

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE SAAD DAHLEB –BLIDA 1-

FACULTE DE MEDECINE

DEPARTEMENT DE MEDECINE DENTAIRE



L'APPORT DE L'IMAGERIE 3D « CONE BEAM » EN ENDODONTIE

Mémoire de fin d'étude Présenté en vue de l'obtention du diplôme de
Docteur en médecine dentaire

- Présenté par :

Cherief Marwa

Latrouci Aya

Ouazene Amira

Rebiai Fatima Zahra

Si Saber Asma

Tadjerouni Sara

Promotrice: Dr. GRIBALLAH. M, Maitre assistante au service d'odontologie
conservatrice et endodontie.

- Devant le jury :

Présidente : Pr Hadji. Z

Examinatrice : Dr Zaidi. A

Année Universitaire : 2020/2021

Remerciements

En préambule de ce mémoire nous remercions Allah le tout puissant et miséricordieux qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à :

Notre promotrice :

Dr. Griballah. M

Maitre assistante au service d'odontologie conservatrice et endodontie

Nos remerciements les plus chaleureux vont à notre maîtresse et promotrice de nous avoir encadré, aidé et orienté, aussi pour sa patience, sa disponibilité et ses judicieux conseils tout au long de ce travail, nous sommes très heureuses d'exprimer notre profonde gratitude pour tous ses efforts qui nous ont permis de structurer et d'améliorer ce travail. Un grand merci à vous Dr, à travers ce travail ; veuillez trouver l'expression de notre profond respect ainsi que notre gratitude.

Notre présidente de jury

Pr. Hadji. Z

Professeur au service d'odontologie conservatrice et endodontie

*Pour nous avoir fait l'honneur d'accepter de présider notre jury.
Pour votre rigueur et vos compétences qui permettent de chercher toujours à progresser. Nous avons eu l'honneur d'être parmi vos élèves et de bénéficier de votre riche enseignement. Veuillez trouver ici, l'expression de notre grand respect.*

Notre jury :

Dr. Zaidi. A

Maitre assistante au service d'odontologie conservatrice et endodontie

Nous sommes très honorées de vous voir siéger dans notre jury. Nous vous sommes très reconnaissantes pour la qualité de formation que vous nous avez fournit pendant notre cursus. Veuillez trouver à travers ce travail, le témoignage de notre reconnaissance et de notre profond respect.

En tout premiers lieu je remercie le bon Dieu tout puissant de m'avoir donné la force et l'audace pour dépasser toutes les difficultés, permis de mener à bien ce travail.

*A ma très chère maman **FADHELA***

Quoi que je fasse ou quoi que je dise je ne saurai point te remercier comme il se doit, ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés à toujours été ma source de force pour affronter les obstacles de la vie.

*A mon très cher père **MOHAMED***

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Une chose est sûre, je n'aurais rien pu faire sans toi. Sache papa que cette main tendue restera à jamais dans mon cœur. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

*A mes chers frères **AHMED** et **IBRAHIM** et à mes chères sœurs **HAMIDA** et **SIHEM** ainsi que ma chère **ANNA** et à toute la famille **CHOHRA** et surtout ma tante **FATIMA** et à ma copine **YASSAMINA**, à tout ceux qui me sont chers, puisse DIEU vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite. Et je remercie spécialement mes chères collègues **AYA** et **SARA** j'ai beaucoup apprécié votre compagnie, je vous souhaite plus de succès.*

Cherief Marwa

A l'aide de DIEU, le tout puissant, ce travail est achevé ; je le dédie à toutes les personnes qui me sont chères :

*A mes chers parents « **Miloud et Naima** », qui ont toujours été là pour moi et pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études, que dieu leurs procure longue vie et bonne santé.*

*A mes grands-parents paternels « **Ali et Aicha** » et maternels « **Amer et Zohra** » qui me comblent avec leur soutien. Vous êtes les meilleurs ; que dieu vous garde.*

*A mes chers frères « **Kimo et Wassim** » pour leurs appui et leurs encouragement.*

*A toute la famille « **Latrouci** » ainsi que la famille « **Allouache** » pour leurs soutien tout au long de mon parcours universitaire. Un grand merci à ma tante « **Nadjia** » qui m'a soutenue et encouragée durant ces années d'études.*

*A docteur « **Ahmed Ghafari** », merci pour votre aide et vos précieux conseils.*

*A la famille de ma copine Sara et spécialement sa sœur « **Karima** », merci pour votre soutien, le grand plaisir vous revient en premier lieu pour vos conseils, aides et encouragement durant tout notre parcours. A mes chères copines de chambre, avec lesquelles je partage toujours les moments les plus délicats « **Sara et Marwa** » je vous aime et je vous souhaite tout le succès du monde. A mes chères amies « **Hadjer, Samira, Nardjes, Rihab, Siham, Houda, Moufida** » et ma cousine l'adorable « **Rima** » je vous dis merci et je vous souhaite beaucoup de bonheur et de réussite. A mon groupe de mémoire, ça me fait plaisir de travailler avec vous.*

