre son intérêt quand les informations recueillies par l'examen clinique et la radiologie conventionnelle ne sont pas suffisantes pour établir un diagnostic.

→ l'utilisation d'une image tridimensionnelle est ainsi recommandée depuis 2009 par la HAS pour plusieurs indications en endodontie :

- Un bilan péri-apical pré-chirurgical particulièrement dans la région maxillaire postérieure ou dans la région du foramen mentonnier.
- La recherche et la localisation d'un canal radiculaire supplémentaire,
- Le bilan d'une pathologie radiculaire type fracture, résorption et/ou péri-apicale

→ Le recours à l'imagerie CBCT ne saurait se justifier s'il n'améliore pas dans ces cas précis la prise en charge et le pronostic de la dent.

→ Le CBCT permet également d'analyser l'anatomie canalaire en déterminant la morphologie, l'angulation canalaire et radiculaire ainsi que le nombre de racines

→ Suite à la mise en évidence d'une pathologie, le cone-beam aide au diagnostic des échecs et des complications (expliquant la présence de lésions péri-apicales), en vérifiant la qualité de l'obturation, la présence de canaux non traités, la présence de fausses routes ou de calcifications.

→ Le recours à la tomodensitométrie tridimensionnelle semble donc devenir un outil important dans l'arsenal thérapeutique du praticien. Elle permet à la fois d'affiner le diagnostic, d'anticiper les complications d'un traitement et donc de réaliser une meilleure prise en charge.

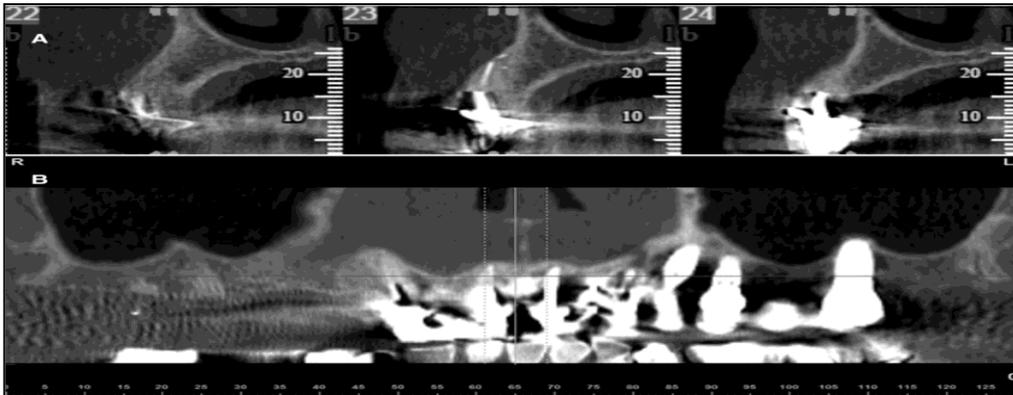
➤ **D- Les Inconvénients :**

→ Le CBCT présente quelques limites :

- La présence de certains éléments très denses (comme des éléments prothétiques) crée des stries radiaires dégradant fortement la qualité de l'image, créant des artefacts métalliques. Les capacités de reconstruction informatique sont dépassées par les coefficients d'absorption très élevés.
- Lors de l'acquisition par CBCT, le patient est placé en position debout. Des mouvements involontaires de la part du patient, lors de la rotation de l'appareil, produisent des

artéfacts cinétiques.

- Néanmoins, la sensibilité du CBCT aux artefacts métalliques est moindre que le scanner.



→ Un système de contention efficace et une durée d'exposition plus courte permettent de minorer ces artefacts. Certains fabricants proposent ainsi des appareils où l'acquisition s'effectue en position allongée (QR newtom 5G®), améliorant ainsi la qualité des examens pour les patients à besoins spécifiques (personnes âgées, enfants, situation de handicap). Le CBCT permet de choisir un champ approprié à l'examen, limitant ainsi l'irradiation inutile des tissus voisins par rapport à un scanner. La dose effective est ainsi bien moins importante dans le cadre du CBCT par rapport au scanner. Toutefois elle est bien plus importante que celle de la radiologie conventionnelle.

→ **Coût du matériel :** Le coût est globalement moindre que celui d'un scanner, tant du point de vue de l'achat que de celui de l'entretien. La diffusion de machines de petits champs au sein des cabinets dentaires est plus importante car le prix du CBCT est directement lié à la taille du capteur.

Dans son rapport sur la tomographie volumique à faisceau conique de la face, publié en 2009 l'has souligne que la dose délivrée par les appareils CBCT est inférieure à celle du scanner mais reste néanmoins plus élevée que celle de la radiographie dentaire conventionnelle, panoramique et intra-orale. Il faut donc prendre en considération le principe du ratio bénéfice/risque.

## IV.7. Les différents affection détectées radiographiquement:

→Beaucoup des affections on a découvert par 2 manières :

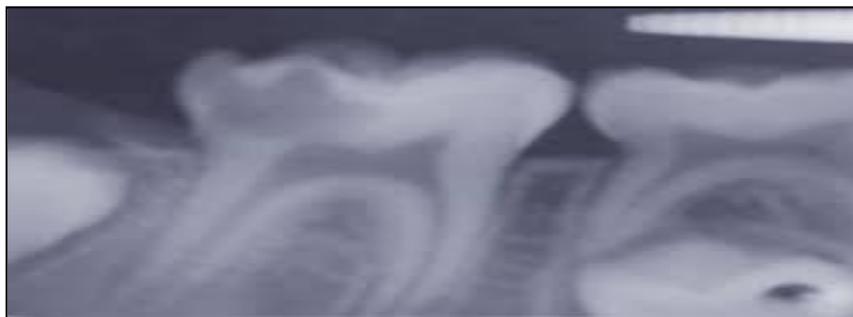
Soit en premier intention ou fortuitement lors d'un examen d'une autre affection on peut découvrir ce dernier par plusieurs dispositifs radiologiques et chacun ces dispositifs donne des informations plus claire et précise par apport à l'autre.

→Pour la radiographie de première intention : c'est le véritable examen de diagnostic de la pathologie dentaire et buccale. Il confirme ou annuler des hypothèses que nous avons identifié pour le diagnostic finale.

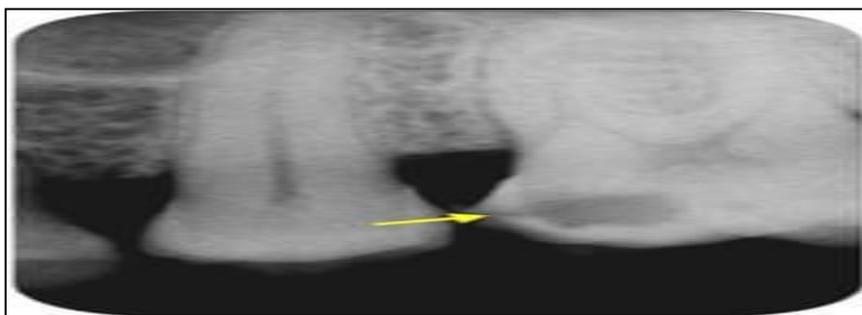
→Mais il Ya quelque cas. La radiographie de première intention ne suffise pas par ces information qu'il donne .alors doit être effectué un autre radiographie de seconde intention par autre technique et dispositif plus développée et moderne.

### IV.7.1. Carie cachée:

C'est carie non détectée à l'observation clinique au niveau de l'émail, apparemment intact, mais qui présente une déminéralisation étendue au niveau de la dentine sous-jacente objectivable à la radiographie. Ce terme souligne particulièrement les insuffisances et les difficultés de diagnostic des lésions carieuses.



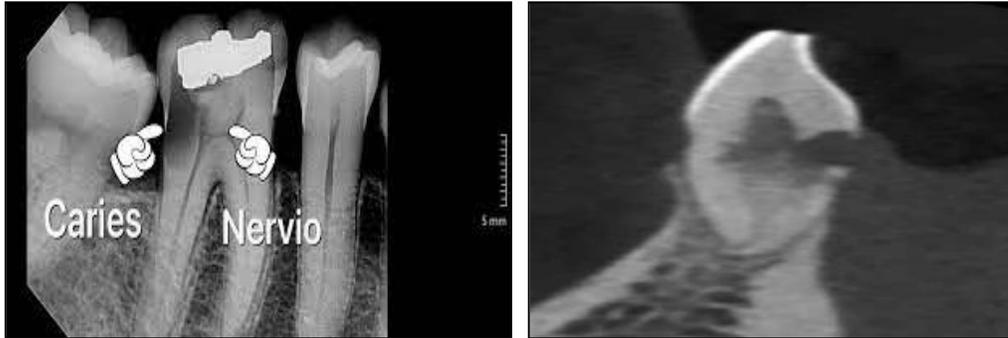
**Figure IV.34:** Carie détecté par cliché rétro alvéolaire sur la 36



**Figure IV.35:** Carie proximal détecté par cliché rétro alvéolaire sur la 26

### IV.7.2. Carie radiculaire:

Cette lésion se produit à la racine de la dent, ce qui la rend plus difficile à identifier. Ce type affecte généralement les adultes et les personnes âgées, en raison de la rétraction des gencives, ce qui laisse la racine de la dent plus exposée. Ce type de carie peut entraîner une détérioration plus rapide du tissu dentaire car la racine de notre dent, qui est la partie touchée par la carie radiculaire, n'est pas protégée par l'émail. De plus, ce type de carie peut provoquer des symptômes plus intenses.



**Figure IV.35:** Carie radiculaire

### IV.7.3. Hypercementose :

C'est La formation de quantités excessives de ciment, généralement autour de la partie apicale de la racine, est fréquente. On en ignore la cause mais on l'observe parfois dans la maladie osseuse de Paget où elle prend généralement une forme anguleuse et irrégulière. Sur le plan diagnostique, l'hypercementose ne pose pas de problème, l'opacité résultante étant associée à la racine dentaire et produisant une modification du contour radiculaire.



**Figure IV.36:** Hypercementose

### IV.7.4. Calcifications :

Le vieillissement de la pulpe peut entraîner des phénomènes de minéralisation rendant le traitement endodontique compliqué et le résultat aléatoire. Sur les dents pluriradiculées, il s'agit en premier de pulpolithes. Sur les dents monoradiculées, la calcification remonte plus ou moins haut dans le canal.



**Figure IV.37:** Calcifications

#### **IV.7.5. La résorption radiculaire :**

Les résorptions résultent d'un processus de destruction partielle ou totale des tissus dentaires, consécutif à une infection et/ou un traumatisme. En fonction de la nature et de la localisation du dommage, les répercussions seront internes ou externes, inflammatoires ou de remplacement, superficielles ou profondes, réversibles ou non.

→ On a 2 types de résorptions :

##### ➤ **A-Résorption radiculaire interne :**

Le point de départ de la résorption interne se situe à l'intérieur de la cavité pulpaire. La dentine circum pulpaire est résorbée à partir de la pulpe et le processus aboutit à une cavitation à l'intérieur de la dent. Ce phénomène peut concerner n'importe quelle zone radiculaire et/ou camérale mais il est préférentiellement rencontré dans le tiers médian du canal et, plus rarement, dans le tiers apical.



**Figure IV.38:** Résorption radiculaire interne

➤ **B-Résorption radiculaire externe :**

La résorption radiculaire externe sur dent permanente est un processus pathologique, non physiologique. Il peut entraîner, à plus ou moins long terme, la perte de la dent, par destruction du cément, de la dentine et de l'os. Lors de traumatismes sévères, les tissus pulpaire et parodontaux subissent une agression.



**Figure IV.39:** Résorption radiculaire externe

**IV.7.6. Rapport dent/sinuse :**

Le rapport entre les organes dentaires (dent antrale) et les répercussions sinusiennes a été largement démontré .

Dès 1943, Bauer parlait des sinusites maxillaires d'origine dentaire. Ses études sur cadavres montraient les relations directes entre lésions d'origine dentaire et pathologies du sinus maxillaire.



**Figure IV.40:** Rapport dent/sinuse

### IV.7.7. Lésion d'origine endodontique :

#### ➤ A-le kyste dentaire :

Un kyste dentaire est une infection bactérienne autour de laquelle les Défenses immunitaires se sont organisées pour empêcher la propagation des bactéries dans tout le corps. Quand cette situation ne s'enraye pas, c'est à dire que les défenses immunitaires, aidées par des antibiotiques, ne parviennent pas à éliminer l'infection, le corps fabrique une membrane fibreuse qui va contenir cette infection. On parle alors d'enkystement. Un kyste dentaire péri apical est un kyste qui se situe au bout de la racine de la dent. C'est une image circulaire sombre sous la dent. Les kystes dentaires ne concernent que des dents dévitalisées

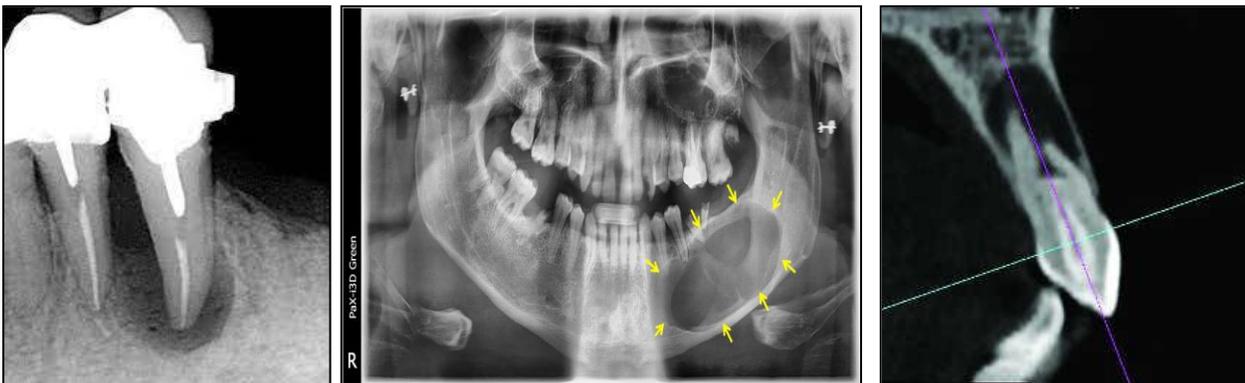


Figure IV.41: les kystes dentaires

#### ➤ B- le granulome dentaire :

Le granulome est une réaction inflammatoire qui se forme à la pointe d'une racine dentaire dont la pulpe est nécrosée. Le granulome est généralement peu douloureux et il est découvert de façon fortuite à l'occasion de la réalisation d'une radiographie. La couronne dentaire peut être grisâtre, la dent peut légèrement bouger et parfois lorsque le dentiste percute la dent, il peut exister une douleur assez variable en intensité.

Le traitement est le plus souvent conservateur : le dentiste extrait la pulpe nécrosée, désinfecte et obture la gaine et parfois il effectue un curetage apical. Non traité le granulome apical peut évoluer vers un kyste apical.

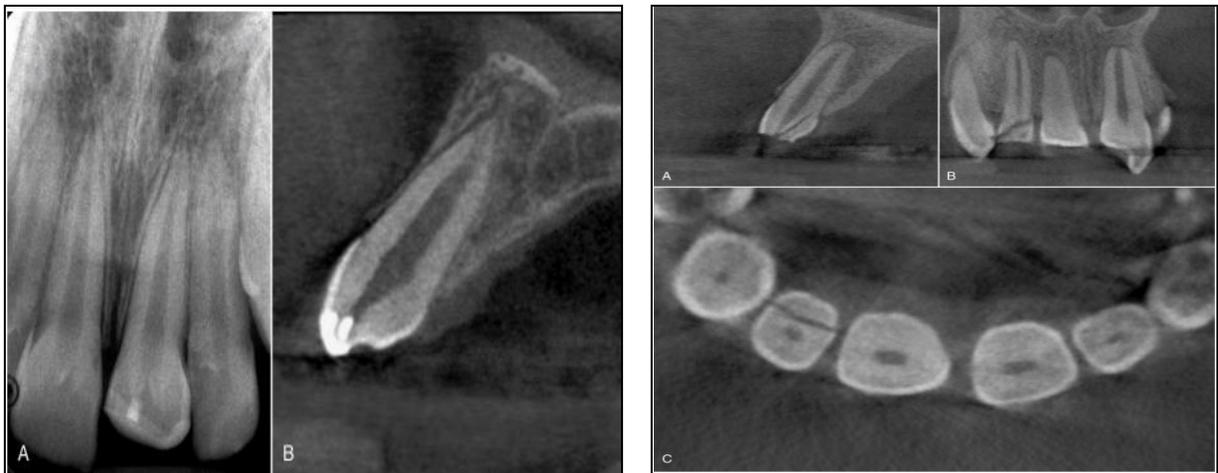


Figure IV.42: le granulome dentaire\_

### IV.7.8. Traumatisme dentaire:

#### ➤ A-Fractures compliquées de la couronne

Les fractures compliquées de la couronne impliquent l'émail, la dentine et la pulpe. Elles sont compliquées parce que la pulpe est exposée. Il convient de noter l'étendue de la fracture, le stade de développement de la racine et la date du traumatisme. L'estimation de l'étendue de la fracture aide à définir les besoins de traitement de la pulpe et de dentisterie restauratrice .par exemple, une petite fracture peut conduire au traitement de la pulpe vivante et la dent peut être restaurée avec une résine composite collée. Une fracture étendue peut requérir un traitement de canal suivi d'une restauration retenue par un tenon radiculaire ou un onlay de reconstitution, en fonction de l'âge du patient. Le stade de maturation de la racine est un facteur important pour choisir entre la pulpotomie ou la pulpectomie.



**Figure IV.43:** Fractures compliquées de la couronne

#### ➤ B- fracture coronoradiculaire :

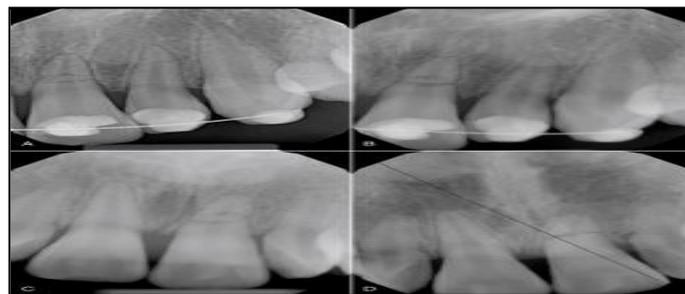
Les fractures coronoradiculaires sont généralement obliques et impliquent la couronne et la racine. Les dents antérieures montrent le type de fracture en ciseau qui fend la couronne en diagonale et s'étend vers la surface radiculaire sous-gingivale. Cette fracture ressemble à la fracture coronaire, mais elle est plus étendue et plus grave parce qu'elle engage la racine. Une autre variation est la fracture qui détruit la couronne. Les fragments sont maintenus en place, l'un des deux étant encore attaché au ligament parodontal. Dans toutes ces fractures, la pulpe est habituellement exposée.



**Figure IV.44:** fracture coronoradiculaire

➤ **C- fracture radiculaire :**

Les fractures des racines sont nommées fractures radiculaire intra-alvéolaires, fractures radiculaire horizontales et fractures radiculaire transverses. Ces fractures sont rares et sont difficiles à détecter . Pour que la fracture soit visible à la radiographie, il faut que le rayonnement traverse le trait de fracture. Ce trait de fracture peut être invisible parce qu'il est souvent transversal ou oblique (impliquant la pulpe, la dentine et le cément) et que, dans ces conditions, l'axe central du rayon directeur n'est pas parallèle au trait de fracture. Pour pallier cette difficulté, un cliché par mordu occlusal, supplémentaire au cliché à angle parallèle habituel, est indiqué dès qu'une fracture est suspectée. Cet angle additionnel (c'est-à dire déformé, ou occlusal [45 degrés environ]) détecte beaucoup de fractures, particulièrement dans la région apicale des racines. Récemment, May et al. ont démontré que la TVFC est plus utile pour les cas où la radiographie conventionnelle donne des résultats non concluants ou détecte une fracture au tiers médian de la racine.



**Figure IV.44:** fracture radiculaire

## IV.8. La radiographie au cours de traitement endodontique:

### IV.8.1. Les clichés pré opératoire :

#### IV.8.1.1. Déterminer l'anatomie dentaire :

La connaissance de l'anatomie dentaire donne une vision autour le Protocol de travail de traitement endodontique. Et différent difficulté qui peut nous confronter. (Racine coudé. Canal calcifié. Canal supplémentaire. Racine supplémentaire .....).



**Figure IV.45:** déterminer l'anatomie dentaire

#### IV.8.1.2. Fractures instrumentales :

La fracture d'un instrument endodontique est une complication pas très fréquente mais redoutée, plus souvent rencontrée avec des instruments rotatifs en nickel-titane qu'avec des instruments en acier. Les fractures se produisent le plus souvent dans les molaires, dans leurs racines mésiales et dans leur tiers apical. En prend un cliché radiographique pour une idée sur la situation



**Figure IV.46:** détecté les instruments fracturés

## IV.8.2. Les clichés per opératoire :

### IV.8.2.1. Lime en place :

Le principe consiste à prendre une radiographie lime en place dans le canal et à situer la position de cette lime par rapport à l'apex radiographique. La technique des plans parallèles de Mac Cormak est préférable à la technique de la bissectrice car elle limite les déformations à condition d'utiliser un angulateur pour respecter le parallélisme. Concernant l'incidence, une incidence orthogonale doit être complétée par une autre excentrée de 15 à 20° en mésial ou en distal afin de détecter d'éventuelles variations du système canalaire tels les dédoublements, les racines courbes et superposées.