Latrouci Aya

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour :

*A celle qui m'arrosé de tendresse et d'espoir, à la source d'amour incessible, à la mère des sentiments fragiles qui m'a bénie par ses prières.....ma chère mère « **Houria** ».*

*A mon support dans la vie, qui m'a appris, m'a supporté et m'a dirigé vers la gloire.....mon cher papa « **Rachid** ».*

*A mon frère « **Mohamed** », mes sœurs « **Meriem** » et « **Chérifa** » qui m'ont toujours soutenu et encouragé durant mes années d'études.*

*A mes petits princes « **Abd Alaali** » et « **Yaniss** », ma petite princesse « **Célia** ».*

*Sans oublier notre promotrice « **Dr Griballah** » et mon groupe de mémoire : une appréciation particulière d'avoir contribué à ce modeste travail à vos côtés.*

Ouazene Amira

Je dédie ce modeste travail à :

*Mon cher papa **SALEH** aucun mot ne peut décrire l'amour, l'estime et le respect que j'ai dans mon cœur pour toi, je t'adore ma source d'efforts et la flamme de mon cœur.*

*Ma mère et ma tante **LALIA** mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celles Qui se sont toujours sacrifiées pour me voir réussir.*

*Mes frères, ma chère sœur **ROMAISSA** et mon petit ange **IBRAHIM**.*

*Mes chères **RIHEB** et **HADJER** qui n'ont jamais cessé de m'encourager, je suis très fière de vous avoir dans ma vie.*

*Ma chère **HADJOURA** et mes amis qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible.*

Toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

Rebiai Fatima Zahra

J'adresse mes sincères remerciements à :

***Mes parents** tout d'abord, qui ont œuvré pour ma réussite, merci pour toutes les valeurs nobles, l'assistance et le soutien permanent venu de vous, recevez à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mon éternelle gratitude.*

***Mes sœurs et mon frère** à tous les moments d'enfance passés avec vous, en gage de ma profonde estime pour l'aide que vous m'avez apporté, vous m'avez toujours soutenu, puissent nos liens fraternels se consolider et se pérenniser encore plus.*

*Toute la famille **Si Saber** et **Sidi-Moussa** pour leur présence et leur attachement, surtout **mon oncle et mes grand-parents**.*

*A mon tuteur **Dr. Letaeif** pour avoir partagé sa passion contagieuse pour ce métier, ses connaissances et son expérience, vous êtes l'exemple.*

***A mes collègues** dans ce travail, pour tout ce que j'ai passé avec vous ces cinq dernières années, vous êtes bien plus que des camarades.*

***A mes meilleures amies** pour leur présence, aide, encouragements, soutien et amour inconditionnels.*

Si Saber Asma

الحمد لله, je remercie Dieu, le tout miséricordieux et le tout puissant d'avoir donné la patience et la force pour accomplir ce mémoire, Je dédie ce modeste travail :

*À toute la famille **Tadjerouni** et **Maasmi**.*

*À Ma chère maman **Fatima Zahraa**, mon cher papa **Mohamed**, pour leurs soutien constant et leurs encouragements tout au long de mon cursus, quoi que je dise ou que je fasse je ne pourrais jamais vous remercier pour l'amour et la confiance que vous m'avez donné.*

*À mes formidables frères **Ibrahim** et **Ismail**, mon adorable sœur **karima** et son mari, ma belle nièce **Aryam** merci de m'avoir aidé et de m'avoir supporté tout le temps, Sans vous, je n'en serais pas là. Que Dieu vous donne santé et bonheur.*

*À **Dr. Ghafari**, qui m'a guidé depuis le choix de cette spécialité, je vous remercie infiniment pour Toutes les connaissances que vous m'avez apprises, et pour votre formation idéale. Je vous souhaite plein de succès et de réussite.*

*Pour mes sœurs **Sahar, Asma, Ilham, Zahra, Nesrine**, merci pour votre soutien, je vous souhaite tout le bonheur du monde.*

*À mes copines de chambre **Aya** et **Marwa**, en souvenir de notre sincère amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. J'espère que notre amitié durera toujours.*

À mes amies de mémoire et leurs familles.

Tadjerouni Sara

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I : L'IMAGERIE EN ENDODONTIE	
1. Historique :.....	2
2. Radiographie en deux dimensions :.....	6
2.1. Radiographie extra-orale :.....	6
2.2. La radiographie panoramique :.....	6
2.2. Radiographie intra-orale :.....	7
2.2.1. Radiographie rétro-alvéolaire :.....	7
2.2.1.1. La technique du parallélisme :.....	7
2.2.1.2. La technique de la bissectrice :.....	8
2.2.2. Radiographie rétro-coronaire (<i>Bite-Wing</i>) :.....	10
2.2.3. La Radiovisiographie (RVG) :.....	10
2.3. Limitations de la radiographie en 2D :.....	11
2.3.1. Compression de l'anatomie tridimensionnelle :.....	11
2.3.2. Distorsion géométrique :.....	12
2.3.3. Bruit anatomique :.....	13
2.3.4. Perspective temporelle :.....	14
3. La radiographie en trois dimensions :.....	14
3.1. Tomodensitométrie :.....	14
3.2. Cone Beam :.....	15
4. La Radioprotection :.....	16
4.1. Définition :.....	16
4.2. Les effets biologiques des rayonnements ionisants :.....	16
4.3. Les principes fondamentaux de la radioprotection :.....	17
4.4. La radioprotection en odontologie :.....	17
CHAPITRE II : TOMOGRAPHIE VOLUMIQUE A FAISCEAU CONIQUE	

1. Généralités	19
2.Principes du <i>cone beam</i> :	20
2.1. La configuration du <i>cone beam</i> :	22
2.2. Acquisition des données :	23
2.2.1. Les récepteurs :	23
2.2.1.1. Récepteur amplificateur de luminance :	23
2.2.1.2. Récepteur plan :	24
2.3. La reconstruction de l'image :	25
2.3.1. Reconstructions primaires du volume exploitable :	25
2.3.2. Reconstructions secondaires :	26
2.3.3. Les reconstructions tridimensionnelles 3D :	27
2.4. L'affichage de l'image :	28
3.Les différents types de <i>cone beam</i> :	28
3.1. En fonction de la position du malade :	28
3.2. En fonction du champ de vue (<i>Field of view</i>) :	29
3.3. En fonction de la résolution spatiale :	32
4. Limites et inconvénients :	32
4.1. Bruit et artéfacts :	32
4.1.1. Le bruit :	32
4.1.1.1. Bruit quantique :	32
4.1.1.2. Bruit structural :	32
4.1.1.3. Bruit électronique :	33
4.2. Artéfacts :	33
4.2.1. Artéfacts métalliques :	34
4.2.1.1. Effet de mach ou effet de bord :	34
4.2.1.2. Artéfacts métalliques de couronne :	35
4.2.1.3. Artéfacts métalliques radiculaire :	36
4.2.1.4. Artéfacts implantaires :	36
4.2.1.5. Autres artéfacts métalliques :	37
4.2.2. Artéfacts cinétiques :	39
4.2.3. Artéfacts de capteurs :	40

4.2.3.1. Les artéfacts de cibles :	40
4.2.3.2. Les artéfacts de contraste :	41
5. <i>Cone beam</i> versus scanner :	41
5.1. Principes et techniques d'acquisition :	42
5.2. La résolution spatiale :	43
5.3. La résolution en densité :	44
5.4. Les artéfacts :	44
5.5. Dosimétrie.....	45
CHAPITRE III : L'ETUDE TRIDIMENSIONNELLE DE L'ANATOMIE DENTAIRE	
1. Généralités :	46
2. L'anatomie dentaire :	50
2.1. Bloc incisivo-canin supérieur :	50
2.1.1. L'incisive centrale supérieure :	50
2.1.2. L'incisive latérale supérieure :	50
2.1.3. La canine supérieure :	50
2.2. Bloc incisivo-canin inférieur :	50
2.2.1. L'incisive centrale inférieure :	51
2.2.2. L'incisive latérale inférieure :	51
2.2.3. La canine inférieure :	51
2.3. Les prémolaires :	51
2.3.1. La première prémolaire maxillaire :	51
2.3.2. La deuxième prémolaire maxillaire :	51
2.3.3. La première prémolaire mandibulaire :	51
2.3.4. La deuxième prémolaire mandibulaire :	52
2.4. Les molaires :	52
2.4.1. La première molaire supérieure :	52
2.4.2. La deuxième molaire supérieure :	52
2.4.3. La première molaire inférieure :	53