Figure IV.47: radio avec lime K en place

### IV.8.2.2. Maître cône :

La radiographie du maître cône en place est fondée sur les mêmes principes que la mesure de la longueur de travail. Un seul cliché est nécessaire pour mesurer la longueur du maître cône, si la technique est correcte. Le maître cône doit être exactement à l'apex ou très proche de la longueur de travail.

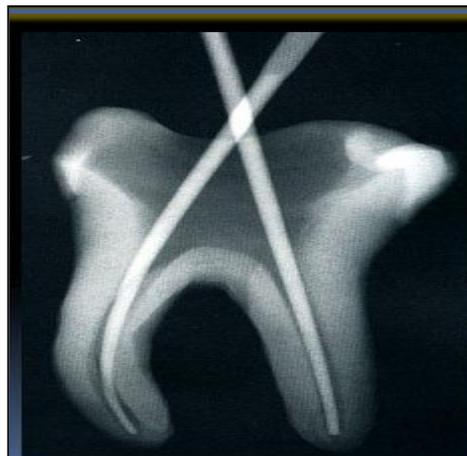


Figure IV.47: radio avec Maitre cone en place

### IV.8.2.3. Étanchéité et Longueur de l'obturation:

La proximité de l'extrémité de l'obturation avec le foramen apical est aussi importante. Dans l'idéal, cette extrémité doit rester à l'intérieur des canaux. Les études montrent que, quelle que soit la technique d'obturation, la gutta percha insérée sans ciment de scellement n'offre pas une étanchéité adéquate. Parmi les inconvénients de la gutta percha, il faut retenir son manque d'adhésion chimique avec les autres matériaux et, plus important, avec la dentine. Quand la gutta percha est soumise à la chaleur ou quand elle est mélangée à des solvants (par exemple le chloroforme ou l'eucalyptol), elle se contracte significativement dès qu'elle se refroidit ou après évaporation du solvant, en laissant un espace vide entre la masse de gutta percha et les parois dentinaires. Le ciment de scellement est utilisé pour combler les espaces entre la masse de gutta percha et les parois de la cavité pulpaire. Cependant, il a été rapporté des incertitudes sur la capacité des ciments de scellement de remplir tous ces espaces et d'enrober parfaitement les parois de la cavité pulpaire.



**Figure IV.47:** Étanchéité et Longueur de l'obturation

### IV.8.2.4. Scellement des canaux latéraux :

Le scellement des canaux latéraux n'est pas aussi crucial que la qualité des joints apicaux et coronaires. Les canaux latéraux/accessoires débouchent généralement sous la crête osseuse et ne communiquent pas avec la cavité buccale. Il convient de s'assurer de la bonne qualité du joint au niveau du tiers médian des canaux radiculaires.

C'est d'autant plus important que les canaux latéraux sont souvent observés dans cette région.

Ces canaux latéraux constituent une voie potentielle de cheminement des irritants à partir de la cavité pulpaire radiculaire vers le ligament parodontal.

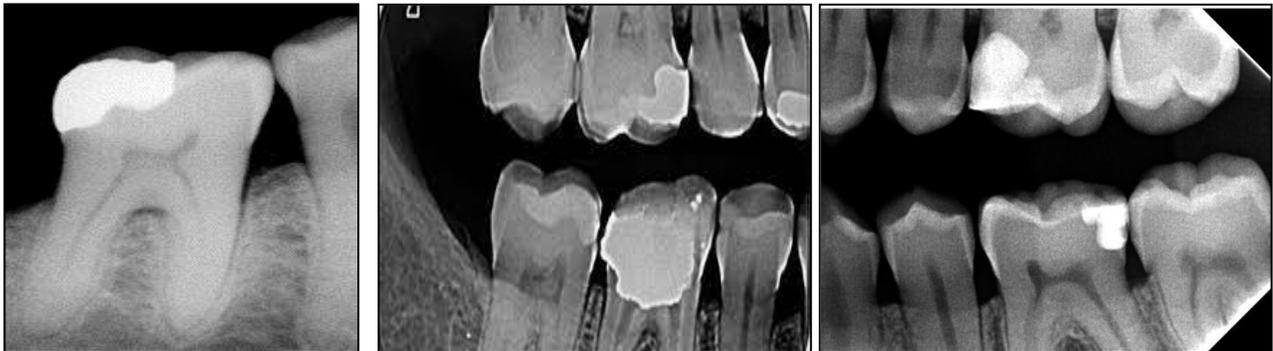


**Figure IV.48:** Scellement des canaux latéraux

### IV.8.3. Les clichés post opératoire :

#### IV.8.3.1. Qualité de restauration finale :

On a vérifié la construction finale de point de contact inter dentaire pour éviter les carie proximal. Et aussi l'étanchéité de matériaux de restauration /organe dentaire afin éviter l'effondrement de restauration plus tard lors la mastication.



**Figure IV.49:** vérification de la qualité de restauration finale sur le radio

#### IV.8.3.2. Cliché de contrôle :



**CHAPITRE V :**

*Apport de la Radiographie Tridimensionnelle (cone  
BEAM) en endodontie*

## *Chapitres V. Apport de la Radiographie Tridimensionnelle (cone BEAM) en endodontie*

### **V.1. Les Données actualisées de la technique cbct :**

Le CBCT est une imagerie volumique 3D numérisée dont le faisceau radiographique est conique, permettant d'offrir aux chirurgiens dentistes et maxillo-faciale, avec une grande facilité, des coupes axiales, sagittales et coronales du volume désiré, avec une meilleure précision que le scanner. Voilà pourquoi le Cone Beam est rapidement devenu un outil révolutionnaire dans la pratique dentaire. De ce fait cette technique est en perpétuelle évolution dont il est important de rendre compte.

#### **V.1.1. En matière d'irradiation (une évolution en faveur du Principe ALARA)**

→ Comparer avec les techniques d'imagerie 2D, nécessite quelques rappels:

Rappelons tout d'abord, une notion importante en matière de radioprotection : le principe ALARA qui est l'acronyme de « As Low As Reasonably Achievable » se traduisant par « Aussi bas que raisonnablement possible ». Il établit un principe de précaution en matière de radioprotection. Ainsi lorsqu'il y a un risque d'exposition à des radiations ionisantes, les personnes responsables doivent diminuer au minimum « aussi bas que raisonnablement possible » l'irradiation des individus exposés.

→ Poursuivons par un bref rappel sur les doses utilisées en imagerie médicale :

- La dose absorbée ou délivrée : c'est la quantité d'énergie absorbée par unité de masse de matière irradiée. Elle s'exprime en Gray (Gy), correspondant à l'absorption d'un joule d'énergie par kilogramme de matière. Elle est directement liée aux paramètres d'exposition radiologique [tension (kv), intensité (ma) et durée d'exposition (s)] et est mesurée à la sortie du tube.
- La dose efficace : Elle permet de calculer le risque statistique théorique maximum d'apparition d'effets cancérogènes. Elle rend donc compte du risque biologique des radiations ionisantes sur un organisme. Pour tenir compte de la susceptibilité variable des organes aux radiations, un facteur de pondération (facteur tissulaire) est appliqué pour définir, pour chaque organe, une dose efficace exprimée en Sievert (Sv), telle que Dose Efficace = Dose Absorbée x Facteur Tissulaire. Un facteur de pondération tissulaire a ainsi été défini pour chaque organe par la Commission Internationale de Protection

Radiologique (CIPR) ou ICRP pour International Commission of Radiological Protection.

→ Actuellement on se réfère à l'icrp 2007 qui rend compte des facteurs de pondérations des glandes salivaires et du cerveau comme le montre la figure suivant:

Tissus	ICRP 1990	ICRP draft 2005	ICRP 2007
	Wt	Wt	Wt
Moelle osseuse	0.12	0,12	0,12
Seins	0.05	0.12	0.12
Colon	0.12	0.12	0.12
Poumons	0.12	0.12	0.12
Estomac	0.12	0.12	0.12
Vessie	0.05	0.05	0.04
Œsophage	0.05	0.05	0.04
Gonades	0.20	0.05	0.08
Foie	0.05	0.05	0.04
Thyroïde	0.05	0.05	0.04
Surface osseuse	0.01	0.01	0.01
Cerveau	–	0.01	0.01
Glandes salivaires	–	0.01	0.01
Peau	0.01	0.01	0.01
Tissus restants	0.05	0.10	0.12

Figure V.1: Facteurs tissulaires (Wt) pour le calcul de la dose efficace E.

→ Il est établi que le principal avantage du CBCT, est une irradiation relativement faible pour un examen utilisant les rayons X.

→ Il est essentiel de comparer ses apports avec ses homologues de l'imagerie traditionnelle :

- Le panoramique : bien que la dosimétrie du CBCT reste supérieure à celle de la radiographie panoramique, les nouvelles directives de l'icrp 2007 fait diminuer l'équivalence dose CBCT/nombre de panoramique.
- Le bilan rétro alvéolaire : il semblerait que son irradiation se rapproche de celle de certains CBCT dits low-dose.
- Le scanner : il est avéré que le Cone Beam irradie bien moins (2 à 12 fois) que le scanner.

**V.1.1.1. Comparaison avec la radiographie panoramique : une meilleure image mais encore une irradiation trop élevée**

→La radiographie panoramique ou orthopantomogramme (OPT) est un examen radiographique de 2ème intention très utilisé en odontologie, du fait de sa faible irradiation 4 à 30  $\mu\text{sv}$  (33) contre 30 à 900 $\mu\text{sv}$  pour le CBCT .

→Le cliché panoramique permet une vue d'ensemble des deux maxillaires et des articulations temporo-mandibulaires (ATM) ; mais est affecté par les problèmes inhérents à cette technique 2D, à savoir la superposition des structures anatomiques, la présence de nombreux artéfacts ou encore la distorsion des mesures linéaires, etc.

→De plus depuis les nouvelles directives de l'icrp 2007, le rapport dose CBCT/nombre de panoramique a baissé, du fait de la prise en compte du facteur de pondération tissulaire des glandes salivaires qui se retrouvent dans le faisceau de rayon X du panoramique dentaire puisque ce dernier possède un centre de rotation plus proche des glandes salivaires que celui du CBCT.

→Ainsi en 2011, une comparaison réalisée entre l'équivalent dose OPT de l'icrp 1990 et celui de 2007, montrant que ce rapport diminue en moyenne de moitié.

→Bien que la reconstruction panoramique par imagerie Cone Beam procure une irradiation plus importante qu'un OPT classique, les données sont plus précises et bien plus facile à analyser. Alors lorsqu'une imagerie sectionnelle est nécessaire le CBCT devient un examen à privilégier

**V.1.1.2. Comparaison avec le scanner : une dosimétrie en faveur du CBCT :**

→Le véritable avantage du CBCT en dosimétrie est le fait qu'elle soit nettement inférieure à celle de tomodynamométrie conventionnelle.

→En effet le CBCT utilise un tube à rayons X moins puissant et la zone irradiée est réduite. Alors que le scanner irradie tout le complexe facial, le CBCT lui permet de sélectionner uniquement la zone voulue du complexe facial à un volume de quelques dents.

→Alors que la dosimétrie du CBCT est en perpétuelle évolution, assez importante à ses débuts (dans les années 90), pour décroître rapidement ; du fait de la diminution de la puissance des tubes à Rx et du temps d'irradiation on arrive à des doses comprises entre 70 et 550  $\mu\text{sv}$ , elle reste néanmoins toujours inférieure à celle du scanner 400à 1000  $\mu\text{sv}$  . Puis on note une augmentation de la dose avec les nouvelles directives de l'icrp 2007 puisqu'elles tiennent compte de nouveaux tissus et notamment des glandes salivaires qui sont plus exposées lors de l'examen CBCT que la thyroïde. D'après Cavézian (2011) et Ludlow(2008) l'accroissement de cette dose est en moyenne de 198% pour les petits champs, de 123% pour les champs moyens et de 69% pour les grands champs.

→Ainsi en 2011 le scanner est 2 à 12 fois plus irradiant , avec des doses allant de 500 à

2000 $\mu$ sv, que le CBCT dont les doses elles varient entre 30 et 900 $\mu$ sv .

Toutefois, on remarque également une grande variation des doses efficaces en fonction des différents types de CBCT (petit, moyen ou grand champ, kv, ma).

→ Au regard de ces nouvelles informations, des études ont été menées afin de trouver un protocole permettant de réduire significativement l'irradiation. Ainsi en passant d'une rotation du tube de 360° à 180°, en utilisant des filtre en Cuivre, en réduisant la zone d'irradiation et en utilisant des protections plombées et des pointeurs lumineux fiables, on arrive à mieux contrôler l'irradiation des patient.

→ Dans ce domaine les fabricants ont fait des avancées considérables, notamment au niveau du temps d'irradiation. En effet les appareils CBCT sont passés d'un temps d'acquisition de 70s en 2008 à une moyenne de 20s , en utilisant de surcroît un faisceau de rayons X pulsé, ramenant ainsi le temps d'irradiation à une moyenne de 5s en 2011. Ces caractéristiques ont permis de diminuer considérablement la dose au patient.

→ Bien que les doses efficaces aient considérablement évoluées notamment avec l'arrivée des nouvelles directives de l'icrp 2007, le CBCT reste bien moins irradiant que le scanner malgré l'existence de protocoles low-dose pour ces derniers.

→ Les différentes études dosimétriques montrent que le CBCT conserve donc bien son avantage de diminution de la dose au patient répondant ainsi à l'obligation légale d'optimisation, dictée par le souci de réduction de dose (principe ALARA ) ; tout en possédant une meilleure résolution que le scanner. Le Cone Beam devrait donc être privilégié dès lors qu'une exploration 3D est nécessaire et ce notamment chez les enfants.

### **V.1.2. En matière d'artefacts (une amélioration mais toujours sous condition d'une utilisation maîtrisée):**

L'évolution de la technique Cone Beam va dans le sens de l'amélioration des artefacts à la fois cinétique et métallique.

#### **V.1.2.1. Artefacts cinétiques: une amélioration par une immobilisation du patient et une durée d'acquisition plus courte**

→ Si le scanner possède un temps d'acquisition très court de l'ordre de 1 à 10 secondes, lui permettant d'éviter tout artefact cinétique ; le CBCT lui possède généralement des temps plus longs. Même s'il a connu une amélioration dans ce domaine, passant de 70 secondes en 2008 à 30 s en 2009 puis à une moyenne de 20 secondes en 2011.

Cette durée non négligeable, laisse la possibilité au patient de bouger la tête et ainsi d'altérer la qualité de l'image.

→ Typiquement les défauts se présentent sous forme de contours dédoublés, ou d'images floues. Afin de réduire ces artefacts, il est essentiel d'utiliser un système de contention fiable et efficace. Certains auteurs préconisent le retour à la position en décubitus dorsale, permettant aux jeunes enfants et aux patients pusillanimes de moins bouger la tête.

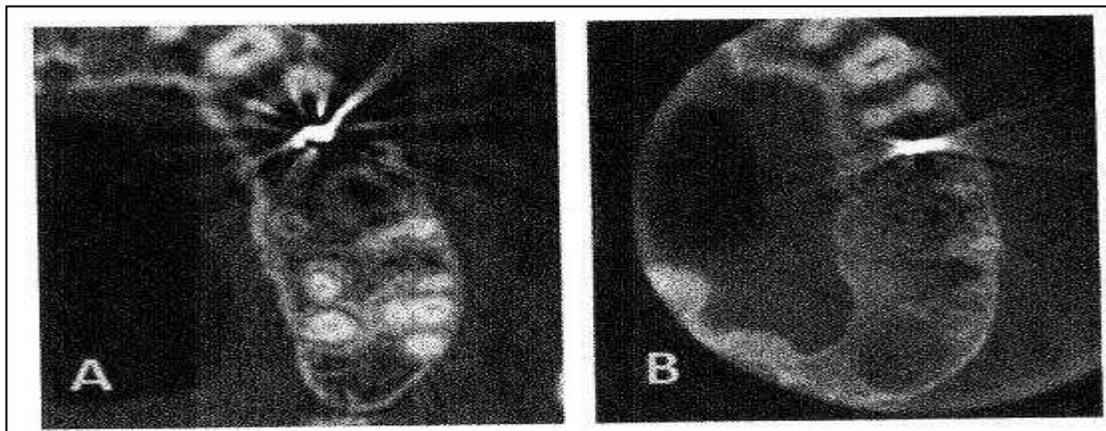
#### V.1.2.2. Artefacts métalliques : une évolution en faveur du CBCT ?

→ Outre les artefacts cinétiques, le CBCT peut présenter, tout comme le scanner, des artefacts métalliques. Ces derniers sont définis par une détérioration de l'image causée par les bruits (électrique et quantique), les rayons dispersés ou encore les rayons totalement absorbés.

→ Un artefact peut se manifester de différentes façons, pouvant être une simple bande brillante rayonnant de l'objet métallique à une zone obscurcie voire même la perte complète de valeurs de gris entre deux objets métalliques adjacents. Par conséquent, la visualisation de ces régions d'intérêts pour le diagnostic est fortement perturbée.

→ La sensibilité moindre aux artefacts métalliques du CBCT, de part la présence d'algorithmes de suppression en post-traitement des images et le nombre accru de projections, est un sujet très controversé.

→ Si en 2008 il était acquis que le Cone Beam est plus tolérant que le scanner face aux artefacts métalliques, à partir de 2010 plusieurs auteurs viennent contredire cette théorie.



**Figure V.2:** Comparaison des artefacts métalliques induits chez un même sujet, par le scanner Rx lightspeed GEMS (A) et le cone beam 3D Acuitomo (B), moins importants pour ce dernier.

→ Ainsi de nos jours, l'avenir va à la diminution des artefacts métalliques grâce aux nouvelles performances des algorithmes de correction après acquisitions des données par le CBCT.

## V.2. Apport de la radiographie tridimensionnelle (cone beam) dans la pratique de l'endodontie par rapport a la radiographie bidimensionnelle :

Dans la pratique clinique quotidienne, il y'a certains cas où la radiographie intra-orale classique et/ou la radiographie panoramique seule ne fournit pas suffisamment d'informations sur les conditions pathologiques, les formes et les structures anatomiques, et les relations anatomiques .

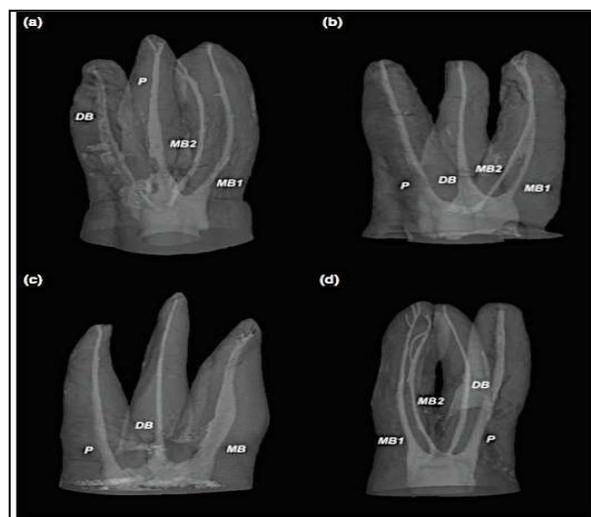
Du fait d'une dose ionisante augmentée par rapport à l'imagerie 2D, le CBCT doit être justifié par un bénéfice bien définissable pour le patient pris une charge pour un problème endodontique. Le praticien doit avoir une discussion avec le patient sur les bénéfiques risques de cette imagerie et pour avoir le consentement du patient avant la réalisation de l'examen .

### V.2.1. Etude anatomique et précision:

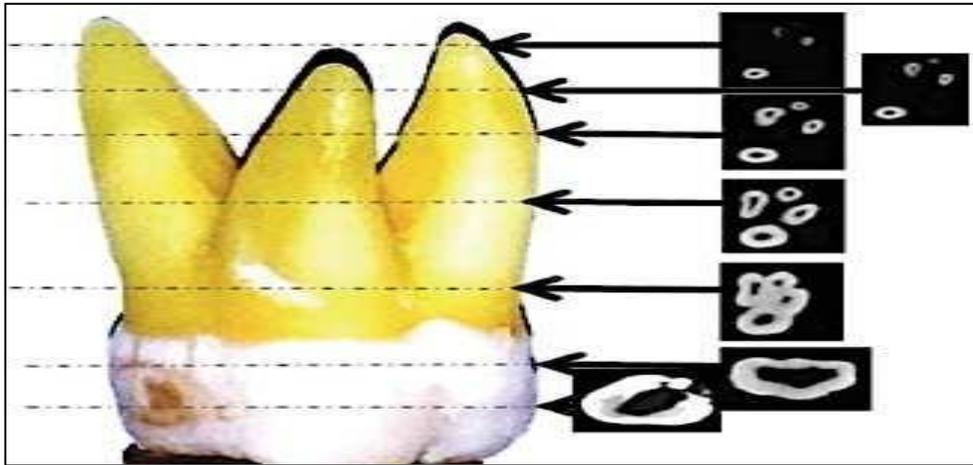
#### V.2.1.1. L'analyse de la morphologie canalaire:

→La non visualisation de la morphologie réelle peut engendrer des difficultés pendant le traitement telles que la formation de butées, de fausses routes ou même de perforations, compromettant potentiellement le résultat du traitement. La disponibilité de ces informations préopératoires réduit les risques qu'une difficulté se produise et donc augmente le pronostic du traitement endodontique.