2.4.4. La deuxième molaire inférieure :	53
2.4.5. La troisième molaire supérieure :	53
2.4.6. La troisième molaire inférieure :	54
2.5. Anatomie canalaire :	55
2.5.1. Les différentes classifications de la configuration canalaire :	56
3. Anatomie endodontique particulière :	59
3.1. Isthmes :	60
3.2. Feuilletés :	61
3.3. Deuxième canal mésio-vestibulaire des molaires maxillaires :	61
3.4. Canal mésial moyen :	62
3.5. Les canaux en C ou « <i>C-shaped canal</i> » :	63
4. Analyse des relations des dents avec les structures nobles :	64
4.1. Au maxillaire supérieur :	64
4.1.1 Les fosses nasales :	64
4.1.2. Le Sinus maxillaire :	64
4.2. Au maxillaire inférieur :	66
4.2.1. Le foramen lingual :	66
4.2.2. Le canal mandibulaire :	67
4.2.3. Le nerf alvéolaire inférieur :	67
4.2.4. Le Nerf mentonnier :	68
4.2.5. Le Nerf incisif :	68
CHAPITRE VI : INDICATIONS DU CONE BEAM DIAGNOSTIQUES ET THERAPEUTIQUES	
1. Généralités :	70
2. Lésions inflammatoires péri-apicales d'origine endodontique (LIPOE) :	70
2.1. Définition :	70
2.2. Origines des lésions inflammatoires péri-apicales :	70
2.3. Le diagnostic des lésions inflammatoires péri-apicales :	71
2.4. Apport du <i>cone beam</i> dans le diagnostic des lésions inflammatoires péri-apicales :	72
2.5. Formes et aspects cliniques des parodontites apicales :	75

2.5.1. Les parodontites apicales aiguës (PAA) :	75
2.5.1.1. La parodontite apicale aiguë primaire :	75
2.5.1.2. La parodontite apicale aiguë primaire abcédée :	76
2.5.1.3. La parodontite apicale aiguë secondaire abcédée :	76
2.5.2. Les parodontites apicales chroniques :	76
2.5.2.1. Granulome péri-apical :	77
2.5.2.2. Granulome latéro-radulaire et granulome inter-radulaire :	77
2.5.2.3. Le kyste radiculo-dentaire ou apical :	77
2.6. Apport du <i>cone beam</i> dans le traitement des lésions inflammatoires péri-apicales :	78
3. Les traumatismes dento-alvéolaires :	78
3.1. Contusion :	80
3.2. Subluxation :	80
3.3. Luxation dentaire totale (expulsion) :	80
3.4. Fracture dentaire :	80
3.4.1. Fêlure :	80
3.4.2. Fractures coronaires :	80
3.4.3. Fracture corono-radulaire :	81
3.4.4. Fracture radulaire fermée ou intra-alvéolaire :	81
3.4.5. Fracture verticale de la racine :	81
3.4.6. Complication des fractures :	82
4. Les résorptions radulaires :	84
4.1. Définition :	84
4.2. Classification :	85
4.3. Le processus de la résorption dentaire :	85
5.4. L'apport du <i>cône beam</i> dans le diagnostic d'une résorption radulaire :	86
5.5. L'apport du CBCT dans la détection des résorptions au stade précoce :	89
5.6. Influence du CBCT sur le choix thérapeutique :	90
6. L'apport du <i>cone beam</i> dans la gestion des instruments endodontiques fracturés :	93
6.1. Mécanisme de la fracture instrumentale :	94
6.1.1. Fracture par torsion :	94

6.1.2. Fracture par fatigue cyclique :	94
6.2. Analyse du fragment instrumental :	94
6.2.1. La localisation tridimensionnelle :	94
6.2.2.+ La dimension du fragment :	95
6.2.3. Le type d'instrument :	95
6.3. La gestion des instruments fracturés :	96
6.3.1. Technique du <i>by-pass</i> :	96
6.3.2. La technique de dépose :	96
7. L'apport du <i>cone beam</i> dans l'étude pré-chirurgicale endodontique :	97
7.1. Analyse et planification :	97
7.2. L'analyse anatomique pré-chirurgicale :	98
7.2.1. Le foramen mentonnier :	98
7.2.2. Les fosses nasales et le sinus maxillaire :	99
7.3. L'utilisation de modèle :	99
8. L'apport du <i>cone beam</i> dans le retraitement chirurgical et non chirurgical :	100
8.1. Retraitement endodontique non chirurgical :	102
8.1.1. La présence d'une lésion péri-apicale :	103
8.1.2. Qualité du traitement du canal existant :	104
8.1.3. Canaux radiculaires ratés et caractéristiques anatomiques :	105
8.2. Retraitement endodontique chirurgicale :	106
8.3. L'intérêt du <i>cône beam</i> dans la thérapeutique des dents immatures :	114
CHAPITRE V : ENDODONTIE ASSISTEE PAR ORDINATEUR	
1. Définition :	115
2. Historique :	115
3. Les bases fondamentales de la CFAO :	117
3.1. La saisie des informations :	118
3.2. La conception assistée par ordinateur :	119
3.2.1. Phase de traitement des données :	119
3.2.2. Phase de conception :	119

4. L'endodontie assistée par ordinateur :.....	119
4.1. Les étapes du traitement endodontique guidé :	120
4.1.1. Acquisition des fichiers DICOM et STL :	120
4.1.2. Alignement des fichiers :	121
4.1.3. Matérialisation et planification du trajet de forage :	121
4.1.4. Fabrication du guide :	122
4.2. Les limites de l'endodontie guidée:	123
Conclusion	125

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

L'imagerie constitue un complément souvent principal aux examens cliniques réalisés dans différentes spécialités médicales.

En odontologie, et particulièrement en endodontie, le clinicien y a recours de manière quasiment systématique. Elle permet d'observer les structures endodontiques, mais également d'éventuelles pathologies radio visibles. De même, elle constitue un élément médico-légal indispensable faisant partie intégrante du dossier du patient.

Le futur de l'imagerie endodontique passera évidemment par une amélioration qualitative des techniques actuelles notamment sur le plan de la résolution et de la diminution de la dose émise. D'autres modalités comme l'échographie, déjà appliquée de manière expérimentale, la microtopographie, appliquée in vitro actuellement, ou encore la radiographie biplan à basse irradiation pourraient peut-être s'appliquer à l'endodontie dans le futur. [1]

L'objectif de ce mémoire est de montrer les limites des systèmes de radiographies en deux dimensions, que sont, la radiographie panoramique, la rétro-alvéolaire, la rétro-coronaire et la radiovisiographie dans le domaine de l'endodontie, cela pour définir par la suite le *cone beam*, qui est un système de radiographie en trois dimensions, et ses indications diagnostiques et thérapeutiques en endodontie.

Le choix d'un appareil *Cone Beam Computed Tomography* s'effectue en fonction de l'activité du praticien, mais aussi en prenant en compte des caractéristiques techniques de chaque appareil. La dosimétrie doit également être connue.

En endodontie, le champ de vue utilisé doit être le plus petit possible pour obtenir la meilleure résolution. Néanmoins, un champ trop réduit, ne permettrait pas de recourir au *cone beam* dans d'autres domaines odontologiques. La tomographie volumique à faisceau conique est une technique encore jeune. Elle doit être considérée comme une méthode diagnostique complémentaire, non systématique, mais pouvant être utile et très informative. Ses applications sont nombreuses et en constante progression. Des perspectives prometteuses encore être attendues de ce type d'appareil. [1]



CHAPITRE I :
L'IMAGERIE EN
ENDOODNTIE

Historique :

Avant 1838, le monde ne connaissait que trois états de la matière : solide, liquide et gazeux. C'est en 1838 que le chimiste et physicien britannique Faraday (1791-1867) s'intéresse aux décharges électriques dans les gaz raréfiés. Il place une anode et une cathode en vis-à-vis dans un tube en verre, met la cathode sous tension et si celle-ci est assez élevée, cela déclenche une étincelle entre les deux électrodes. Si on diminue la pression du gaz dans l'ampoule, on constate que l'apparence de l'étincelle se change en une émanation violette. Faraday pense alors avoir découvert un quatrième état de la matière qu'il nomme « matière radiante ». [2]

En 1895, le physicien allemand Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), étudie le rayonnement cathodique avec des tubes de Crookes. Il s'intéresse plus précisément au comportement 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. Dans la soirée du 8 novembre, au cours de ses essais, il utilisa un tube de Crookes qu'il plaça dans une boîte en carton, hermétique à la lumière. Un écran de platincyanure de barium était placé en face du tube à l'écart de la lumière. Cet écran se composait d'une substance fluorescente sensible à la lumière visible, et c'est comme ça qu'il réalisa la première radioscopie. [2]

Il remarqua que malgré la distance entre l'écran et le tube, ou l'interposition d'objets tels qu'une feuille de papier, du bois, du verre ... l'écran est toujours fluorescent. C'est ainsi que Röntgen découvrit de nouveaux rayonnements qu'il nomma rayons X, lettre symbolisant l'inconnue en mathématiques. [2]

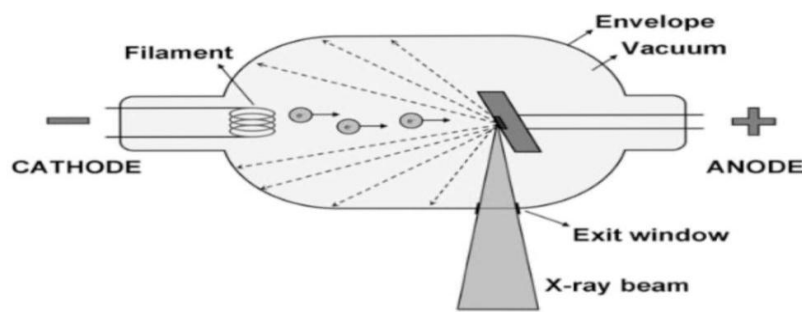


Figure 1 : Tube de Crookes. [2]

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, intitulée " Sur un nouveau type de rayon ", Röntgen décrit la première image radiographique en montrant que " si 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 ". Le 22 décembre 1895, en intercalant la main de son épouse entre le tube de Crookes et une plaque photographique, Röntgen réalisa le premier cliché radiographique, il note aussi que les parties les plus denses et épaisses sont les plus sombres sur la plaque. [2]