→l'étude de Michetti & coll a montré que le CBCT est un outil fiable pour explorer l'anatomie du canal radiculaire. Cette étude a comparé le CBCT avec des coupes histologiques vues sous microscope optique. Il a été trouvé une forte à très forte corrélation entre les images de l'anatomie provenant du CBCT et les coupes histologiques (zone de  $r =$  diamètre 0,928 et  $r = 0.890$ ).



**Figure V.3:** Exemples de reconstitution d'une première molaire obtenue à partir d'images provenant d'un CBCT montrant l'aire canalaire du canal MV1 (MB1) MV2 (MB2) disto-vestibulaire (DB) et palatin (P)



**Figure V.4:** Série d'images provenant d'un CBCT d'une première molaire maxillaire représentant l'anatomie interne et les variations anatomiques dans différents niveaux canaux.

→ Une étude clinique réalisée par Cotton & coll a montré l'utilité de l'imagerie tridimensionnelle pour détecter un canal oublié notamment dans le cas de dents déjà traitées.

→ l'étude de Matherne & coll montre que les radiographies conventionnelles n'ont pas permis d'identifier la présence d'un canal radiculaire supplémentaire dans 40% des cas alors que le CBCT a permis de trouver ce canal supplémentaire dans quasiment 100 % des cas.

→ Cette supériorité du CBCT par rapport à la radiographie conventionnelle pour détecter la présence de canaux supplémentaires a été confirmée par Patel & coll qui montrent que près de 40% des canaux radiculaires n'étaient pas détectés par la radiologie numérique même avec la méthode des plans parallèles.

#### ➤ **V.2.1.1. A. Apport du CBCT pour la localisation du MV2:**

→ Une étude réalisée sur racines réséquées de molaires maxillaires a montré, après analyse CBCT la présence d'un MV2 dans 90% des cas, et une intercommunication canalaire entre MV1 et MV2 dans 50% des cas.

→ l'intégration à la classification de Weine et de Vertucci n'a pu être réalisée que dans 60% et 70 % des cas respectivement. Les auteurs de l'étude en ont conclu que l'analyse microtomographique permet un examen plus complet de la complexité anatomique de la première molaire maxillaire et que les classifications de Weine et Vertucci reflètent difficilement la réalité de la complexité anatomique.



**Figure V.5:** Vue axiale démontrant la présence d'un MV2 dans la molaire maxillaire droite

→ Dans une étude *in vitro*, Blattner & coll ont comparé le taux de localisation du MV2 sur des molaires maxillaires, entre une radiographie conventionnelle, un CBCT et des sections histologiques (considérées comme la méthode gold standard). Ils ont montré que le taux de localisation avec le CBCT (79 %) était quasiment identique à celui obtenu avec la méthode gold standard (81 %), ce qui les a amenés à conclure que le CBCT est une méthode fiable pour la localisation du MV2.

→ Une étude *in vivo* utilisant le CBCT et réalisée par Reis & coll a montré que la prévalence des canaux MV2 diminuait à proximité du tiers apical des racines mésiaux-vestibulaires. Ces données peuvent s'expliquer par le fait que dans 50 % des cas le MV2 rejoint le MV1 notamment dans le tiers médian de la racine mésio-vestibulaire.

→ Une revue de la littérature réalisée par Vizzotto & coll et portant sur l'utilisation du CBCT dans la localisation du MV2 a supposé que la réalisation d'un CBCT pourrait être un atout important dans l'évaluation pré-endodontique (taux de localisation moyen dans les différentes études 67 %).

→ Les auteurs de cette revue n'ont cependant pas pu conclure du fait de la très grande hétérogénéité des études et des CBCT utilisés.

→ Malgré l'absence d'étude à haut niveau de preuve, nous pouvons en déduire au vu de la multitude d'études à bas niveaux de preuves, que le CBCT est un outil très intéressant pour la localisation radiologique du MV2 et dont le taux de détection est proche de 100% notamment dans les études *in vitro*.

→ Mais aucune étude ne porte sur le diamètre canalaire jusqu'à lequel le MV2 est visible sur une coupe de CBCT. En effet parfois des canaux en cours de calcification et présentant un diamètre très réduit ne sont pas détectable sur un CBCT mais bien visible en coupe histologique.

→ Ce qui nous renvoie comme à l'étude de Cleghorn et au problème de définition d'un canal et qui peut expliquer les taux de détection différents entre les études. La plupart des auteurs ne donnent pas leurs définition d'un canal.

→ Le Cone Beam semble plutôt être indiqué pour l'étude de la morphologie canalaire lorsqu'on est en présence d'anatomie canalaire atypique comme les dents in dente ou d'anatomie très complexe avec la présence de doubles courbures, d'anastomoses, d'isthmes apicaux par exemple

#### V.2.1.2. Les anomalies dentaires:

→ l'anatomie canalaire atypique va souvent de paire avec une forme de la couronne ou de la racine aussi atypique. Il existe de nombreuses malformations ou syndromes qui peuvent aboutir à la présence de dens invaginatus ou de dens évaginatus par exemple. Elles sont la conséquence d'une anomalie de développement, résultant d'une invagination ou évagination partielle plus ou moins profonde de l'organe de l'émail durant le développement de la dent. Ces modifications structurelles sont des cibles privilégiées pour le développement des caries de par leur nature anfractueuse qui empêche un nettoyage efficace. Cela nécessite une prise en charge précoce et la → mise en place de mesures préventives.

Le traitement endodontique des dens invaginatus est un challenge, cela s'explique par la morphologie étrange qu'elles peuvent avoir.



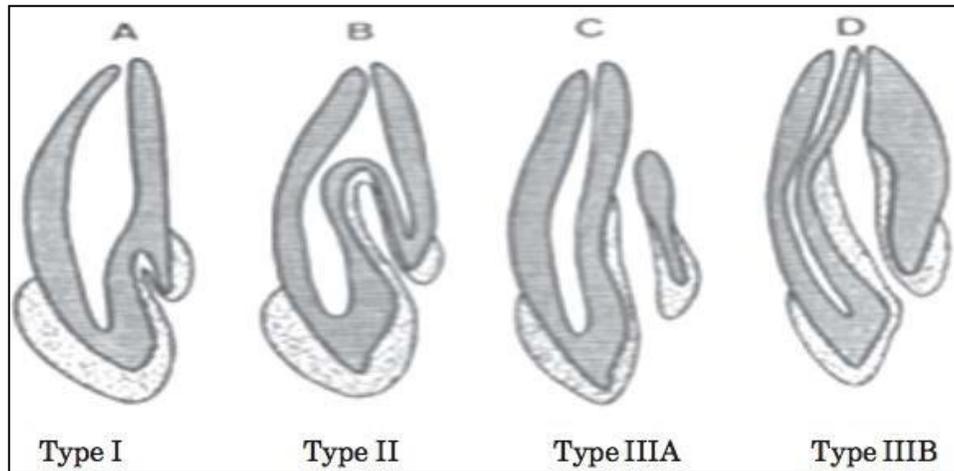
**Figure V.6:** radiographie d'une 32 présentant une invagination

→ Voici l'exemple sur cette radiographie rétro alvéolaire utilisant la technique des plans parallèles d'une 32 présentant une invagination. La radiographie en 2D dans ce cas là ne nous fournit pas assez d'informations pour pouvoir planifier la réalisation du traitement endodontique, en effet elle ne nous donne pas assez d'informations sur la nature de l'invagination, et la communication ou non qu'il peut y avoir entre l'invagination et la dent. Oehler's a ainsi réalisé

une classification qui porte son nom pour décrire les différents types de dents invaginées.

→ Dans cette classification, il existe 3 types principaux, dont le troisième contient deux sous-types **Figure V.7**.

→ Le Cone Beam est alors important pour différencier les différents types de dents invaginées et ainsi réaliser la meilleure prise en charge.

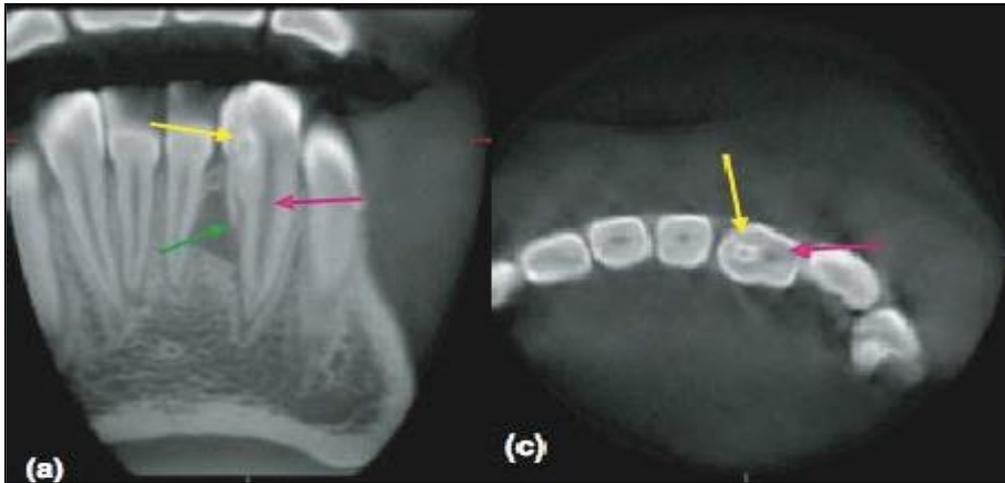


**Figure V.7:** classification de Oehler's

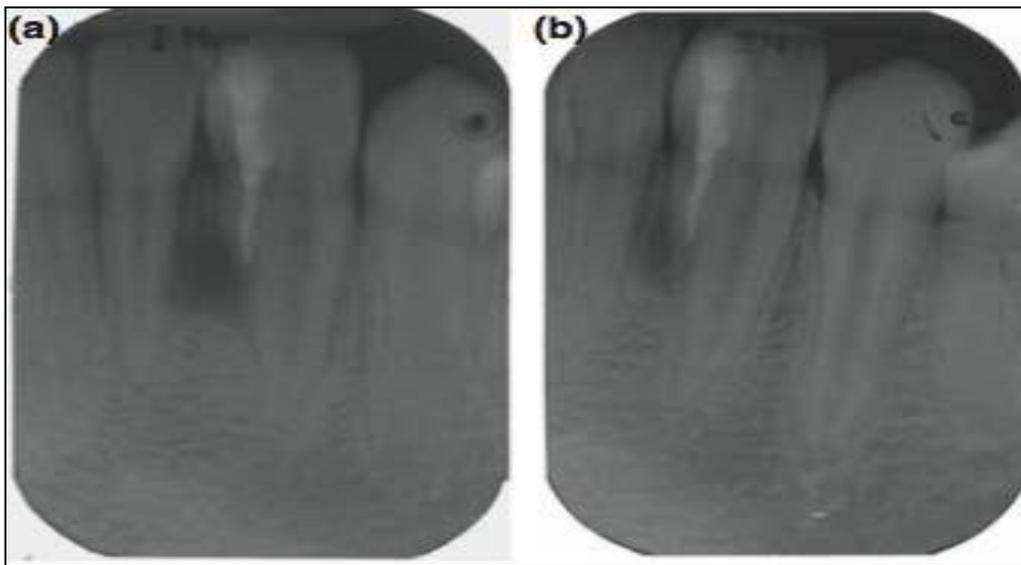
→ Le cas présenté ci-dessous en est un bon exemple, grâce au Cone Beam on peut voir que la lésion péri-radulaire semble être en rapport avec le canal contenu dans l'invagination, et que ce canal ne semble pas communiquer avec le canal radulaire de la dent 32. La réalisation de ce Cone beam a permis à Patel de faire le diagnostic suivant, il s'agit selon lui d'une « parodontite apicale chronique associée à une invagination infectée, et un canal principal de 32 vital ». La réalisation du traitement endodontique de l'invagination seulement a donc été réalisée.

→ Le suivi à 18 mois semble montrer une évolution positive, il n'y a plus de signe clinique de parodontite apicale et la lésion semble être en voie de cicatrisation .

→ Dans les cas d'invagination ou de dents in dente, il est nécessaire de réaliser un Cone Beam petit champ qui permet la mise en évidence de l'invagination et de voir si les canaux communiquent entre eux ou s'ils sont indépendants, cela a une importance quand à la thérapeutique à adopter .



**Figure V.8:** image montrant le Cone Beam de la 32



**Figure V.9:** radiographie rétro-alvéolaire du traitement final de la 32

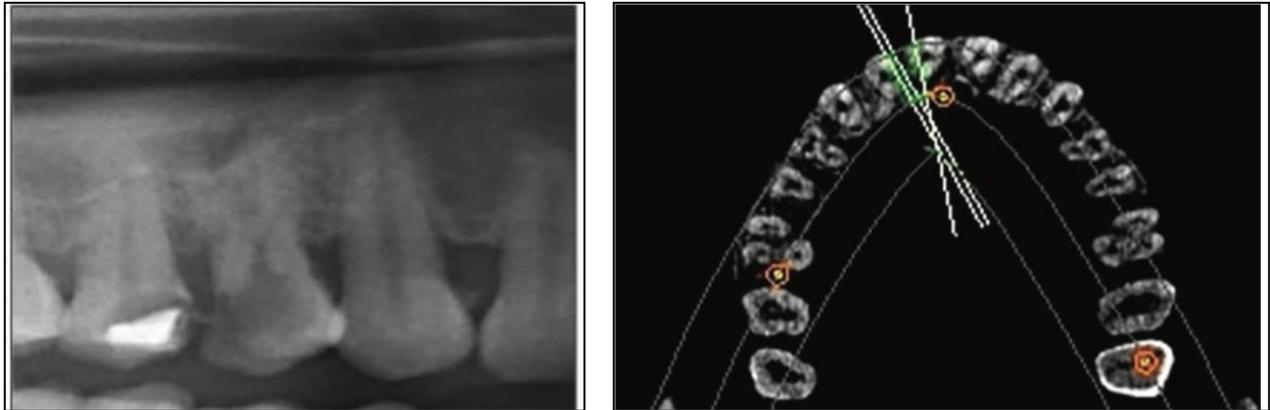
La figure a est une radio post obturation

La figure b est un suivi à 18 mois

→ d'autres cas d'anatomie atypique peuvent nécessiter la réalisation de Cone beam pour évaluer la continuité canalaire, les fusions par exemple.

### V.2.1.3. Le nombre des racines:

Bien que la connaissance de l'anatomie radiculaire soit indispensable à tout traitement endodontique, il existe des particularités anatomiques rares sur certaines dents comme la présence d'une racine supplémentaire. Cette particularité peut être retrouvée avec des prémolaires maxillaires qui ont ainsi trois racines. Ces 3 racines peuvent être visibles sur une radiographie rétro-alvéolaire mais la confirmation de la présence de cette racine supplémentaire nécessite un CBCT.



**Figure V.10:** Radiographie en deux dimensions et CBCT de 14 montrant 3 racines

### V.2.2. Les résorptions radiculaires:

→ Les résorptions radiculaires sont un phénomène pathologique pour les dents matures, il s'agit de la destruction des tissus durs de la dent par un processus inflammatoire. On distingue deux catégories principales de résorptions qui sont, les résorptions internes dont le point de départ se situe à l'intérieur de la cavité pulpaire et les résorptions externes dont le point de départ se situe dans le parodonte et affecte la surface radiculaire externe de la racine au commencement.

→ De nombreuses études ont été réalisées pour comparer la capacité de détection des résorptions, qu'elles soient internes ou externes par les radiographies rétro-alvéolaires et par le Cone Beam.

→ Dans leur étude, Durack et coll ont simulé des résorptions externes de petites et de grandes tailles sur des racines de 10 incisives mandibulaires. Ils ont ainsi créé 30 situations, 15 lésions inter-proximales (5 contrôles, 5 petites lésions et 5 lésions larges) et 15 lésions vestibulaires (5 contrôles, 5 petites lésions et 5 larges). Les dents ont ensuite été radiographiées en utilisant une plaque au phosphore tout en respectant la technique des plans parallèles, mais aussi grâce à la réalisation d'un Cone Beam, deux types de Cone beam ont été réalisés, un avec une rotation de 180° et l'autre avec une rotation de 360°. Par la suite 8 examinateurs spécialisés en endodontie ont analysé les radios.

Les résultats de cette étude montrent une différence significative dans la détection des petites et des grandes résorptions externes entre la rétro-alvéolaire et le Cone Beam.

	Radiograph	180° CBCT	360° CBCT
No lesion vs. both sizes of lesion	0.665 (0.057)	0.984* (0.013)	0.990* (0.014)
No lesion vs. small lesion	0.584 (0.051)	0.969* (0.026)	0.979* (0.029)
No lesion vs. large lesion	0.733 (0.098)	1.000* (0.000)	1.000* (0.000)
<b>*significantly different from radiographs (<math>P &lt; 0.001</math>).</b>			

**Figure V.11:** tableau montrant les résultats de l'étude concernant la mise en évidence des résorptions

→ On peut ainsi noter qu'environ 42% des petites résorptions externes simulées n'ont pas été mises en évidence grâce à la radiographie rétro-alvéolaire alors que seulement 3% en moyenne pour le Cone Beam. On remarque aussi qu'il n'y a pas de différence significative entre une rotation de 180° par rapport à une rotation de 360°, ce qui va dans le sens de n'effectuer qu'une rotation de 180°.

→ On aurait aussi pu citer l'étude réalisée par Creanga et coll qui confirme la différence significative de détection entre la rétro-alvéolaire et le Cone Beam.

→ Ces études nous montrent ainsi que la rétro-alvéolaire n'est pas un type d'imagerie adapté pour la détection des résorptions précoces, surtout quand la cavité de la résorption est de petite taille (0.5mm× 0.25mm par exemple). En effet les résorptions peuvent évoluer de manière très rapide, c'est pour cela qu'une détection précoce est nécessaire. Il faut donc relativiser les risques perçus de l'augmentation de la dose de rayonnement avec le risque de complications non détectées par la radiographie rétro-alvéolaire. Cependant, les résorptions restent la plupart de temps de découverte fortuite sur une rétro-alvéolaire et le Cone Beam est indiqué surtout en seconde intention si on ne peut pas établir le diagnostic différentiel entre une résorption interne ou externe.

→ La prise en charge des résorptions est souvent complexe, cela demande du temps, le résultat est la plupart du temps imprédictible et cela nécessite une approche pluridisciplinaire.

→ Une des raisons pour lesquelles le traitement est complexe est que la radiographie en 2D ne nous donne pas assez d'informations pour pouvoir planifier et organiser l'intervention. En effet, la radiographie en 2D ne permet pas de déterminer la taille de la lésion, son extension, sa porte d'entrée et même parfois de savoir si la résorption est externe ou interne, or le traitement des

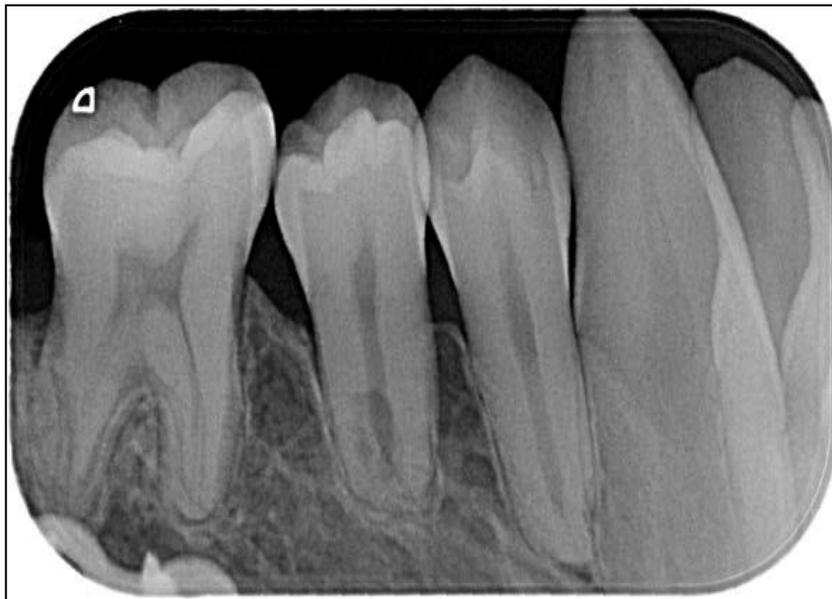
résorptions dépend du type de résorption, de sa localisation et de son degré d'extension .