Figure 2 : Wilhelm Conrad Roentgen et la première radiographie de la main de sa femme (1895). [2]

Quatorze jours après la première publication de Roentgen en date du 28 décembre 1895, Otto Walkhoff, dentiste de profession en Allemagne, considéré comme l'un des fondateurs de l'endodontie, et le professeur de physique Fritz Giesel décident de travailler ensemble pour réaliser la première radio dentaire. Pour cela, Otto prie le professeur de prendre une radio de ses molaires. Des petits morceaux sont découpés dans les plaques du commerce d'origine et ensuite enveloppés pour en conserver un témoignage. Walkhoff a reçu les premiers rayons intra buccaux après une exposition d'une durée de 25 minutes. Dans son compte rendu,

il rapporte : « Cela a été une vraie torture, mais j'ai ressenti une grande joie en étant confronté aux résultats. C'est là que j'ai mesuré l'importance de la découverte de Roentgen pour la dentisterie du futur. » Mais, cette application n'a pas été sans heurt et sans effet secondaire, puisqu'elle a induit la perte des cheveux de son généreux « cobaye ». [2]



Figure 3 : Dr Otto Walkhoff, dentiste allemand, et sa première radiographie dentaire 1896. [2]

L'usage des rayons X pour réaliser des images médicales se répand dans le monde entier dès 1896. La première installation radioscopique voit le jour en France, en 1897 au sein du service de Dr Bécclère qui installe dans son service de médecine générale à l'hôpital Tenon, une installation radioscopique destinée à faire des radios du thorax et des poumons à fins de détecter la tuberculose. [2]

En imagerie médicale, les rayons X sont produits dans un tube de Coolidge (**Fig4**). C'est un tube à vide comprenant un filament de tungstène au niveau de la cathode et une cible métallique en tungstène également au niveau de l'anode. La cathode est chauffée par un courant électrique et va émettre des électrons qui seront accélérés par une différence de potentiel élevée en direction de l'anode. [3]

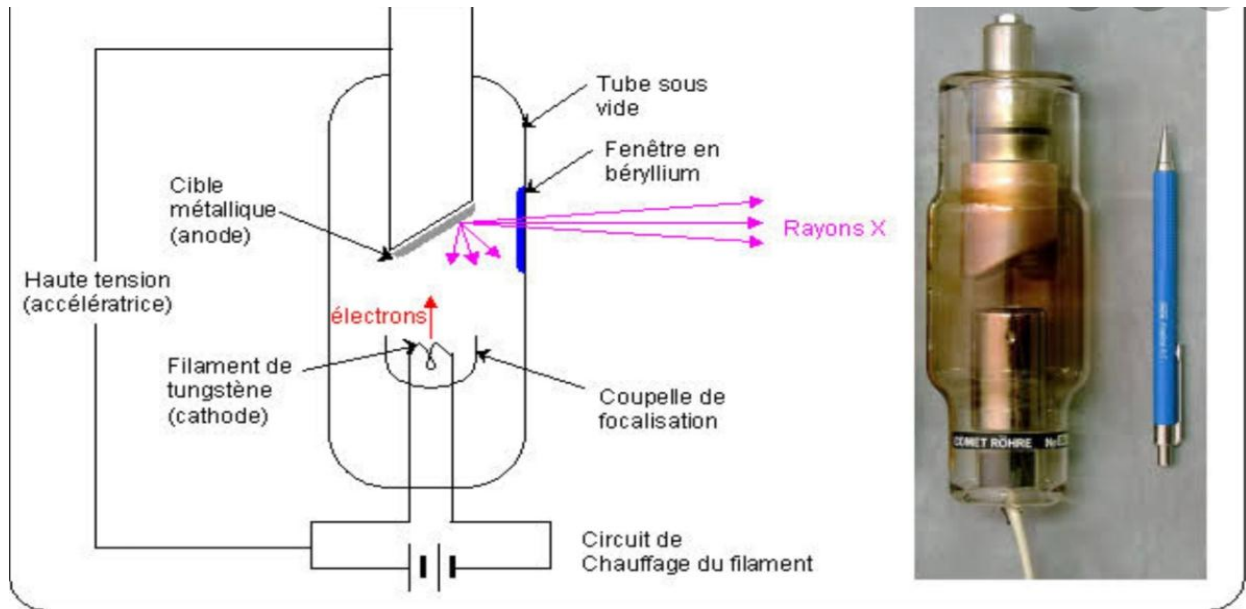


Figure 4 : tube de Coolidge. [3]

Longtemps confinée au cabinet dentaire, le plus souvent limitée au technique endo-buccales et plus particulièrement au cliché rétro alvéolaire (RA), l'imagerie dentaire s'est ouverte au monde radiologique par le cliché panoramique ou orthopantomogramme (OPT), exploration spécifique en coupes épaisse des arcades dentaires, élargie à l'étage maxillo-dentaire ainsi qu'en partie aux parties molles de voisinage.

Dans les années 1970, Hermann Fischgold pouvait écrire que l'imagerie dentaire « est un isolat entrain d'éclater ».

L'imagerie en trois dimensions apparaît en 1972 grâce à G.N Hounsfield associé à A.M Cormack qui inventent un scanner à rayon X où les données sont numérisées par un ordinateur dans le but d'obtenir des images en coupes. L'informatique permet de reconstruire une image tridimensionnelle à partir des coupes de nombreuses évolutions viendront par la suite pour améliorer la rapidité de l'acquisition, la résolution spatiale et temporelle des scanners.

Le *cone beam* est la dernière évolution en date en matière d'imagerie odontostomatologique.

L'imagerie *cone beam* odontostomatologique est rendue possible par les capacités toujours croissantes du calcul informatique, elle se place dans la dynamique de l'imagerie médicale numérique initiée par le scanner Rx et ayant trouvé avec la radiovisiographie (Francis Mouyen, 1989), une première application en imagerie dentaire endo-buccale.

Avant l'étage dento-maxillo-facial, la technique *cone beam* a connu une indication vasculaire, en raison de sa spécificité d'évaluation des éléments de haute densité. Le premier appareil d'angiographie par *cone beam* a été installé à la clinique Mayo de Rochester en 1982.

Dans les années 1990, deux équipes, géographiquement éloignées, travaillent sur le même concept d'un appareil d'imagerie *cone beam* en odontostomatologie. Il s'agit d'une équipe japonaise qui œuvre sur un petit champ dans un esprit « dentaire » orienté vers le diagnostic endodontique, et d'une équipe italienne qui se consacre à un grand champ dans une configuration plus largement « médicale ». [4]

2. Radiographie en deux dimensions :

2.1. Radiographie extra-orale :

2.2. La radiographie panoramique :

La radiographie panoramique est aussi appelée orthopantomogramme. Elle a été mise au point dans les années 50 par Paatero. Il s'agit d'une technique associant la radiographie par fente à la tomographie permettant au clinicien d'avoir accès à une image panoramique. [1]

Le film et la tête du tube (source de rayons X) tournent autour du patient qui reste immobile ; et vont produire une série d'images individuelles successivement dans un seul film. [5]

L'avantage de cette technique est qu'elle permet de visualiser une vue globale de la cavité buccale avec la mise en évidence des structures dentaires, maxillaires et articulaires et de leurs rapports mutuels. C'est pourquoi elle est considérée comme un « examen de débrouillage » ; ainsi que de dépistage de caries ou de LIPOE pouvant évoluer à bas bruit, parfois à distance de la dent suspectée par la douleur. Toutefois, la déformation de l'image étant importante et sa faible résolution, et bien qu'utile, elle ne peut pas être considérée comme un examen à visée endodontique. [1]



Figure 5 : Exemple d'une radiographie panoramique. [6]

2.2. Radiographie intra-orale :

Ce type de radiographie est utilisé quotidiennement dans les cabinets dentaires, il peut fournir des informations diagnostiques et même également des planifications chirurgicales, en plaçant un récepteur radiographique dans la cavité buccale l'image est obtenue par projection conique du faisceau de rayon X issu du générateur dans le plan du capteur. [7]

2.2.1. Radiographie rétro-alvéolaire :

Les clichés rétro-alvéolaires sont les plus faciles et les plus utilisés. S'ils sont bien réalisés, ils donnent des images très nettes et précises et des reproductions fidèles, il s'agit d'une projection radiographique (en deux dimensions) sur un film de taille réduite. [8]

En plus de leurs utilités dans le dépistage des caries, ils sont le plus souvent suffisants aux stades précoces de douleur dentinaire pure ou de pulpite, voir des lésions inflammatoires péri-radicales d'origine endodontique à la recherche d'un élargissement desmodontal apical. Par contre souvent l'imagerie standard est en retard sur la clinique et l'examen est négatif. [9] Il existe deux techniques pour réaliser un cliché rétro-alvéolaire :

2.2.1.1. La technique du parallélisme :

La technique du parallélisme autrement appelée technique à long cône ou technique à angle droit. Elle est fondée sur le concept du parallélisme. Dans cette technique, le film est placé dans la bouche en position parallèle par rapport au grand axe de la dent et le faisceau de rayons X central est dirigé perpendiculairement ou à angle droit au grand axe de la dent et du film. [5]