→Le Cone Beam de par son image en 3 dimensions permet lui d'évaluer, de localiser, de mesurer et de trouver une porte d'entrée pour les résorptions externes par exemple. Le Cone Beam nous permet aussi de voir s'il y a une communication entre une résorption interne et le parodonte, ce que la radiographie en 2D ne pourra quasiment pas faire.

→Il est souvent compliqué d'établir un diagnostic de certitude quant à l'origine de la résorption, est-elle interne ou externe ? La réalisation de cliché orthocentré peut mettre en évidence une superposition de la résorption avec le trajet canalaire, dans ces cas la réalisation d'une radiographie excentrée doit nous permettre de faire le diagnostic différentiel entre une résorption externe et une interne. En effet si la résorption est interne, la résorption reste centrée sur le canal radiculaire alors que si la résorption est externe la résorption se décale par rapport au trajet canalaire.

→Prenons l'exemple de la figure ci-dessous, on voit sur la rétro-alvéolaire la présence d'une résorption radiculaire dans le 1/3 inférieur de la 45. Il s'agit d'une radio orthocentrée où il est difficile de savoir si la résorption est externe ou interne. La réalisation d'une radiographie excentrée nous permet de supposer qu'il s'agit d'une résorption externe car la lésion n'est plus centrée sur le canal radiculaire. Cependant pour en être sûr un CBCT a été réalisé.

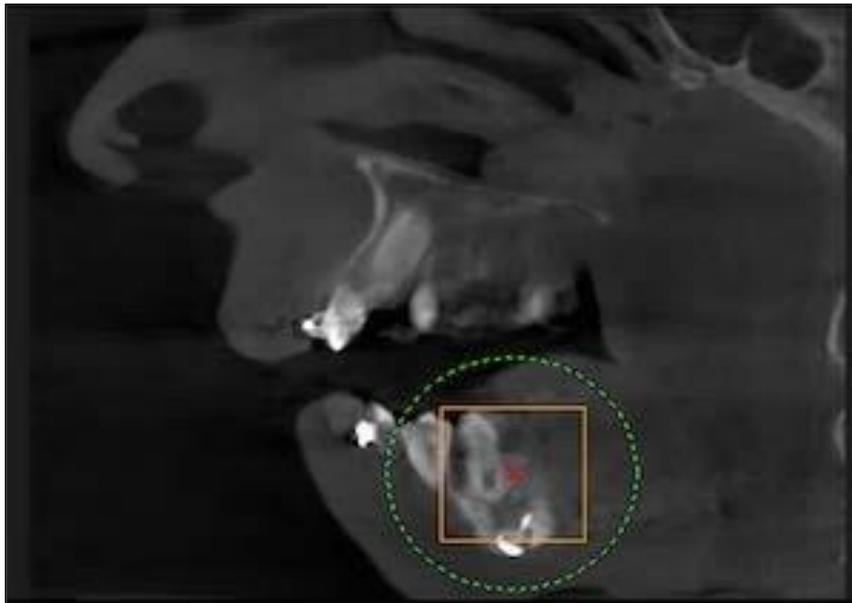
Le CBCT est l'examen complémentaire de référence dans la différenciation des résorptions externes et internes de par sa nature tridimensionnelle quand la radio en 2D ne le permet pas.



**Figure V.12:** radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la présence d'une résorption sur la 45.  
(Cas du Dr Chaudeau)

→ Les **Figure V.13** et **Figure V.14** montrent le résultat de ce Cone Beam. **Figure V.13** met en évidence une communication entre la résorption et le parodonte. On note aussi que la résorption externe s'est étendue à la partie pulpaire de la dent. Il était bien difficile de visualiser cela sur la radiographie en 2D du fait que la lésion est dans le plan vestibulo-lingual et non dans le plan mésio-distal.

→ Il n'est pas rare de voir dans le cas inverse une résorption interne s'étendre vers le parodonte et ainsi créer une communication avec l'extérieur, cela est important à mettre en évidence grâce au Cone Beam car cela influe la décision et la stratégie thérapeutique .



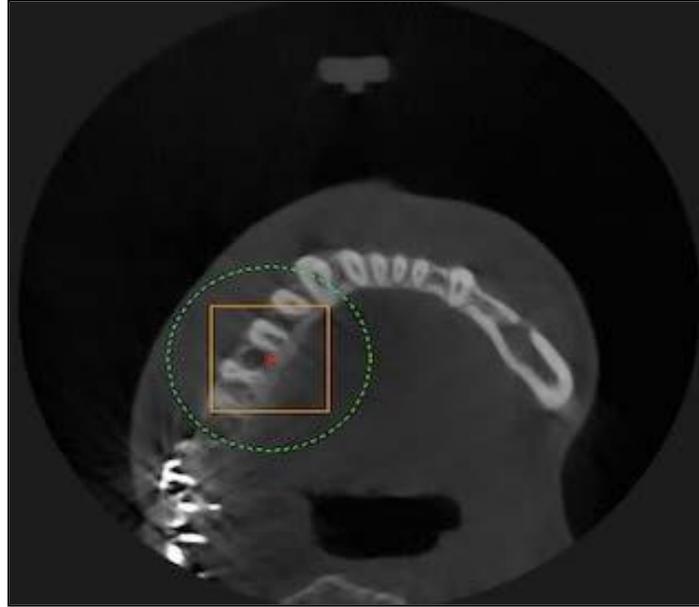
**Figure V.13:** coupe sagittale du Cone Beam réalisée sur la 45. (Cas du Dr Chaudeau)

→ Un des autres avantages du Cone Beam réside dans le fait qu'il permet de mesurer avec précision la taille de la lésion de par son rapport 1/1 avec la réalité. En effet, la radiographie en 2D ne pourrait nous donner qu'une mesure dans 2 plans de l'espace de par la compression de l'image alors que la radio en 3D nous permet d'avoir accès à la lésion dans ces 3 plans, or le traitement des résorptions dépend en partie de la sévérité de la lésion. Il a été montré que la radio en 2D avait souvent tendance à sous estimer la taille des lésions comparativement au cone beam ce qui peut donc être responsable d'un mauvais choix thérapeutique .

→ Le Cone Beam permet aussi de localiser avec précision la lésion, en effet sur la radiographie en 2D de la **Figure V.12** on ne peut pas savoir si la lésion est située du côté vestibulaire ou du côté lingual. Grâce au Cone Beam on peut localiser avec précision la lésion, on voit qu'elle est

du côté lingual. Cela aura son importance pour le choix de la technique de traitement

→ Suite à la visualisation et à l'analyse du Cone Beam il a été décidé de conserver la dent et de réaliser la pulpectomie de cette dent.



**Figure V.14:** coupe axiale du Cone Beam réalisé sur la 45. (Cas du Dr Chaudeau)

→ Une meilleure étude préopératoire et une meilleure compréhension de la pathologie peuvent aider le dentiste à trouver et réparer les tissus affectés, ce qui améliore le pronostic du soin. C'est pour cela qu'un Cone Beam doit être réalisé de manière quasi systématique lorsqu'une résorption est mise en évidence sur une rétro-alvéolaire .

### **V.2.3. Les lésions d'origine endodontique:**

→ Les lésions d'origine endodontique sont aussi nommées LIPOE, ce qui signifie Lésion inflammatoire péri radiculaire d'origine endodontique. Cette inflammation peut être aiguë ou chronique et est située autour de l'apex d'une ou plusieurs racines. Elle est la conséquence d'un ensemencement du réseau endodontique par des bactéries. Elle engendre la suppression du ligament alvéolo-dentaire ainsi qu'une destruction de l'os en regard de la lésion .

→ La modification de la structure osseuse péri-radicaire entraîne l'apparition d'une image radio-claire sur la radiographie. Cependant quelques études nous montrent que dans certains cas, la lésion n'est pas mise en évidence par la rétro-alvéolaire.

→Voici d'après une étude réalisée par Estrela et coll la prévalence des découvertes de LIPOE en fonction du type de radiographie utilisé. Le CBCT est considéré comme le gold standard de l'étude de par son image en 3D. Dans cette étude, 1508 dents ont été étudiées (523 molaires, 597 prémolaires et 388 canines et incisives) trois observateurs ont analysés les radiographies obtenues et ont utilisé le PAI de Orstavik pour définir le statut péri apical de chaque dent. Les résultats de cette étude montrent que seulement 54,5 % des LIPOE sont correctement identifiées grâce à la rétro-alvéolaire et 27,8% avec la radio panoramique par rapport au Cone Beam.

**TABLE 1.** Prevalence of AP in Endodontically Treated and Untreated Teeth, Identified by Panoramic, Periapical, and CBCT Images (n = 1508)

	Panoramic	Periapical	CBCT	P value*
Treated teeth (n = 1425)				
Presence of AP	251 (17.6%)	503 (35.3%)	902 (63.3%)	<.001
Absence of AP	1174 (82.4%)	922 (64.7%)	523 (36.7%)	
Nontreated teeth (n = 83)				
Presence of AP	18 (21.7%)	30 (36.1%)	62 (74.7%)	<.001
Absence of AP	65 (78.3%)	53 (63.9%)	21 (25.3%)	

AP, apical periodontitis; CBCT, cone beam computed tomography.  
\* $\chi^2$  test.

**Figure V.15:** tableau montrant la prévalence des LIPOE en fonction du système radiographique utilisé

→Cette étude signifierait donc que seulement la moitié des LIPOE sont correctement identifiées par la rétro-alvéolaire par rapport au Cone Beam.

→De nombreuses études portant sur le sujet ont été publiées, dont celle de Lofthag-Hansen et coll et celle de Low et coll. Ces deux études aboutissent quasiment au même résultat, c'est à dire respectivement 38% et 34% de différence de détection des LIPOE entre la rétro- alvéolaire et le cone beam en faveur du Cone Beam .

→Ce qui confirmerait certes dans une moindre mesure que l'étude de Estrela et coll que la rétro-alvéolaire nous donnerait de nombreux faux-négatifs pour ce qui est de la détection des lésions péri apicales d'origine endodontique.

→Il y a plusieurs facteurs qui peuvent expliquer ce nombre important de faux-négatifs.

- La superposition des différentes structures osseuses telle que l'arcade zygomatique, une corticale osseuse épaisse, peuvent rendre l'identification des lésions complexes au niveau de la racine palatine d'une molaire maxillaire par exemple. Le Cone Beam permet, lui, grâce à ces images dans les 3 plans de l'espace de supprimer cette superposition .
- La taille de la lésion est aussi un facteur clé. Les lésions débutantes ne seront pas souvent

mises en évidence à l'aide d'une rétro-alvéolaire.

- La localisation de la lésion est aussi un facteur important, qu'elle soit contenue seulement dans l'os spongieux ou qu'elle touche aussi la corticale, elle aura un impact sur sa visualisation radiographique. Les lésions confinées dans l'os spongieux sont plus difficilement mises en évidence par rapport aux lésions qui affectent une partie de la corticale. L'épaisseur de la corticale a aussi une importance. Une lésion d'une taille prédéfinie est visible si la corticale est fine, alors que pour la même lésion la présence d'une corticale épaisse la rend indétectable.
- Le type de dents, les molaires de par leur anatomie, leur nombre important de racines vont compliquer l'analyse. Pour les molaires maxillaires, la présence du sinus peut nous amener à confondre une LIPOE avec le sinus ou laisser passer une LIPOE en pensant que c'est le sinus.

→d'après Furhmann et coll, dans une étude in vitro qu'ils ont réalisée, seulement une lésion inter-radiculaire qu'ils ont créés artificiellement sur 14 a été détectée par la rétro-alvéolaire alors qu'avec le Cone Beam elles ont toutes été mises en évidence. Cela peut s'expliquer par les chevauchements radiculaires .



**Figure V.16:** rétro-alvéolaire d'une incisive centrale maxillaire

→Voici l'exemple sur la figure 12 d'une rétro-alvéolaire prise avec les techniques des plans parallèles. Sur cette radiographie on peut voir que la 11 est dépulpée et qu'il ne semble pas y avoir de LIPOE, le ligament alvéolo-dentaire semble être en continuité.

→Pour qu'une LIPOE soit visible sur une rétro-alvéolaire il faut qu'il y ait entre 30 et 50% d'os minéral qui soit détruit .

→Grâce au CBCT qui a été réalisé, par la suite, une LIPOE a été mise en évidence à l'apex de la racine de la 11. La lésion est confinée à l'os spongieux et est de petite taille, ce qui la rend difficilement décelable à la rétro-alvéolaire.

→De plus le Cone Beam nous permet d'avoir la caractérisation exacte de la lésion: son étendue, la LIPOE est-t elle en rapport avec une seule racine ou plusieurs dans le cas des molaires par exemple? Et sa forme.



**Figure V.17:** Cone Beam de l'incisive centrale maxillaire droite

### **V.2.3.1. Le Cone Beam Computed Tomography Peri-Apical Index (CBCT-PAI):**

→Avant que le Cone Beam n'existe, un index pour caractériser et évaluer la sévérité des LIPOE existait déjà, il s'agissait du Peri-Apical Index (PAI). Cet index a été créé par Brynolf en 1967 et modifié par la suite en 1986 par Orstavik .

→Cet index était basé sur deux principes, une étude radiographique et un diagnostic histologique du péri-apex. Une observation minutieuse des radiographies permettait de classer les dents dans une échelle de valeurs comprises entre 1 et 5 par rapport à une référence. La valeur 1 correspondait à une structure péri-apicale normale et la valeur 5 à une parodontite apicale sévère

avec exacerbation.

→ Il y avait certaines règles à respecter pour définir l'indice :

- Toutes les dents devaient posséder un score, les dents auxquelles il manquait un apex étaient exclues de l'étude auparavant.
- S'il y a un doute, il faut mettre le score le plus élevé.
- Pour les dents pluriradiculées, il faut utiliser le score le plus élevé des différentes racines
- Trouver la radiographie référence la plus ressemblante à la radiographie étudiée, pour lui donner le score correspondant.
- L'utilisation d'une loupe était conseillée du fait de la nature argentique des radiographies mais n'était pas obligatoire.

→ Cependant avec cet index il y avait de nombreuses erreurs de reproduction inter-individus mais aussi intra-individus ce qui était le plus embêtant. Cela montre le manque de fidélité de cet index et qui peut entraîner des erreurs d'épidémiologie de la LIPOE. Si on ajoute à cela le fait que les radios étaient en 2D et contenaient donc de nombreuses distorsions et bruits anatomiques, on peut comprendre la nécessité d'un nouvel indice basé sur le Cone Beam.

→ Estrela et coll ont développés un nouvel index basé sur le cone beam en 2008 pour évaluer les lésions péri-apicales qui se nomme le CBCTPAI. Cet index est basé sur la mesure des images radio-claires scannées par le Cone Beam dans les 3 plans de l'espace, c'est à dire mésio-distal, vestibulo-palatin ou lingual et diagonal. On obtient alors 3 mesures. Dans le CBCTPAI, ils ont choisi de prendre la plus large extension pour définir le diamètre de la lésion qui fait référence dans leur échelle de score.

→ Cet indice peut se définir de la manière suivante : il y a un score en 6 points, de 0 à 6 pour définir le diamètre de la lésion et deux facteurs associés qui sont l'expansion à l'os cortical ou sa destruction .

Score	
0	Structures osseuses péri-apicales intactes
1	Diamètre de la radio clarté péri-apicale >0,5-1 mm
2	Diamètre de la radio clarté péri-apicale >1-2 mm
3	Diamètre de la radio clarté péri-apicale >2-4 mm
4	Diamètre de la radio clarté péri-apicale >4-8 mm
5	Diamètre de la radio clarté péri-apicale >8 mm
Chiffre +E	Expansion à l'os cortical
Chiffre +D	Destruction de l'os cortical

Figure V.18: tableau résumant le CBCTPAI (d'après Estrela et coll)

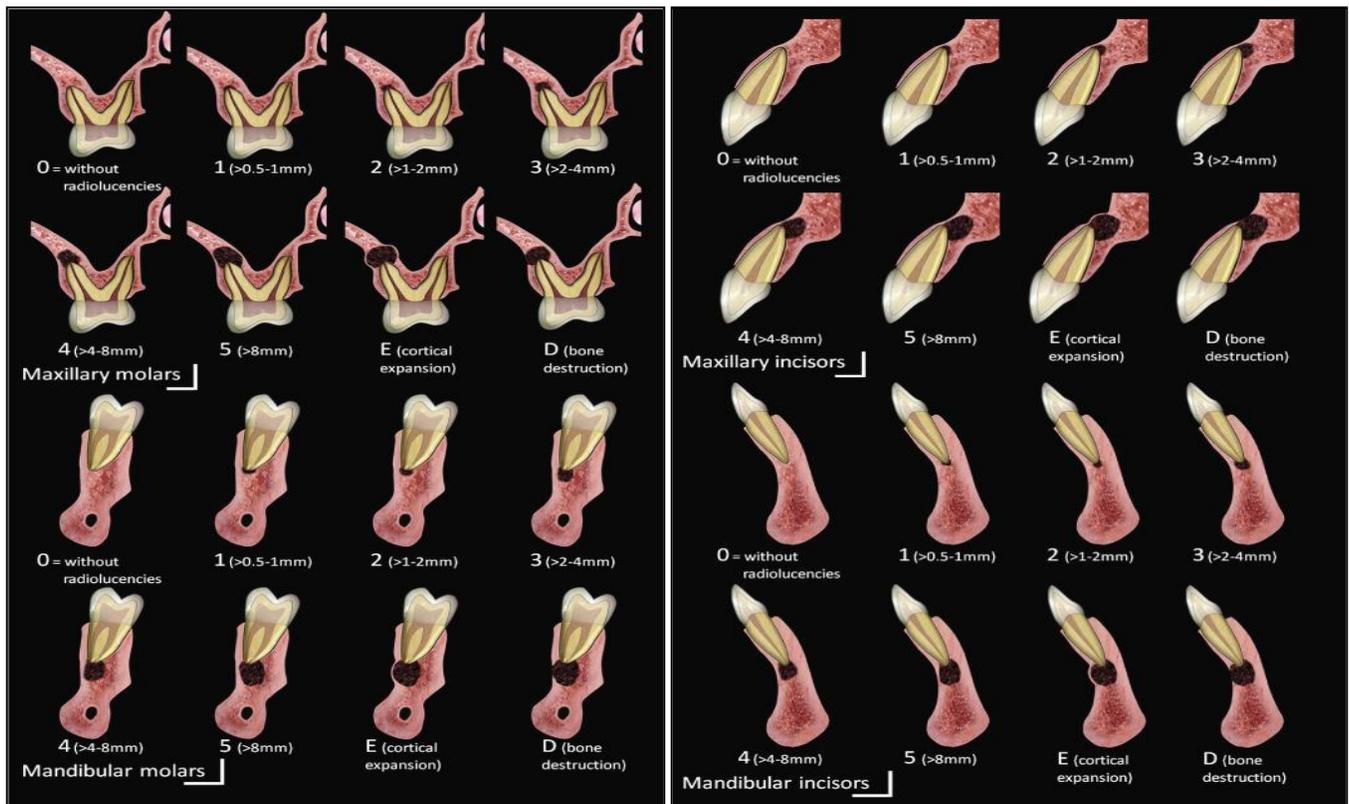


Figure V.19: classification du CBCTPAI

→Cet indice est important car en plus de réduire le nombre de faux-négatifs, il limite l'importance de l'observateur comparativement au PAI où il existe des erreurs de reproductibilité intra-opérateur ainsi que des erreurs inter-observateurs. Cela augmente donc la précision des études épidémiologiques.

→Donc on peut dire que le Cone Beam a sa place dans la détection des lésions péri- apicales d'origine endodontique. Le Cone Beam pourrait être prescrit en seconde intention, dans les cas où les signes et les symptômes cliniques ne sont pas en adéquation avec les signes radiologiques classiques qui ne mettent pas en évidence la présence de lésions apicales. Il pourrait être intéressant aussi pour le diagnostic précoce des lésions apicales. En effet grâce au Cone Beam à petit champ avec une haute résolution, l'objectif n'est plus simplement de voir s'il existe une LIPOE mais aussi de tenter de répondre à la question : pourquoi les bactéries ont-elles réussies à coloniser le péri-apex? (Obturation insuffisante, présence d'un canal supplémentaire, fracture radiculaire, participation parodontale, ...) ce qui est intéressant si une chirurgie endodontique est réalisée par la suite, mais il ne doit pas devenir un examen de routine.

#### **V.2.4. L'évaluation des fractures radiculaires et traumatismes :**

→Les dents qui ont subi un traumatisme représentent un challenge clinique. En effet, le diagnostic, le plan de traitement et le pronostic sont souvent incertains.

→Le premier examen clinique et radiographique du patient est déterminant pour:

- Poser le diagnostic initial
- Évaluer l'importance de la lésion
- Déterminer un plan de traitement adapté
- Servir de référence pour le suivi

→Une détection précoce des fractures radiculaires est fondamentale pour prévenir d'éventuelles lésions extensives au niveau des tissus de soutien de la dent. C'est pour cela que l'examen clinique et radiographique doit être le plus précis possible.

##### **V.2.4.1. Les fractures radiculaires verticales:**

→Les fractures radiculaires verticales sont un challenge diagnostique, en effet les signes cliniques et les symptômes peuvent être non spécifiques surtout quand elles sont incomplètes. Tsesis et coll en 2010 ont même conclu une revue de la littérature sur le sujet en disant que des données probantes quant à l'efficacité de l'évaluation clinique et radiologique que ce soit la rétro-alvéolaire ou le Cone Beam pour le diagnostic des fractures radiculaires verticales étaient

manquantes .

→La capacité du Cone Beam à détecter des fractures radiculaire verticales dépend du type de Cone Beam utilisé, en effet cela dépend des facteurs d'exposition, de la sensibilité du détecteur, de la taille des voxels et de la qualité des algorithmes de reconstruction de l'image. Il est aussi évident que la présence ou non d'un matériau d'obturation canalaire a une grande importance sur le résultat du Cone Beam, la présence de gutta ou la présence d'un tenon métallique radiculaire peut entraîner la présence d'artéfacts métalliques, c'est là que la qualité du Cone Beam intervient pour améliorer la qualité de l'image .

→Des études ont été réalisées pour comparer la capacité à détecter des fractures radiculaire verticales en présence ou non d'obturation intra-canalaire et en fonction de la radiographie utilisée, Cone Beam et rétro-alvéolaire ont ainsi été comparés .

→Les résultats sont les suivants :

- Avec le Cone Beam, 87% des fractures ont été mises en évidence quand le canal n'était pas obturé, et 45% seulement en présence d'un matériau d'obturation canalaire.
- Avec la rétro-alvéolaire, on obtient les résultats suivants, 63% de fractures mises en évidence lorsque le canal n'était pas obturé et 53% lorsqu'il l'était.

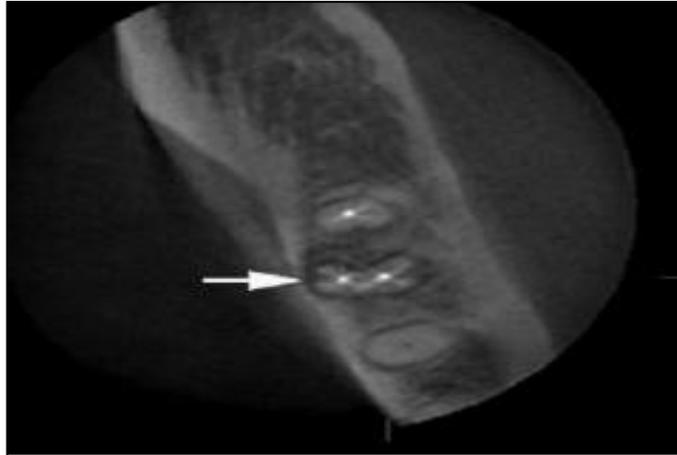
→Ces études ont été réalisées en parallèle avec deux groupes de chercheurs, il s'agit d'études réalisées ex vivo sur des fractures verticales simulées.

→Cela met en évidence la supériorité du Cone Beam dans la détection des fractures radiculaire verticales lorsque la dent n'est pas obturée. Mais en présence d'un matériau d'obturation le cone beam ne montre pas de supériorité, il a même des résultats inférieurs à la rétro-alvéolaire. Cela est compréhensible du fait de la présence d'artéfact lié au matériau d'obturation.

→Voici l'exemple dans les figures 15 et 16 de la mise en évidence d'une fracture verticale sur les racines mésiales de la 46. Sur la rétro-alvéolaire on aurait pu croire qu'il s'agissait du canal radiculaire qui n'était pas obturé jusqu'à l'apex radiographique, or sur le Cone Beam on se rend compte qu'il s'agit en fait d'une fracture verticale.



**Figure V.20:** radiographie d'une 46



**Figure V.21:** CBCT mettant en évidence une fracture

→ Pour conclure sur les fractures radiculaire verticale, il semble que le Cone Beam ne soit pas un moyen de radiographie optimal pour la détection de ce type de fracture quand la dent est obturée, même si la figure 16 peut nous montrer le contraire .

#### **V.2.4.2. Les fractures radiculaire horizontales:**

→ Les fractures radiculaire horizontales sont le plus souvent localisées dans la région maxillaire antérieure chez les hommes car ces fractures sont souvent la conséquence d'un traumatisme, d'un choc.

→ Le diagnostic de ces fractures est clinique, on peut avoir une mobilité de la partie coronaire de la dent par exemple, mais il est surtout radiographique. S'il y a une fracture horizontale, on doit voir sur une radiographie rétro-alvéolaire une ligne de fracture, qui se définit par la présence d'un espace radio-clair entre deux fragments de la dent .

→ Cependant, il peut y avoir une absence de signe radiographique quand les rayons X ne sont pas parallèles au plan de fracture radiculaire, aux déplacements dentaires ou aux fractures alvéolaires, cela constitue une limitation de la rétro-alvéolaire. C'est pour cela qu'il est indispensable de prendre 2 ou 3 clichés rétro-alvéolaires angulés pour permettre sa visualisation. Même en réalisant 2 ou 3 radiographies, les fractures peuvent ne pas être diagnostiquées à cause de la superposition des structures anatomiques dans le dernier tiers radiculaire par exemple.

→ De plus, il est souvent compliqué de prendre des clichés rétro-alvéolaires après un traumatisme, en effet le fait de venir placer un capteur dans la bouche du patient peut être inconfortable voire douloureux pour le patient. La réalisation de radiographie à l'aide d'un angulateur pour la reproductibilité et le suivi est presque impossible, en effet le fait de devoir mordre sur l'angulateur peut être très douloureux. Cela est encore plus vrai si la dent est luxée ou extrusée .

→Le Cone Beam qui est une technique de radiographie extra-orale élimine tous ces problèmes d'inconfort ou de gêne. De plus, le Cone Beam supprime les phénomènes de superposition anatomiques et de distorsion d'image. Cependant pour le suivi du patient la réalisation de radiographies rétro-alvéolaires initiales reste obligatoire pour permettre une comparaison, en effet le Cone Beam ne peut pas être utilisé en routine en suivi.

→Des études ont été réalisées pour comparer la capacité des différents systèmes radiographiques à notre disposition, pour la mise en évidence des fractures radiculaire horizontales. Par exemple celle de Kamburoglu et coll , qui compare les plaques aux phosphore, les capteurs CCD et le Cone Beam dans la détection de fractures horizontales simulées. Dans leur étude, ils ont créé des fractures horizontales sur 18 dents et conservé 18 dents intactes pour servir de contrôle à l'étude. Ils ont replacé les dents dans les alvéoles des os maxillaires et ensuite réalisé les différentes radiographies. Trois radiologistes dentaires ont par la suite analysé les clichés et les résultats montrent que le Cone Beam obtient le meilleur résultat. En effet la sensibilité du Cone Beam pour mettre en évidence une fracture horizontale est de 92% alors que pour les techniques en 2D elle n'est que de 70% en moyenne sans différence significative entre les deux techniques.

→Le Cone Beam surpasse donc les radiographies conventionnelles en 2D dans la détection des fractures horizontales.



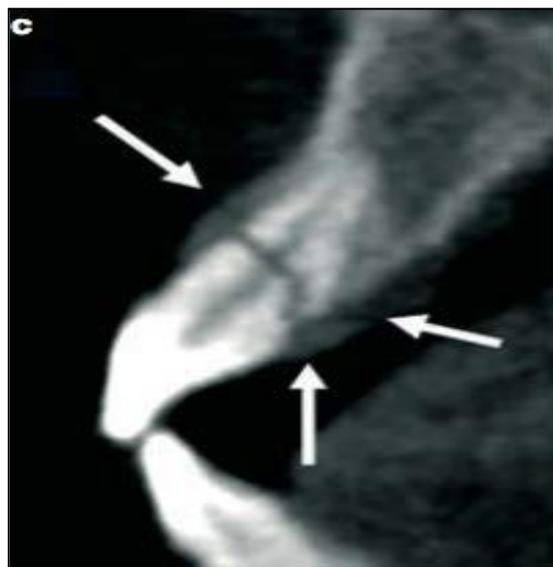
**Figure V.22:** radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la présence d'une fracture radiculaire horizontale de la 21

### V.2.4.3. Le traumatisme:

Le Cone Beam permet aussi de pouvoir visualiser les structures adjacentes à la dent. Il permet de mettre en évidence des fractures associées à la fracture radiculaire telles que les fractures de l'os alvéolaire qui ne sont pas diagnostiquées par les radiographies conventionnelles, comme on peut le voir dans **Figure V.23** et **Figure V.24**.



**Figure V.23:** radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la présence d'une fracture radiculaire horizontale de la 21.



**Figure V.24:** image issu du Cone Beam réalisé sur la 21

→Cone Beam réalisé sur la 21 vue précédemment, on peut voir qu'il y a aussi plusieurs fractures de l'os alvéolaire désignées par les flèches entourant cette dent .

→La radiographie intra-orale, c'est à dire la rétro-alvéolaire n'a qu'une faible sensibilité pour la détection de légers déplacements dentaires, radiculaires et pour les fractures alvéolaires. Cette limitation est causée par la projection géométrique, les superpositions des structures anatomiques

→Les traumatismes concernent dans 50% des cas seulement les dents, dans 36% des cas la dentition plus les tissus mous adjacents et dans 13 ,6% ils sont accompagnés de fractures alvéolaires ou maxillo-faciales .

→c'est pour cela que le Cone Beam peut s'avérer utile pour le diagnostic de traumatisme dento-alvéolaire, de par les informations qu'il nous fournit sur la nature exacte du traumatisme, la sévérité de la luxation dentaire et des fractures alvéolaires et cela en un seul scan. Le Cone Beam est une aide précieuse en traumatologie, il permet de faire un diagnostic précis et ainsi d'adopter la meilleure stratégie thérapeutique pour le patient .

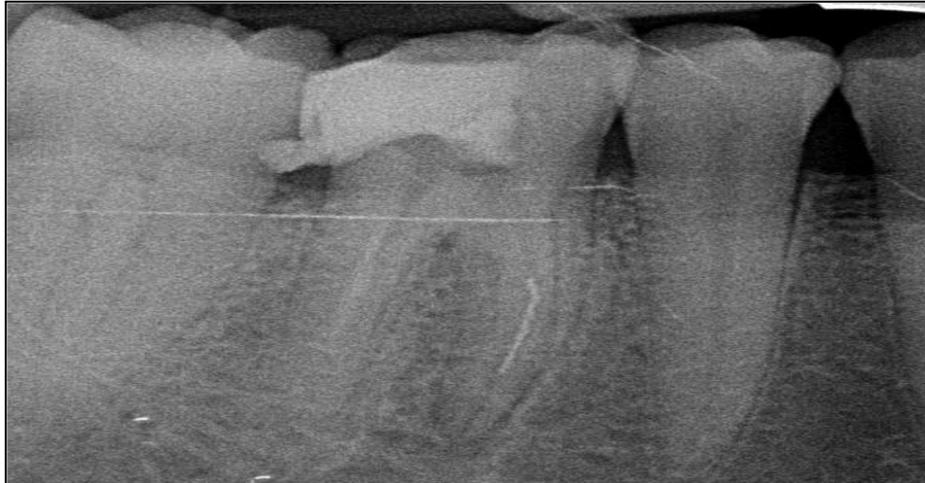
#### **V.2.5. L'analyse des instruments fracturés:**

→Une étude a permis de mettre en évidence l'apport du cone beam dans la décision thérapeutique du praticien. Une lime en acier inoxydable a été fracturée dans 40 molaires maxillaires puis une radiographie rétro-alvéolaire et un cone beam ont été réalisés sur chaque dent. Il a été demandé au clinicien, en fonction des examens radiologiques de choisir une option thérapeutique :

- Dépose du fragment
- Fragment laisser in situ
- Bypasser le fragment
- Approche chirurgicale pour dépose

→Les cliniciens qui ont analysé le CBCT ont dans la plupart des cas décidé de bypasser le fragment ou de le déposer. Les autres cliniciens, avec la radiographie rétro-alvéolaire, ont dans la plupart des cas décidé de laisser le fragment in situ. Donc la possibilité d'analyser la dent ainsi que le fragment dans les trois dimensions oriente les praticiens à procéder au bypass ou à la dépose par rapport à une analyse en deux dimensions.

→Donc al radiographie rétro-alvéolaire pré-opératoire ne permet pas de situer précisément la position de l'instrument. A cause de la superposition des structures anatomiques, il n'est pas possible de savoir si l'instrument est fracturé dans le canal mésio-vestibulaire ou dans le canal mésio-lingual d'une molaire mandibulaire par exemple.



**Figure V.25:** Instrument fracturé dans la racine mésiale d'une molaire mandibulaire

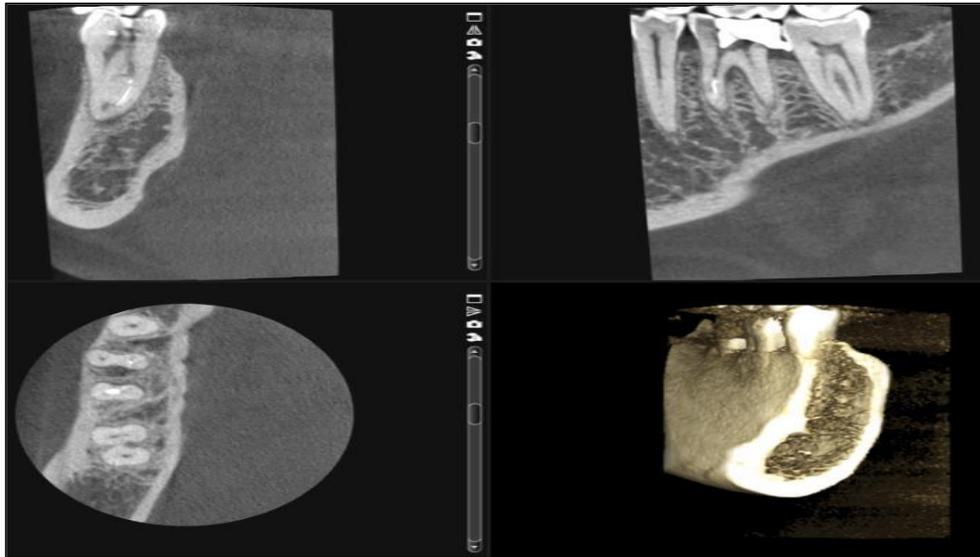
#### **V.2.5.1. La localisation tridimensionnelle:**

→Le Cone Beam permet une localisation du fragment fracturé dans les trois sens de l'espace grâce aux coupes dans le sens axial, coronal et para-sagittal. Chaque coupe présente son intérêt dans l'analyse du fragment instrumental.

→La coupe axiale permet de connaître dans le canal dans lequel est fracturé l'instrument.

→La coupe coronale permet de savoir si l'instrument se situe avant ou après la courbure. Sa position sera déterminante dans le choix de la technique de gestion de l'instrument. Le taux de dépose d'un instrument dans la partie coronaire est beaucoup plus élevé que dans la partie apicale.

La coupe para-sagittale confirme les informations mais permet également de visualiser parfaitement la zone apicale (permet également de distinguer dans quel canal est cassé l'instrument ainsi que sa position selon l'apex). Il est parfois difficile de savoir si un instrument va au delà de l'apex sur une radiographie en deux dimensions, le CBCT permet de distinguer parfaitement l'apex et ainsi choisir la technique la mieux adaptée pour la dépose.



**Figure V.26:** CBCT d'un instrument fracturé dans le canal mésio-vestibulaire(Source : Dr Sevin,2018)

### V.2.5.2. La dimension:

→La largeur de la partie coronaire du fragment est aussi importante à prendre en compte. Plus la partie coronaire est large, plus la quantité de dentine radicaire à éliminer pour le dégager est importante. Le risque de perforation ou de fragilisation de la racine est donc augmenté. La contre- indication à la tentative de retrait peut alors être posée.

→La longueur doit également être évaluée. Il est possible de mesurer la taille d'un instrument précisément avec le CBCT ce qui n'est pas fiable sur la radiographie en deux dimensions à cause de la déformation de l'image et du manque de précision du logiciel dans le calcul de la longueur du fragment.

### V.2.5.3. Apport du Cone Beam au choix de la technique:

→Le CBCT est un examen complémentaire, dont les indications sont limitées par la HAS. Il apparaît donc inutile de le réaliser lorsque l'instrument est fracturé dans le tiers coronaire ou lorsque le fragment est visible sans aide optique. Ainsi pour les dents antérieures, les canines ou prémolaires mandibulaires, le CBCT est dans la majorité des cas inutile.

→Lorsque l'instrument n'est pas visible directement, un CBCT est réalisé et son analyse conditionne le choix de la technique à adopter. Il permet de mesurer précisément les parois radiculaires et ainsi anticiper la perte de substance liée à la dépose. Si l'étude du CBCT laisse à penser que les techniques de dépose ou de bypass laisseront une épaisseur de dentine résiduelle trop faible, la décision de laisser .

→le fragment in situ ou de réaliser une chirurgie à rétro sera prise. L'apparition ou la persistance de pathologies (symptômes douloureux et/ou lésion péri apicale) indiquera la chirurgie.

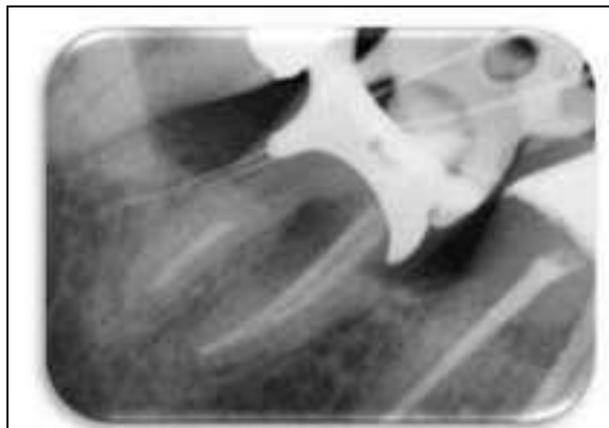
### V.2.6. Les perforations radiculaires:

→La radiographie rétro-alvéolaire est un complément essentiel au dépistage d'une perforation radiculaire.

→Cette dernière peut être mise en évidence sur le cliché par une zone radioclaire de discontinuité des tissus dentaires, au niveau d'une furcation ou d'une paroi radiculaire. Un second cliché avec une lime endodontique en place dans le canal confirme la communication avec le parodonte.



**Figure V.27:** perforation évidente du plancher pulpaire de cette molaire, visible par une zone radioclaire et la discontinuité des racines au niveau de la furcation.



**Figure V.28:** radiographie avec lime en place objectivant la présence d'une perforation de la racine distal.

→Toute fois la radiographie reste une image photographique assez difficile à exploiter.

→Elle est en effet bidimensionnelle. Cela signifie que les différentes profondeurs traversées par les rayons X se superposent sur le cliché final.

→De plus, la lecture se fait par interprétation de nombreuses nuances de gris. Il s'agit donc d'une image assez peu précise, à la lecture subtile et qui admet une marge d'erreur assez importante .

→Une perforation située sur l'axe vestibulo-palatin ou vestibulo-lingual d'une racine est invisible sur un cliché radiographique. Les informations données par la radiographie sur l'intégrité des parois radiculaires ne sont donc pas exhaustives.

→d'autres outils diagnostics sont aujourd'hui à disposition du chirurgien dentiste pour confirmer ou non la présence des perforations radiculaires.

#### V.2.6.1. Diagnostic des perforations par tomographie à faisceau conique:

La tomographie à faisceau conique permet de confirmer la présence d'une perforation radiculaire suspectée mais également de déterminer avec précision sa position ainsi que l'existence de défauts osseux associés.

Il permet à l'opérateur d'être confiant dans le diagnostic et dans le plan de traitement qui sera mis en place.

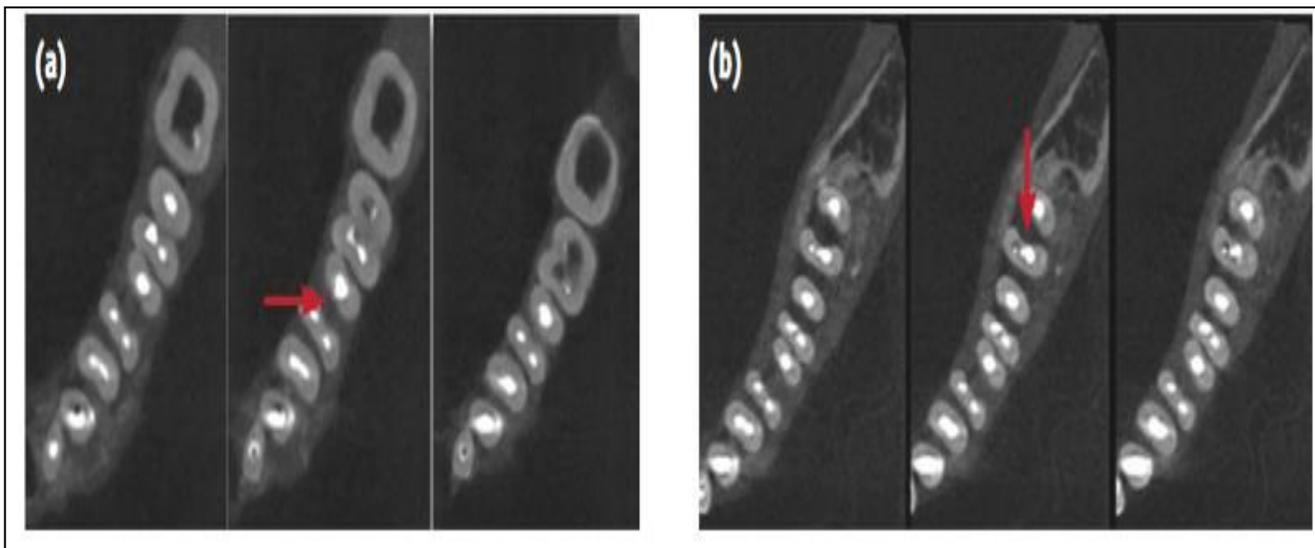


Figure V.29: CBCT d'une perforation en A et d'un stripping en B



**Figure V.30:** Radiographie rétro-alvéolaire orthocentrée d'une incisive centrale

→ Le trajet fistuleux mis en évidence par un cône de gutta percha prend son origine du côté distal et latéral de la racine.

→ **(b)** radiographie excentrée en mésial. Le tenon radiculaire semble avoir une direction trop vestibulaire par rapport à l'axe radiculaire.

→ **(c)** Image en coupe coronale de la même incisive obtenue par imagerie à faisceau conique. Une perforation vestibulaire de la racine est mise en évidence par discontinuité des tissus dentaires.

L'imagerie à faisceau conique constitue donc une aide précieuse au diagnostic de perforation endodontique lorsque son existence est soupçonnée.

### V.2.7. L'étude pré-chirurgicale endodontique:

→ l'endodontie chirurgicale est la réalisation du traitement endodontique par voie rétrograde, elle est différente de la simple résection apicale qui ne comprend pas d'obturation à retro. Son but est de retirer la lésion inflammatoire et les 3mm apicaux de la racine puis de préparer le canal radiculaire de manière rétrograde avant de l'obturer de manière étanche.

→ Comme toutes les interventions chirurgicales, l'endodontie chirurgicale nécessite une planification en amont de l'intervention. Une étude radiologique détaillée s'avère donc nécessaire pour prévoir l'approche chirurgicale, les difficultés que l'opérateur pourrait rencontrer et les complications éventuelles. La question à se poser est alors : la radiographie en 2D est-elle suffisante pour planifier ce type d'intervention et répondre aux questions suivantes ?

→ Les facteurs clés à étudier avant de réaliser une endodontie chirurgicale sont :

- La distance entre la corticale et la racine.

- La morphologie canalaire et le nombre de racines.
- La convergence ou la divergence des racines les unes par rapport aux autres.
- La relation avec les structures adjacentes, tels que le sinus ou le nerf alvéolaire inférieur.
- La relation entre la lésion et les dents et/ou les racines adjacentes.

→ Dans certains cas, la radiographie en 2D peut être suffisante, par exemple une incisive maxillaire sans complexité particulière. Mais dans de nombreux cas, la réalisation d'un Cone Beam s'avère indispensable pour l'analyse de l'anatomie.

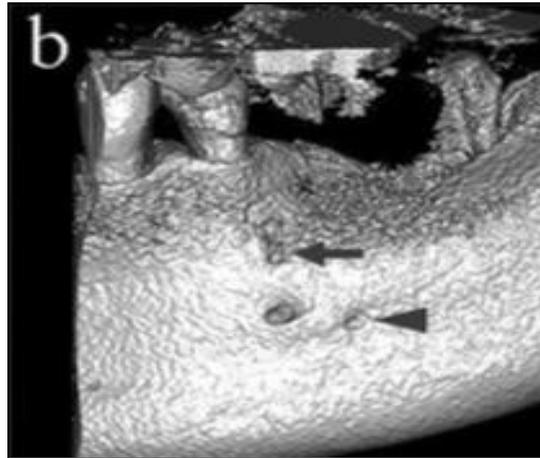
#### **V.2.7.1. L'analyse des relations avec les structures nobles:**

→ Dans le cadre d'une endodontie chirurgicale, il y a surtout deux structures nobles qui peuvent être lésées de manière iatrogène. Cela s'explique de par leurs rapports et leur proximité avec les apex des molaires maxillaires pour le sinus maxillaire, et les apex des prémolaires mandibulaires pour le nerf alvéolaire inférieur.

→ Le foramen mentonnier et le nerf alvéolaire inférieur: Le nerf alvéolaire inférieur est une structure noble qu'il ne faut surtout pas léser sous peine de créer un déficit sensitif de la région labio-mentonnière. Il chemine au sein de la branche horizontale de la mandibule, le plus souvent en position inférieure aux apex des dents. La réalisation d'un cone beam permet de mettre en évidence tout son trajet et ainsi de prévoir les possibles risques et difficultés opératoires. Si l'apex à traiter est en contiguïté avec le nerf alvéolaire inférieur alors l'intervention sera contre-indiquée.

→ La réalisation d'une rétro-alvéolaire permet de le mettre en évidence et d'apprécier son foramen et ses rapports avec les apex des dents. Mais il a été montré la présence dans certains cas de foramen mentonnier accessoire. Ce foramen mentonnier accessoire qui est en général d'un diamètre inférieur au foramen principal n'est pas objectivé sur une radio rétro-alvéolaire.

→ Sur le Cone Beam ci-dessous on peut noter la présence de deux foramina mentonniers accessoires, matérialisés par les flèches. Il est important de le mettre en évidence car dans le cas où il faudrait réaliser une chirurgie apicale sur la 35 le foramen mentonnier accessoire supérieur pourrait être à proximité de la zone d'ostéotomie de la chirurgie.



**Figure V.31:** image issue d'un Cone Beam mettant en évidence la présence de foramens mentonniers accessoires .

→ Pour conclure sur le foramen mentonnier accessoire, il semble important de confirmer sa présence ou absence par la réalisation d'un Cone Beam pour prévenir et éviter les lésions nerveuses du nerf alvéolaire inférieur lors de la réalisation de la chirurgie apicale .

→ Le sinus maxillaire: La réalisation d'une chirurgie endodontique sur une molaire maxillaire est un acte complexe, surtout si c'est la racine palatine qui est concernée par la lésion. Cela s'explique par la proximité de structure anatomique noble tel que le sinus maxillaire. Les images obtenues grâce au Cone Beam nous apportent de nombreux avantages dans l'analyse préopératoire et la planification de la chirurgie.

→ En effet Rigolone et coll ont mesuré dans une étude réalisée sur 43 molaires supérieures la fréquence à laquelle le sinus maxillaire se trouvait entre les racines vestibulaires et la racine palatine grâce au Cone beam. Leur étude nous indique que dans 25% des cas, le sinus maxillaire est présent entre les racines vestibulaires et la racine palatine .

→ Le Cone Beam joue un rôle primordial dans l'optimisation de la chirurgie endodontique de la racine palatine d'une molaire maxillaire par voie vestibulaire, afin d'éviter de faire un accès palatin qui est plus compliqué et qui possède plus de risques hémorragiques .

→ Les fosses nasales : Les fosses nasales sont un élément à prendre en considération lorsqu'une lésion péri- apicale touche les incisives maxillaires. De manière générale, les racines des incisives maxillaires sont à distance de la paroi des fosses nasales, 5 mm en moyenne. Mais la présence d'une lésion péri-apicale volumineuse peut réduire cette distance et nécessite des examens complémentaires, qui est comme le Cone Beam pour évaluer la distance entre la lésion et les fosses nasales. En effet, le curetage d'une lésion qui est trop proche de la paroi des fosses nasales peut entraîner une perforation de celle-ci et aboutir à un saignement de nez .

### V.2.8. La détection des caries proximales chez l'enfant:

→Au quotidien il est rare de réaliser des contrôles radiographiques systématiques chez les enfants, ceci dans le but de limiter leur exposition aux rayons X.

→Les études montrent que la radiographie révèle en moyenne 2 fois plus de lésions proximales atteignant la dentine que le simple examen visuel. La validité du diagnostic radiologique diminue avec la taille des lésions.

→La radiographie rétro-cronaire ou bite-wing est classée parmi les techniques qui peuvent apporter au praticien le maximum d'information. La précision et l'orientation du rayon incident font de la radiographie rétro-cronaire le cliché de choix pour le dépistage précoce de la carie, en particulier au niveau des faces proximales.

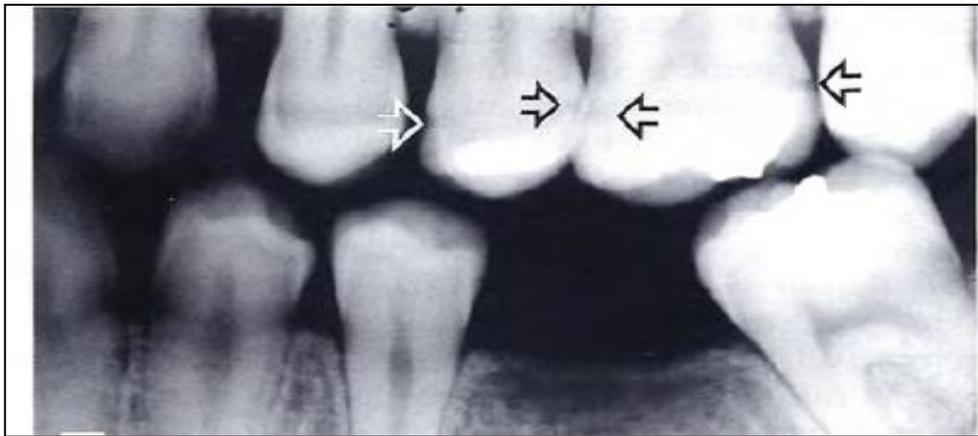


Figure V.32: radiographie rétro-cronaire montrant des lésions carieuses proximales (flèches)

#### ➤ Le guide des indications et des procédures des examens radiologiques en odontostomatologie de 2006 :

- Chez les enfants à faible risque carieux, seuls des clichés rétro-cronaires sélectifs initiaux des dents suspectes cliniquement doivent être réalisés. Un intervalle minimum de 12 à 18 mois en phase de denture temporaire ou mixte et de 24 mois en phase de denture permanente doit être appliqué.
- Si le risque carieux est modéré, un intervalle minimum de 12 mois entre deux examens radiographiques est recommandé.
- En présence d'un risque carieux élevé, les contrôles radiographiques peuvent être réalisés à un intervalle minimum de 6 mois jusqu'à ce que le risque carieux diminue.

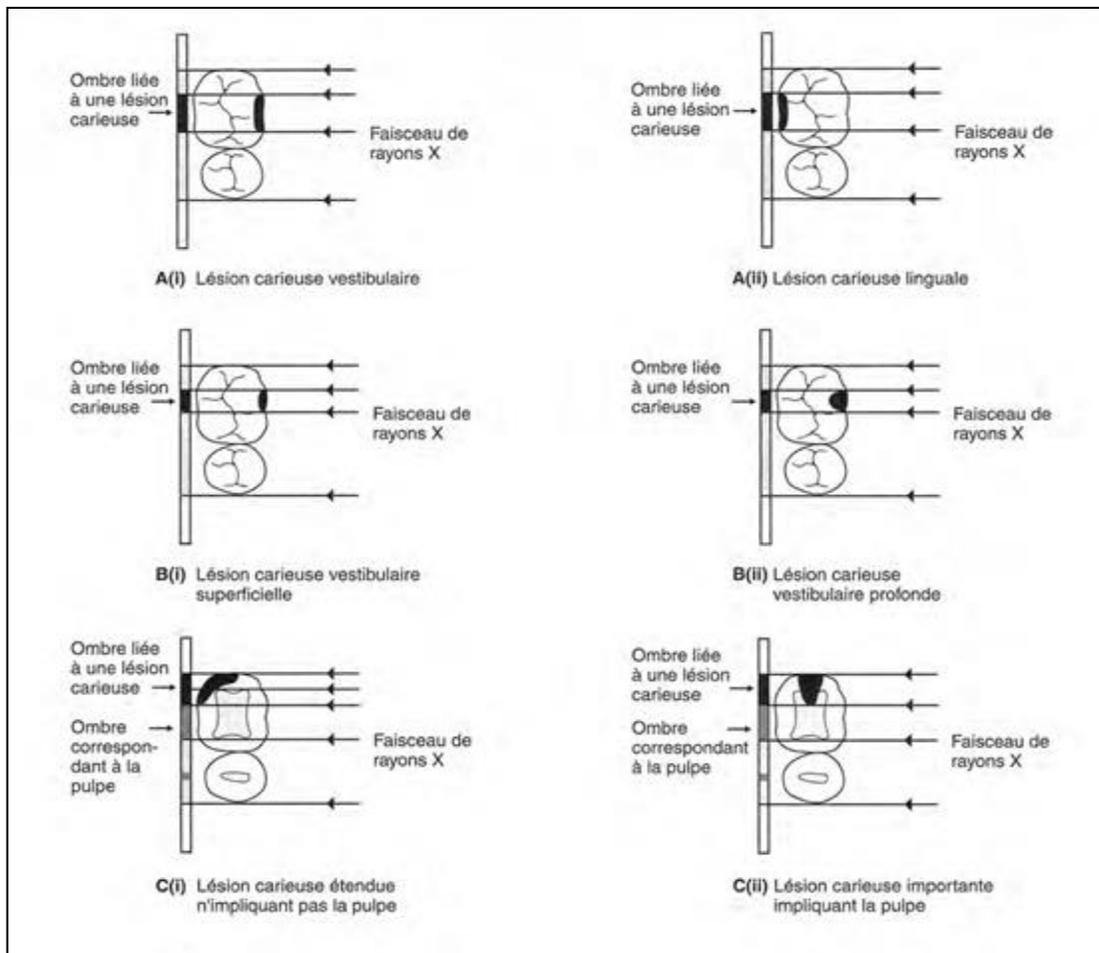
→Les radiographies qui seront utilisées pour suivre la progression de lésions carieuses doivent être géométriquement identiques, par conséquent elles nécessitent des porte récepteurs et des dispositifs de visée du faisceau. Elles doivent également être exposées de manière similaire pour fournir un contraste et une densité comparables. Les images numérisées reproductibles

géométriquement peuvent être superposées et comparées pour relever les modifications qui ont pu intervenir entre deux examens .

### **V.2.8.1. Limites de la radiographie de deux dimensions :**

→Les principaux problèmes incluent les éléments suivants:

- Les lésions carieuses sont généralement plus importantes cliniquement par rapport à leur apparence radiographique , et certaines lésions initiales ne sont pas évidentes à diagnostiquer ;
- Les variations techniques du récepteur d'image et des positions du faisceau de rayons X peuvent affecter considérablement l'apparence de lésions carieuses en modifiant l'angulation horizontale du tube radiogène , une lésion confinée cliniquement à l'émail peut apparaître comme ayant progressé au sein de la dentine d'où le besoin de techniques reproductibles et précises
- Les facteurs d'exposition peuvent avoir un effet considérable sur l'ensemble du contraste radiographique des images capturées sur des films et donc affecter l'apparence ou les dimensions des lésions carieuses sur le récepteur argentique ;
- Les superpositions et une image en deux dimensions ( numérisée ou argentique ) font que les caractéristiques suivantes ne peuvent pas toujours être déterminées
  - ✓ Site exact d'une lésion carieuse , par exemple vestibulaire ou linguale ,
  - ✓ Étendue vestibulo - linguale d'une lésion ,
  - ✓ Distance entre la lésion carieuse et les cornes pulpaires . Ces deux ombres peuvent apparaître proches , voire même en contact , mais il est fort probable qu'elles ne soient pas dans le même plan ,



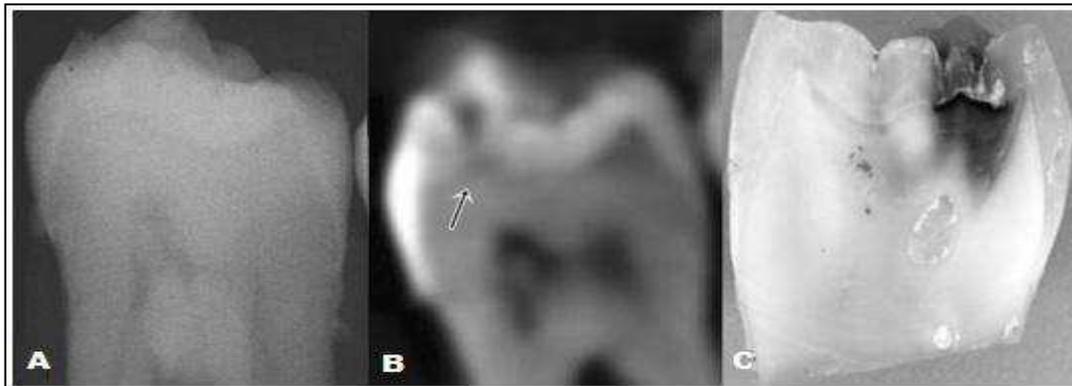
**Figure V.33:** Schémas montrant des lésions carieuses situées à des endroits différents

- A. ( i ) vestibulaire et ( ii ) lingual , produisant des apparences radiographiques similaires .
- B. Schémas montrant des lésions vestibulaires de différentes dimensions , ( i ) peu profonde et ( ii ) profonde , produisant des apparences radiographiques similaires .
- C. Schémas montrant ( i ) une volumineuse lésion proximale superposée sur la pulpe , mais n'impliquant pas la pulpe et ( ii ) une lésion proximale volumineuse impliquant la pulpe , les deux produisant des apparences radiographiques similaires .

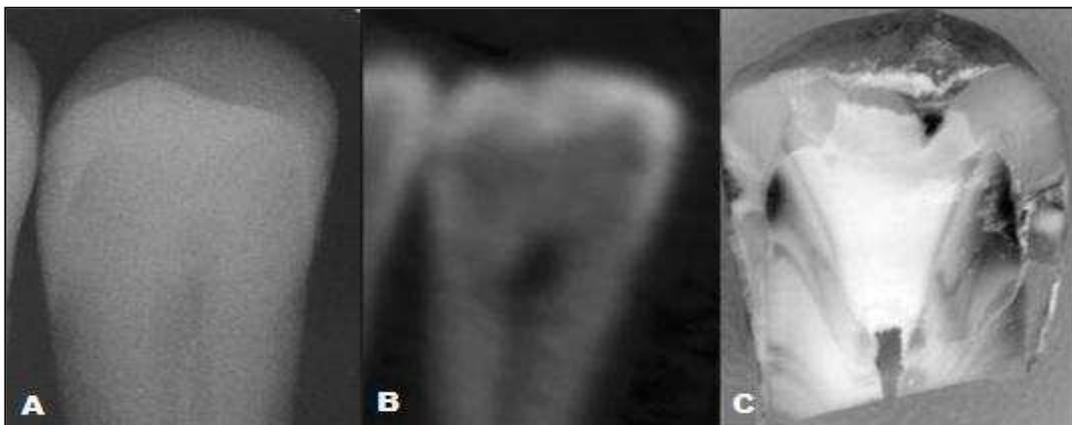
→ Si le cliché Bite-wing reste la référence dans ce cas précis certains auteurs ont démontré que le CBCT, du fait de sa haute résolution, pouvait surpasser la radiographie traditionnelle en 2D.

→ En effet l'imagerie Cone Beam apporte plus d'informations sur l'étendue des lésions (profondeur, rapport avec la chambre pulpaire) sur l'ensemble des arcades et ce en une seule rotation. Ce qui est une aide considérable lorsque l'on doit faire ce genre de diagnostic chez les enfants, souvent peu coopérants lors d'un bilan rétro-alvéolaire.

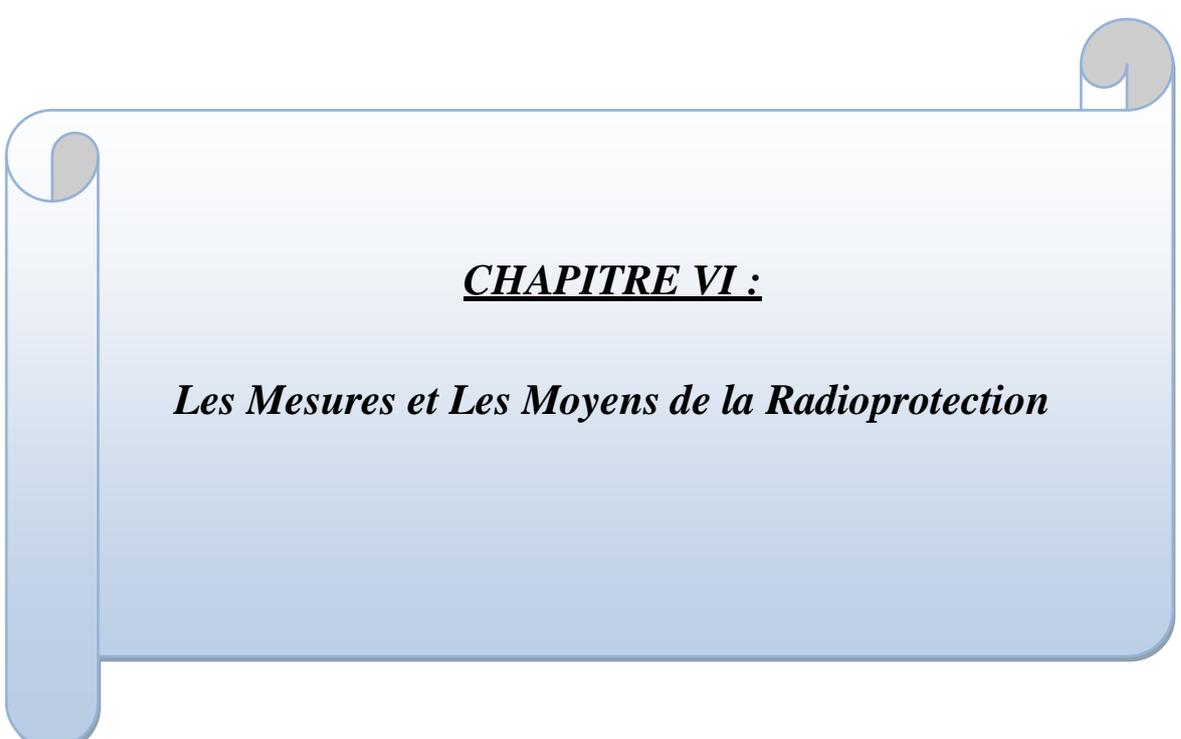
→ Ce pendant la littérature scientifique fait bien la différence entre la détection des caries occlusales qui semblent être nettement supérieur à l'aide du CBCT, et celle des caries proximales



**Figure V.34:** Carie occlusale d'une même dent. A: cliché radiologique conventionnel, B: imagerie CBCT, C: coupe histologique. Notons que la carie est bien plus visible au CBCT qu'à la rétro-alvéolaire



**Figure V.35:** Caries proximales d'une même dent. A: radiographie conventionnelle: imagerie CBCT, C: coupe histologique. Le CBCT ici apporte d'avantage d'indication sur le volume des caries proximales.



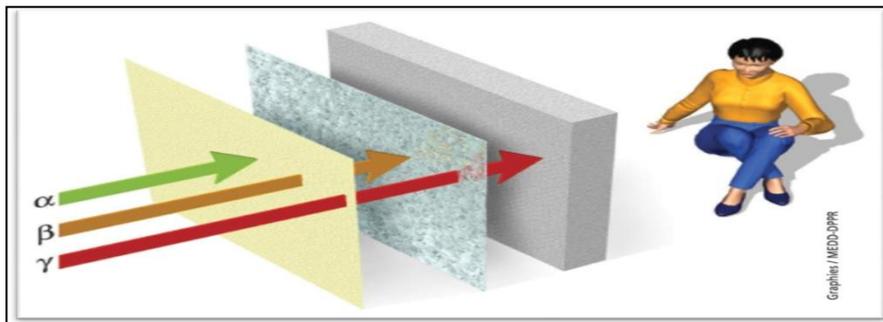
**CHAPITRE VI :**

***Les Mesures et Les Moyens de la Radioprotection***

## Chapitres VI. Les Mesures et Les Moyens de la Radioprotection

### VI.1. Les Rayons X et leurs effets biologiques :

L'Homme est en permanence exposé à des rayonnements d'origine naturelle ou artificielle. Parmi les 340 atomes différents présents dans la nature, 70 sont radioactifs (on les appelle radionucléides) et sont présents dans tous les milieux de l'environnement. Les rayonnements ionisants sont émis lors de la désintégration de ces radionucléides qui donne naissance à de nouveaux éléments, radioactifs ou non. Ils se présentent sous la forme de particules (alpha, de neutrons ou de rayons beta) ou de rayonnements électromagnétique comme les rayons X et les rayonnements gamma, utilisés en médecine. Ils sont appelés ionisants car l'énergie qu'ils génèrent est suffisamment importante pour ioniser les molécules.



#### VI.1.1. Les unités et les grandeurs dosimétriques:

##### VI.1.1.1. Les unités radiologiques:

✓ **Le gray (gy) :**

Est l'unité de dose absorbée, il représente une énergie de un joule absorbé par un Kilogramme de matière ( $1\text{Gy}=1\text{J/kg}$ )

✓ **Le rad :**

Une unité historique est encore utilisée:  $1\text{Gy} = 100\text{rad}$

✓ **Le rem :**

C'est l'unité de mesure des doses radioactives reçues par un homme.

**VI.1.1.2. Les grandeurs dosimétriques:**

Afin de voir les unités radiologiques, il faut définir certaines grandeurs qui représentent le nombre des particules ou de l'énergie passant en ce point ; le but donc de la dosimétrie est la traduction en termes de grandeur mesurable des effets des rayonnements ionisants, ces grandeurs sont dites grandeurs dosimétriques.

✓ **La dose absorbée :**

C'est la quantité d'énergie par unité de masse du matériel irradié (**J/kg**) Exprimé gray (**1Gy=1J/kg**)

✓ **Débit de dose absorbée :**

C'est la dose absorbée par unité de temps exprimé en (**gy/heure; rad/heure**).

✓ **Dose équivalente:**

Dose absorbée par le tissu ou l'organe.

✓ **Dose efficace :**

Définie par la somme de dose équivalente reçue aux niveaux des différents organes

**VI.1.2. L'origine des risques en radio-diagnostiques:****A. Le rayonnement primaire (direct) :**

Le faisceau de rayonnement émis par la source de RX constitue le rayonnement primaire.

Il est le plus dangereux ; concernant les patients, il convient d'utiliser que la partie utile en diaphragmant le faisceau et en délimitant le champ d'irradiation.

**B. Le rayonnement secondaire (diffusé) :**

Le rayonnement secondaire est issu de l'interaction du faisceau primaire avec le patient.

**C. Le rayonnement de fuite:**

A travers la gaine protectrice ou le diaphragme il provient d'un vice de construction de l'appareil, les normes de sécurité concernant l'appareillage vise à réduire ce danger et rendent obligatoire la vérification périodique des appareils émetteurs.

**VI.1.3. Les effets des RX sur l'organisme :****VI.1.3.1. Les effets biologiques :**

L'effet de l'interaction du rayonnement peut être directe, dans ce cas l'énergie est directement transférée à la molécule d'intérêt biologique, en l'occurrence l'adn, et peut être également

indirect. Dans ce cas, l'interaction a lieu avec les molécules d'eau, il se produit alors un phénomène appelé 'Radiolyse' de l'eau qui transforme l'eau en radicaux libres.

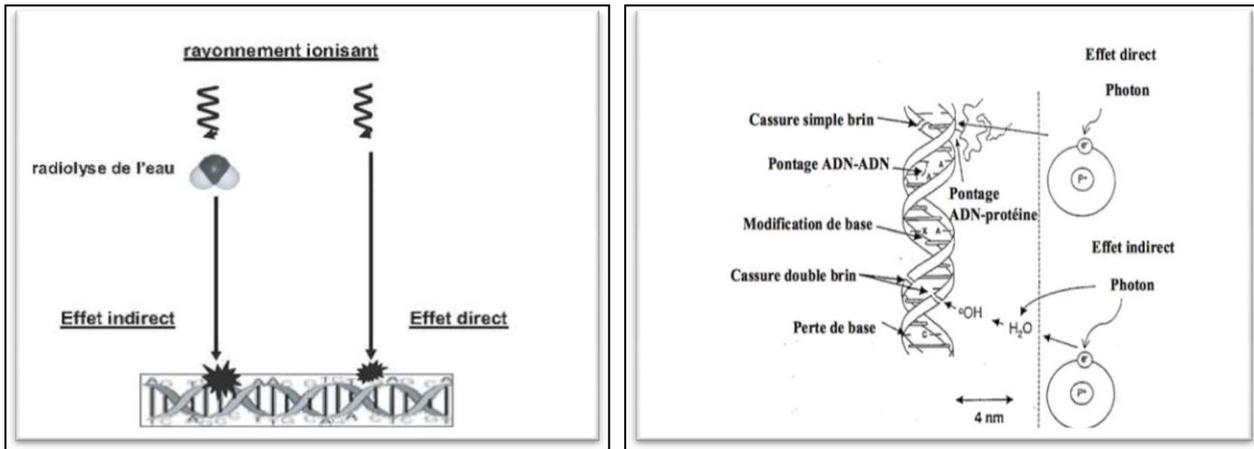


Figure VI.1: Effet direct et indirect du rayonnement ionisant sur l'ADN

VI.1.3.2. Les effets cellulaires :

Lorsque les cellules vivantes sont soumises à l'action des RX, on constate :

- Une altération fonctionnelle
- Une altération morphologique :

Les cellules subissent des atteintes plus au moins grave :

- Mort immédiate par nécrose de coagulation ou de liquéfaction
- Mort différée par suppression de la reproduction ou anomalies abortives de la division cellulaire.
- Suppression de la motilité
- Retard de la croissance
- Radio-mutation.

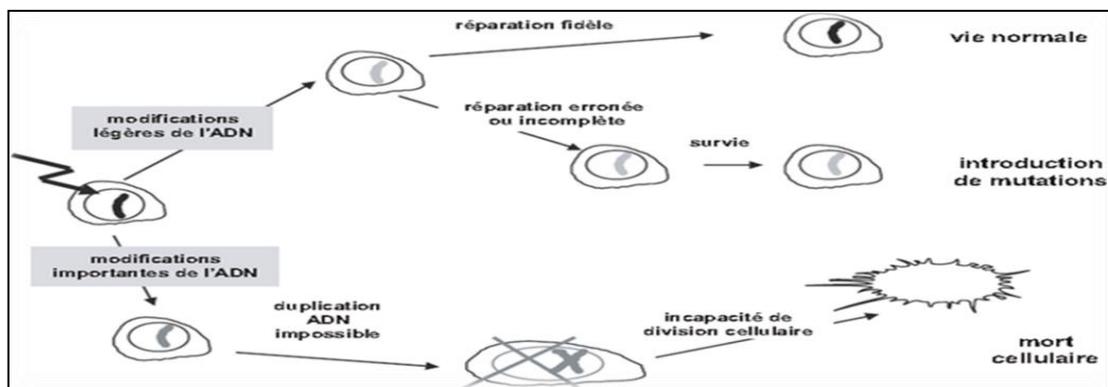


Figure VI.2: Devenir cellulaire suite à des modifications de l'ADN

**VI.1.3.3. Les effets tissulaires :**

Ils sont la conséquence des effets cellulaires et se manifestent dans les jours ou semaines qui suivent par : dépeuplement cellulaire, atrophie et dégradation des fonctions tissulaires....

➤ **Les effets sur l'homme :**

**A. Les effets déterministes :**

Une forte irradiation par des rayonnements ionisants provoque des effets immédiats sur les organismes vivants comme les brûlures plus ou moins importantes; En fonction de la dose et selon l'organe touché, le délai d'apparition des symptômes varie de quelques heures (nausées, radiodermites) à plusieurs mois. Des effets secondaires peuvent même être observés des années après une irradiation (fibroses, cataracte).

**B. Les effets stochastiques :**

Les expositions à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants peuvent avoir des effets à long terme sous la forme de cancers et leucémies dont La probabilité d'apparition de l'effet augmente avec la dose; Le délai d'apparition après l'exposition est de plusieurs années.

**C. Les effets cancérogènes :**

Le cancer est le principal risque tardif des irradiations dont Le pouvoir cancérogène des RX s'exerce de deux façon différentes, d'une part la cancérisation peut se produire par une irradiation localisée à forte dose, d'autre part on a put observer l'apparition de réticulopathie à la suite d'irradiation répétée de faible dose.

**D. Les effets tératogènes :**

La radiosensibilité de l'embryon et du fœtus varie selon le stade de l'évolution:



**Figure VI.3:** Bébé thalidomide

**E. Les effets génétiques :**

Ils sont dus à l'atteinte dans les cellules de la lignée germinale (géno-variation). La modification d'un gène peut entraîner dans la descendance de l'individu irradié, des mutations et celles-ci sont en générale très défavorables à l'espèce ou même létales



**Figure VI.4:** Enfant porte l'effet génétique

**VI.2. Les principes et les normes de la Radioprotection****Rappel réglementaire :**

- ✓ *La loi 88/07 :* rappelle les règles générales en matière d'hygiène et de sécurité en milieu de travail. Elle "Garantit la protection contre les fumées, vapeurs dangereuses, gaz toxiques et bruits, et toute autre nuisance"; Elle préconise aussi de Placer les travailleurs à l'abri du danger et hors des zones dangereuses par éloignement ou séparation par l'interposition de dispositifs d'une efficacité reconnue".
- ✓ *Le décret 91-05):* "Des visites, vérifications et entretiens périodiques selon des périodicités fixées par la réglementation en vigueur notamment dans le domaine des "Sources radioactives et appareils émettant des rayonnements ionisants".

**VI.2.1. La définition de la radioprotection :**

La radioprotection est l'ensemble des mesures destinées à assurer la protection sanitaire de la population et les personnes travaillant dans les différents domaines où les rayonnements ionisants interviennent.

**VI.2.2. Les Principes de la radioprotection:**

La radioprotection repose sur trois principes fondamentaux :

**VI.2.2.1. Le principe de justification :**

Signifie que toute activité impliquant une exposition au rayonnement ionisant doit être justifiée par les avantages qu'elle procure. Appliquée autrement dit que le médecin prescripteur doit juger si

l'examen est indispensable pour le patient : les avantages diagnostiques doivent dépasser les risques engendrés par l'exposition, pour cela les médecins sont obligés de prendre en considération :

- ✓ Les informations diagnostiques antérieures (carnet radiologique, est ce qu'il est nécessaire de refaire l'examen).
- ✓ Les techniques alternatives (tant qu'ils sont aussi efficaces et présentent peu de risques pour la santé)
- ✓ Les recommandations concernant les critères de prescription.
- ✓ La présence d'une éventuelle grossesse pour une prise de précautions bien spécifiques.

#### **VI.2.2.2. Le principe d'optimisation:**

Signifie que pour les activités satisfaisantes au principe de justification, il s'agit de réduire et de maintenir l'exposition du patient au rayonnement à un niveau de dose aussi faible que raisonnablement possible. Ce principe correspond au principe ALARA (As Low As Reasonably Achievable); En médecine ce principe signifie : une fois l'indication pour un examen radiologique posé, il faut prendre toutes les mesures possibles (règles de bonne pratique) pour que l'information diagnostique utile au patient soit acquise en maintenant l'exposition à un niveau aussi faible que possible, et celui-ci est appelé le processus d'optimisation de la technologie radiologique qui comporte :

- ✓ Le choix de l'équipement radiologique.
- ✓ La production régulière d'information diagnostique adéquate.
- ✓ Les aspects pratiques (règles de bonne pratique).
- ✓ L'assurance de qualité (y compris les contrôles réguliers des équipements et l'évaluation des doses au patient).

#### **VI.2.2.3. Le principe de limitation de dose:**

Signifie que les limites des doses réglementaires annuelles ou dose seuils ne doivent pas être dépassées, d'où il est primordial de faire des contrôles dosimétriques périodiques.

#### **VI.2.3. Les normes de la radioprotection:**

C'est l'ensemble des limites fixées à l'irradiation externe et à la contamination interne des organismes humains de façon qu'il ne résulte aucun dommage appréciable pour l'individu ou la population.

##### **VI.2.3.1. La delimitation des zones réglementées:**

Le décret n° 2003-296 du 31 mars 2003, relatifs à la protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants impose de respecter des règles techniques d'aménagement des lieux

de travail.

- ✓ Une zone réglementée est : tout lieu ou espace de travail autour d'une source de rayonnements ionisants, dûment identifié, faisant l'objet de mesures de prévention à des fins de protection des travailleurs contre les dangers des rayonnements ionisants émis par cette source.

Le but de la délimitation et de l'identification est de sectoriser les risques d'exposition, le principal risque étant le rayonnement diffusé.

Il faut distinguer deux zones : - une zone contrôlée

- une zone surveillée.

❖ **Zone contrôlée :**

Zone soumise à une réglementation pour des raisons de protection contre les rayonnements ionisants et de confinement de la contamination radioactive, et dont l'accès est réglementé.

Dans les établissements autorisés, toute zone, dans laquelle les **3/10** des limites de dose annuelle fixées pour les personnes professionnellement exposées sont susceptibles d'être dépassés, doit constituer une zone contrôlée ou y être incluse.

❖ **Zone surveillée :**

Zone faisant l'objet d'une surveillance appropriée à des fins de protection contre les rayonnements ionisants.

Dans les établissements autorisés, toute zone, dans laquelle un individu pourrait être soumis à une exposition susceptible d'entraîner des doses supérieures à l'une des limites de dose fixées pour les personnes du public et qui n'est pas considérée comme zone contrôlée doit constituer une zone surveillée ou y être incluse.

### **VI.2.3.2. La classification des travailleurs:**

On distingue quatre catégories de travailleurs exposés aux rayonnements ionisants :

- Les personnels de catégorie A
- Les personnels de catégorie B
- Les femmes enceintes
- Les mineurs en formation

- ✓ **La catégorie A** : le personnel directement affecté aux travaux sous radiation. Ce sont les travailleurs susceptibles de recevoir une dose supérieure au **3/10** de la limite de dose annuelle.
- ✓ **La catégorie B**: le personnel non directement affecté aux travaux sous radiation. Ce sont les travailleurs qui ne sont pas susceptibles de recevoir cette dose, ainsi que toute personne exerçant dans ces zones est considérée comme personne à l'exposition au rayonnement ionisante et doit être intégrée au programme de radio protection.
- ✓ **Les femmes enceintes**: l'enfant à naître doit bénéficier de la limite de dose applicable au grand public, soit 1msv sur 12 mois consécutifs.

Ainsi, toutes les dispositions doivent être prises pour que l'exposition de l'enfant de la travailleuse enceinte soit inférieure à cette limite de 1msv (dose efficace <1 msv) entre la déclaration de la grossesse et l'accouchement.

**Les mineurs en formations** : Des personnes de 16à18ans peuvent être autorisées à effectuer des travaux exposant aux rayonnements ionisants, dans le cadre de leur formation. Ils ne peuvent recevoir une dose supérieure à 6msv sur 12 mois consécutifs ou des doses équivalentes supérieures à 150msv pour les extrémités, 150msv pour la peau et 50msv pour le cristallin (comme les personnels de catégorie B).

### VI.3. Les moyens de la Radioprotection

#### VI.3.1. Les moyens de la radioprotection:

##### A. La blouse plombée :

C'est un tablier plombé, il se fait d'une façon qui permet de couvrir la face antérieure du corps, des clavicules jusqu'aux genoux à peu près, il a pour but protéger certains organes principaux et très sensibles au RX (poumons, seins,...etc.)



Figure VI.5: la blouse plombée

##### B. Tablier de radioprotection pédiatrique :

Tablier spécialement conçus pour la protection des jeunes patient durant les examens radiologiques dentaires. Protection avant et épaules 0.35 ou 0.50 mm, fermeture à l'arrière par scratch.



Figure VI.6: tablier de protection pédiatrique

##### C. Protège-gonades :

Permet la protection des organes génitaux de la femme et de l'homme

Lors des examens radiologique.

Sensiblement triangulaire adaptée a la morphologie humaine

Masculine et féminine, deux côtés de ce triangle sont légèrement

Arrondis pour permettre un bon positionnement entre les cuisses Et sur le bas-ventre. Décomposée en 7 tailles (du nouveau né À l'adulte)



Figure VI.7: protégé-gonades

**D. Visière et lunette de radioprotection :**  
 Masque et écran plombés anti-X dotés d'un écran  
 Acrylique imprégné de plomb pour la protection  
 Contre RX et muni d'un bandeau à double réglage.



**Figure VI.8:** visière de radioprotection

**E. Col thyroïdien de radioprotection :**  
 Le protège-thyroïde protège parfaitement l'utilisateur s'il est  
 Amené à changer de position par rapport à la source. La fermeture  
 Se fait à l'arrière du cou par un scratch (les 2 parties viennent se  
 Chevaucher ou se croiser en forme d' X).



**Figure VI.9:** col thyroïdien de protection

**F. Matériel destiné à réduire les dimensions du champ  
 d'irradiation:**

**-Diaphragme:**

Le diaphragme lumineux contribue de façon efficace à la protection contre l'irradiation: il est un  
 accessoire obligatoire à tout appareil à rayons X.



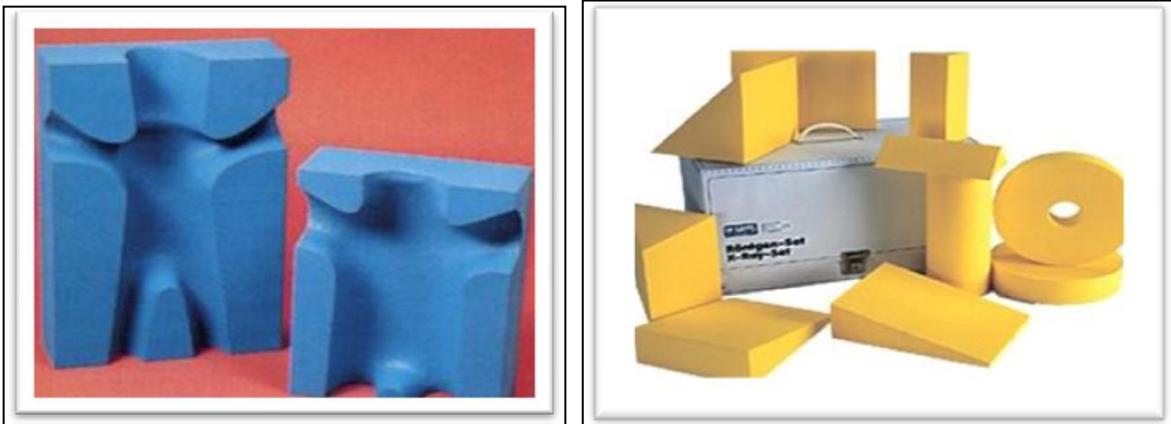
**Figure VI.10:** diaphragme

**-les cones localisateurs:**

Ce sont des dispositifs cylindriques, des troncs de pyramide ou plus souvent des troncs de cônes en plomb percés à leur extrémité supérieurd'un diaphragme dont la forme et les dimensions sont adaptées à leur longueur et à leur ouverture.

**VI.3.2. Les moyens de contention:**

La principale cause d'échec des examens en radiologie conventionnelle notamment chez les enfants et les malades agités (Polytraumatisés) proviennent du défaut d'immobilisation, quelques règles simples et un matériel peu onéreux permettent des clichés corrects et un gain de temps important, c'est le rôle principal des moyens de contention.

**-Les cales en mousse:**

**Figure VI.11:** calles mousse

**-Les sangles:**

**Figure VI.12:** les sangles

**Conclusion :**

La radioprotection est l'application de l'ensemble des mesures ainsi que l'utilisation des moyens mis à la disposition du personnel radiologique pour réduire les effets nocifs des Rayonnement Ionisant.

Les medecines dentistes doivent être conscient du danger réel qui les guette et doivent avoir cette culture du danger par des séances d'information et de sensibilisation sur ce dangeret comment ne protéger toute personne soumise à une dose de ces rayonnements.

### *Conclusion :*

L'imagerie radiographique constitue un complément souvent indispensable aux examens cliniques réalisés dans différentes spécialités médicales et stomatologiques.

En odontologie et notamment en endodontie, le clinicien y a recours de manière presque systématique pour poser des diagnostics fiables, suivre les traitements et évaluer les résultats obtenus.

Elle rend observables les structures endodontiques, mais également d'éventuelles pathologie radiovisibles. De même, elle constitue un élément médico-légal indispensable faisant partie intégrante du dossier de patient.

D'autre part, il s'agit d'une procédure irréversible qui peut avoir des effets biologiques et qui doit par conséquent avoir une justification médicale incontestable.

La radioprotection des patients est à considérer quel que soit l'examen envisagé. Le rapport bénéfices/ risques est à évaluer systématiquement.

***RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES***

- 1) Patel S, Dawood A. The use of cone beam computed tomography in the management of external cervical resorption lesions. *Int Endod J.* 2007;40(9):730–7.
- 2) Durack C, Patel S. The use of cone beam computed tomography in the management of dens invaginatus affecting a strategic tooth in a patient affected by hypodontia: a case report: Management of dens invaginatus using CBCT. *Int Endod J.* 2011;44(5):474–83.
- 3) Fuhrmann RA, Bücker A, Diedrich PR. Furcation involvement: comparison of dental radiographs and HR-CT-slices in human specimens. *J Periodont Res.* 199;32(5):409–18.
- 4) Souter, N. J., et H. H. Messer. « Complications associated with fractured file removal using an ultrasonic technique ». *Journal of endodontics* 31, no 6 (2005) : 450-52.
- 5) Fors, U. G., et J. O. Berg. « Endodontic treatment of root canals obstructed by foreign objects ». *International endodontic journal* 19, no 1 (1986) : 2-10.
- 6) Bellaiche N. (2008). Imagerie tridimensionnelle maxillo-faciale: indications respectives du scanner de la tomographie « Cone-Beam grand champ ». *La lettre de la Stomatologie*, (40), 4– 17.
- 7) Bravetti P. et Hodez C. Imagerie dento-maxillo-faciale par faisceau conique « cone beam » Montpellier, Sauramps médical, 2010. 1 vol. (251 p.)
- 8) ESPINOSA TORRES A. Micro-odontologia. Herramienta valiosa para lograr el sellado de perforaciones por desgaste en la furca. *Rev ADM*, 69 (5) : 240- 4, 2012
- 9) OCONITRILLO A, BARZUNA PACHECO M, BARZUNA ULLOA M. Reparación de perforación. Reporte de un caso clínico. *Odontol. Vital*, 18: 35- 40, 2013
- 10) HAGHANIFAR S, MOUDI E, MESGARANI A, BIJANI A, ABBASZADEH N. A comparative study of cone-beam computed tomography and digital periapical radiography in detecting mandibular molars root perforations. *Imaging Sci Dent*, 44 (2): 115- 9, 2014
- 11) Cavézian R & Pasquet G. Cone beam : imagerie diagnostique en odontostomatologie. Principes, résultats et perspectives. Elsevier Masson 2011, Issy-les-Moulineaux 1 vol. 272 p.
- 12) Charpentier E., Fay A., Vongmany N., & al. (2008). Évaluation (HTA ) de l' imagerie 3D à faisceau conique ( CBCT ) pour l' imagerie CBCT : généralités, 1–33.
- 13) COLLADO V, DALLEL R. Radiographie rétrocoronaire conventionnelle et numérique dans le diagnostic carieux : performances, limites. *Rev Odontostomatol*, 32 (4): 291- 302, 2003
- 14) C. Hodez, P. Bravetti. Imagerie dento-maxillo-faciale par faisceau conique “Cone beam.” Montpellier: Sauramps Médical; 2010.
- 15) Dawood A., Sauret-Jackson V., Patel S. (2010). A novel alignment device for cone beam computed tomography: principle and application. *Dento maxillo facial radiology*, 39(6), 375– 82.
- 16) Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of Cone Beam Computed Tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. *J Endod.* 2008;34(3):273–9.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

- 17) Lofthag-Hansen S, Huuonen S, Gröndahl K, Gröndahl H-G. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(1):114–9.
- 18) Low KMT, Dula K, Bürgin W, von Arx T. Comparison of periapical radiography and limited Cone-Beam Tomography in posterior maxillary teeth referred for apical surgery. *J Endod.* 2008;34(5):557–62.
- 19) Foucart J.-M., Felizardo R. & Pizelle C. (2012). La radioprotection en orthodontie : données utiles. *L' Orthodontie française*, 83(1), 3–10.
- 20) Ørstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Dent Traumatol.* 1986;2(1):20–34.
- 21) Estrela C, Bueno MR, Azevedo BC, Azevedo JR, Pécora JD. A New Periapical Index Based on Cone Beam Computed Tomography. *J Endod.* 2008;34(11):1325–31.
- 22) Gao, Y., Shen, X. Zhou, et M. Haapasalo. « Remaining root dentin thickness in mesiobuccal canals of maxillary first molars after attempted removal of broken instrument fragments : broken instrument fragment removal ». *Australian endodontic journal* 41, no 3 (2015) : 122-27. <https://doi.org/10.1111/aej.12103>.
- 23) Matherne RP, Angelopoulos C, Kulild JC, Tira D. Use of Cone-Beam Computed Tomography to identify root canal systems in vitro. *J Endod.* 2008;34(1):87–9.
- 24) Patel S, Durack C, Abella F, Roig M, Shemesh H, Lambrechts P, et al. European Society of Endodontology position statement: The use of CBCT in Endodontics. *Int Endod J.* 2014;47(6):502–4.
- 25) Patel S. The use of cone beam computed tomography in the conservative management of dens invaginatus: a case report. *Int Endod J.* 2010 24;43(8):707–13.
- 26) Gopal et al. , « Endodontic treatment of bilateral maxillary first premolars with three roots using CBCT : a case report », 2014
- 27) Hodez C. & Hauret L. (2011). Le point sur ... Nouveauté en radiologie dento-maxillofaciale : la tomographie volumétrique à faisceau conique. *Journal de Radiologie*, (90), 604–617.
- 28) Cohenca N, Simon JH, Roges R, Morag Y, Malfaz JM. Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma. Part 1: traumatic injuries. *Dent Traumatol.* 2007;23(2):95–104.
- 29) Junqueira RB, Verner FS, Campos CN, Devito KL, do Carmo AMR. Detection of Vertical Root Fractures in the Presence of Intracanal Metallic Post: A Comparison between Periapical Radiography and Cone-beam Computed Tomography. *J Endod.* 2013;39(12):1620–4.
- 30) Tsesis I, Rosen E, Tamse A, Taschieri S, Kfir A. Diagnosis of vertical root fractures in endodontically treated teeth based on clinical and radiographic indices: a systematic review. *J Endod.* 2010;36(9):1455–8.
- 31) Patel S, Durack C, Abella F, Shemesh H, Roig M, Lemberg K. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review. *Int Endod J.* 2015;48(1):3–15.
- 32)

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

- 33) Brady E, Mannocci F, Brown J, Wilson R, Patel S. A comparison of cone beam computed tomography and periapical radiography for the detection of vertical root fractures in nonendodontically treated teeth. *Int Endod J.* 2014;47(8):735–46.
- 34) Patel S, Brady E, Wilson R, Brown J, Mannocci F. The detection of vertical root fractures in root filled teeth with periapical radiographs and CBCT scans. *Int Endod J.* 2013;46(12):1140–52.
- 35) Wang P, Yan X, Lui D, Zhang W, Zhang Y, Ma X. Detection of dental root fractures by using cone-beam computed tomography. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2011 ;40(5):290–8.
- 36) Kamburoğlu K, İlker Cebeci AR, Gröndahl HG. Effectiveness of limited cone-beam computed tomography in the detection of horizontal root fracture. *Dent Traumatol.* 2009;25(3):256–61.
- 37) Patel S. New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. *Int Endod J.* 2009;42(6):463–75.
- 38) Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J.* 2007;40(10):818–30.
- 39) Cochet JY. Pathological root resorptions and their treatments. *Rev Fr Endod.* 1988;7(2):29–43.
- 40) Durack C, Patel S, Davies J, Wilson R, Mannocci F. Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption. *Int Endod J.* 2011;44(2):136–47.
- 41) Creanga AG, Geha H, Sankar V, Teixeira FB, McMahan CA, Noujeim M. Accuracy of digital periapical radiography and cone-beam computed tomography in detecting external root resorption. *Imaging Sci Dent.* 2015;45(3):153.
- 42) Maini A, Durning P, Drage N. Resorption: within or without? The benefit of Cone-Beam Computed Tomography when diagnosing a case of an internal/external resorption defect. *Br Dent J.* 2008;204(3):135–7.
- 43) Cavézian R, G. Pasquet. *Imagerie et diagnostic en odonto-stomatologie.* Masson.
- 44) Article de l'association dentaire canadienne.
- 45) TORABINEJAD M, WALTON RE, FOUAD A, LEVY G. *Endodontie: Principes et pratique.* Issy-les Moulineaux: ELSEVIER MASSON; 2016. 512 p).
- 46) KASAHARA E, YASUDA E, YAMAMOTOA, ANZAI M. Root canal system of the maxillary central incisor. *J Endod* 1990;16:158-61).
- 47) Guide clinique d'odontologie de R. Zunzarren © 2019, Elsevier Masson SAS ISBN : 978-2-294-76028-0 e-ISBN : 978-2-294-76090-7 Tous droits réservés.).
- 48) KASAHARA E, YASUDA E, YAMAMOTOA, ANZAI M. Root canal system of the maxillary central incisor. *J Endod* 1990;16:158-61.).
- 49) PAUL M. H. DUMMER, JOHN H. McGINN & DAVID G. REES Department of Conservative Dentistry, Dental School, Welsh National School of Medicine, Heath Park, Cardiff. The position and topography of the apical canal constriction and Apical foramen. *international endodontic journal* (1984) 17, 192-198).
- 50) Opsahl Vital S. Formation et physiologie de la dent permanente immature: les

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

- répercussions cliniques. *L'orthodontiste* 2015;4(3):32-8.).
- 51) H. M. A. AHMED<sup>1</sup>, M. A. VERSIANI<sup>2</sup>, G. DE-DEUS<sup>3</sup> & P. M. H. DUMMER<sup>4</sup>. A new system for classifying root and root canal morphology.
- 52) Weine F. *Endodontic therapy*. ed 5 Mosby: St Louis; 1996, p. 243).
- 53) De Deus QD. Frequency, location and direction of the lateral, secondary and accessory canals. *J Endod.* 1975; 1 (11): 361-6.
- 54) Slowey R. Radiographic aids in the detection of extra root canals. *Oral Oral Med Oral Pathol* 1974;37:762.
- 55) Fejerskov, 1997; Pitts et coll., 2017 caries.
- 56) Walton R. Endodontic radiographic techniques. *Dent Radiogr Photogr* 1973;46:51.
- 57) Richards AG. The buccal object rule. *Dent Radiogr Photogr* 1980;53:37.
- 58) Gérôme WATTS. Evaluation statistique retrospective de l'état bucco-dentaire de la population lorraine portant sur 893 orthopantomogrammes. Académie de Nancy - Université Henri Poincaré; 2011.
- 59) Akarslan ZZ, Erten H, Güngör K, Celik I. Common errors on panoramic radiographs taken in a dental school. *J Contemp Dent Pract.* 15 mai 2003;4(2):2434.
- 60) M. Mailland. *Techniques de radiologie dentaire*. Masson.
- 61) R. Cavézian, Pasquet G, G. Bel, G. Baller. *Imagerie dento-maxillaire - Approche radio-clinique*. Masson.
- 62) Gérôme WATTS. Evaluation statistique retrospective de l'état bucco-dentaire de la population lorraine portant sur 893 orthopantomogrammes. Académie de Nancy - Université Henri Poincaré; 2011.
- 63) *Hauret L. et coll. Imagerie dento-maxillo-faciale. Radiologie conventionnelle analogique et numérique. Échographie. 2006.*
- 64) HAS. *Tomographie volumique a faisceau conique de la face (cone beam computerized tomography) Rapport d'évaluation technologique. 2009 (p. 74).*
- 65) Maloney K., Bastidas J., Freeman K., Olson T. R., & Kraut R. *Cone beam computed tomography and SimPlant materialize dental software versus direct measurement of the width and height of the posterior mandible: an anatomic study. Journal of oral and maxillofacial surgery, 2011, 69(7), 1923-9. 65.*
- 66) HAS. (2009). *Tomographie volumique a faisceau conique de la face (cone beam computerized tomography). 2009; Avis sur les actes.*
- 67) Ball RL, Barbizam JV, Cohenca N. *Intraoperative endodontic applications of cone-beam computed tomography. J Endod.* 2013; 39: 548–557.
- 68) Mao T, Neelakantan P. *Three-dimensional imaging modalities in endodontics. Imaging Science in Dentistry. 2014; 44: 177-183.*
- 69) Patel S, Durack C, Abella F, Shemesh H, Roig M, Lemberg K. *Cone beam computed tomography in Endodontics - a review. International Endodontic Journal; 2015; 48: 3–15.*
- 70) Shah N et coll. Recent advances in imaging technologies in dentistry. *World Journal of Radiology.* 2014; 6: 794-807.
- 71) Cavézian R, Pasquet G. *Imagerie Cone Beam et implants. Revue de Stomatologie et de*

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

- Chirurgie Maxillo-faciale. 2012; 113: 245-258.*
- 72) Hodez C, Griffaton-Taillandier C, Bensimon J-L. *Imagerie par faisceau conique << cone beam >>. Applications en ORL. Annales françaises d'Oto-rhino-laryngologie et de Pathologie Cervico-faciale.2011; 128: 77-91.*
- 73) ABRAHAMS J.J. Dental CT Imaging. A look at the jaw. *R a d i o l o g y* 2001;219:334-345.
- 74) LACAN A. Nouvelle imagerie dentaire, Ed. CDP, Paris 1993.
- 75) CAVEZIAN R. et PASQUET G., 2005. L'imagerie médicale en odontologie. Paris : Editions CdP, 183 p.
- 76) GOREN A.D., LUNDEEN R.C., DEAHL II S.T., et al., 2000. Updated quality assurance self-assessment exercise in intraoral and panoramic radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 89(3), 369-374.
- 77) MOURSHED F. et MCKINNEY A.L., 1972. A comparison of paralleling and bisecting radiographic techniques as experienced by dental students. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 33(2), 284-296..
- 78) PATEL J.R. et GREER D.F., 1986. Evaluating student progress through error reduction in intraoral radiographic technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 62(4), 471-474.
- 79) Diangelis AJ, Andreasen JO, Ebeleseder KA, et al. International Association of Dental Traumatology guidelines for the management of traumatic dental injuries Part 1. Fractures and luxations of permanent teeth. *Dent Traumatol* 2012;28:2-12.
- 80) Andreasen JO, Andreasen FM, Bakland L, et al. *Traumatic dental injuries: a manual.* ed 2 Oxford, UK: Blackwell Munksgaard; 2003.
- 81) Cohenca N, Simon JH, Roges R, et al. Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma Part 1. Traumatic injuries. *Dent Traumatol* 2007;23:95-104.
- 82) Bakland LK, Andreasen JO. Examination of the dentally traumatized patient. *J Calif Dent Assoc* 1996;24:35-7 40-44.
- 83) Andreasen JO, Andreasen FM. Root fractures. In: Andreasen JO, Andreasen FM, editors. *Textbook and color atlas of traumatic injuries to the teeth.* ed 3 Copenhagen: Munksgaard; 1994.
- 84) Bender IB, Freedland JB. Clinical considerations in the diagnosis and treatment of intra-alveolar root fractures. *J Am Dent Assoc* 1983;107:595-600. 60. May J, Cohenca N, Peters OA. Contemporary.
- 85) Klein R, Blake S, Nattress B, et al. Evaluation of x-ray beam angulation for successful twin canal identification in mandibular incisors. *Int Endod J* 1997;30:58.
- 86) Andreasen JO. External root resorption : its implication in dental traumatology, pedodontics, periodontics, orthodontics and endodontics. *Int Endod J* 1985 ; 18 : 109-118.
- 87) De Cort S, Lambrechts P. Les résorptions radiculaires internes. *Real Clin* 1995 ; 6 : 227-237.
- 88) Arens D, Gluskin AH, Peters CI, Peters OA. Radiographic examination and interpretation. In : *Practical lessons in endodontic treatment.* Hanover Parc : Quintessence Publishing Co, Inc., 2009.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

---

89) Bhaskaran V, Qualtrough AJ, Rushton VE, Worthington HV, Horner K. A laboratory comparison of three imaging systems for image quality and radiation exposure characteristics. *J Endod* 2007 ; 33 : 1121-1132.

90) Elsevier Masson SAS, 65, rue Camille-Desmoulins, 92442 Issy-les-Moulineaux cedex, France

Essentials of Dental Radiography and Radiology ©2013 Elsevier Ltd. All rights reserved.

First edition 1992.

Second edition 1996 Third edition 2002 Fourth edition 2007 Fifth edition 2013

ISBN: 978-0-702-04599-8.

*Radiographie et radiologie dentaires, 1 édition de Eric Whaites et Nicholas Drage. ©2019, Elsevier Masson SAS.*

ISBN: 978-2-294-74352-8 e-ISBN: 978-2-294-74866-0

91) IRSN. Recommandations 2007 de la Commission internationale de protection radiologique. Disponible sur : <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP> Publication 103

92) SEDENTEXCT project. (2011). Protection: Evidence Based Guidelines 2011, 1–139. Retrieved disponible sur: [www.sedentexct.eu](http://www.sedentexct.eu)

93) Alrahabi M, Zafar MS. Evaluation of root canal morphology of maxillary molars using cone beam computed tomography. *Pak J Med Sci [Internet]*. 2015 Jan 28 31(2). <http://pjms.com.pk/index.php/pjms/article/view/6753>

94) Tyndall, D., et H. Kohltfarber. « Application of cone beam volumetric tomography in endodontics : Application of CBVT in endodontics ». *Australian dental journal* 57 (2012) : 72-81. <https://doi.org/10.1111/j.1834-7819.2011.01654.x>.

95) 1) <https://hopitauxnord-u-pariscite.aphp.fr/medecine-bucco-dentaire-louis-mourier/odontologie-conservatrice-endodontie/>.

96) 2) <http://www.planmeca.com/fr/Imagerie-dentaire/Imagerie-3D/Planmeca-ProMax-3D-Max>.

97) 3) <http://www.en.meteks.com.tr/urun-detay/53/cone-beam-ct-for-foot-ankle>.