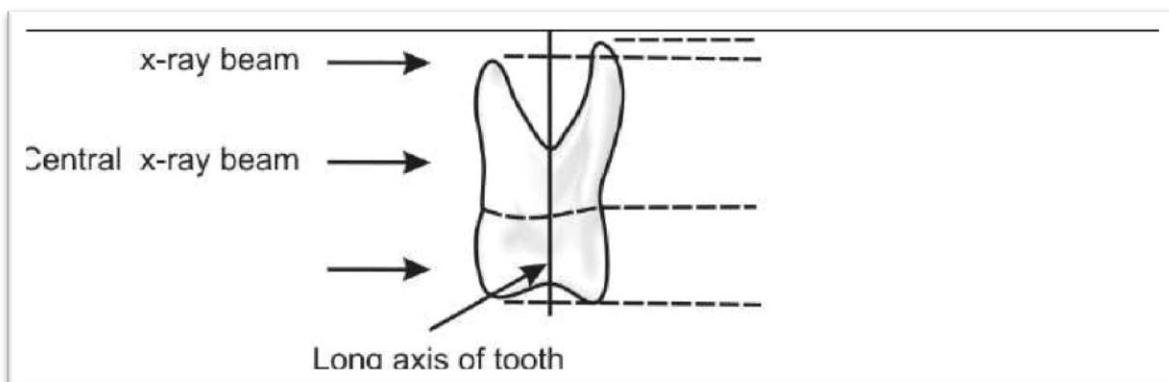


Figure 6 : Représentation diagrammatique de la technique de parallélisme. [5]

Cette technique utilise des supports spéciaux pour atteindre ce critère. Ces supports sont les angulateurs de Rinn (**Fig7**) ; XCP Instruments (rallonge en X, cône en C et parallélisme en P) et des supports de film de précision. Comme les dispositifs de positionnement (PID) sont utilisés, il n'y a pas de position de tête spécifique ou d'inclinaison verticale pour orienter le tube à rayons X. Cette technique utilise de longs cônes revêtus de plomb d'une longueur de 12 à 16 pouces. Le film est positionné parallèlement au long de l'axe de la dent et le faisceau de rayons X central doit être dirigé perpendiculairement au long de l'axe de la dent et du film.



Figure 7 : Angulateurs de Rinn. [7]

L'inclinaison horizontale est telle que le faisceau de rayons X central doit être dirigé à travers la zone de contact entre les dents et que le tube à rayons X est conforme au PID (dispositif indicateur de position), ils aident à diriger le faisceau de rayons X central vers le centre du film. Parmi les avantages de cette technique est que les erreurs dues à l'amélioration du film sont minimisées et l'agrandissement de l'image est négligeable ou pas du tout là.

Cette technique ne peut pas être pratiquée chez les patients édentés ainsi que chez les patients dont le plancher de la bouche et le palais sont peu profonds. [5]

2.2.1.2. La technique de la bissectrice :

La technique de la bissectrice développée par Cieszynski en 1907, est la plus ancienne et la plus courante. Une dent est reproduite de façon isométrique quand le rayon central qui passe par l'apex de la dent, est perpendiculaire à la bissectrice de l'angle formé par l'axe de la dent et le plan du film. [10]

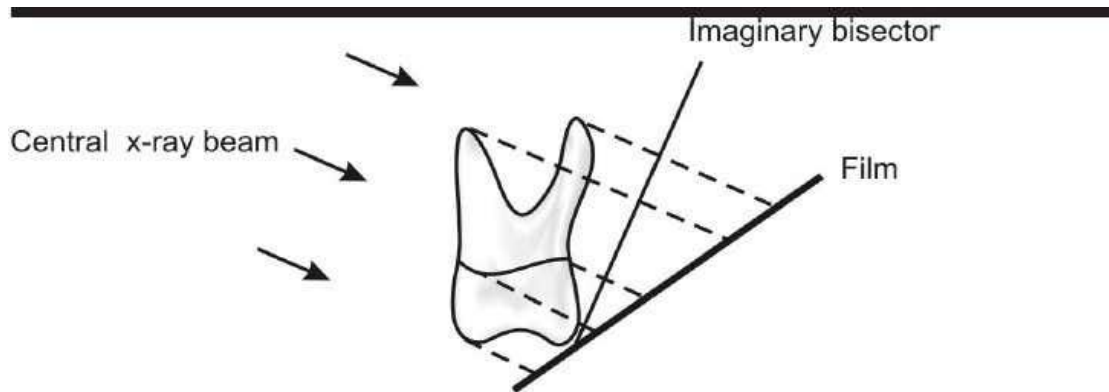


Figure8 : Représentation diagramatique de la technique bissectrice. [5]

La totalité de la dent radiographiée doit être montrée sur un cliché rétro alvéolaire ainsi que les tissus environnants aux limites de l'image.

Le clinicien a besoin d'images endodontiques avec une densité et un contraste suffisant qui lui permettent d'évaluer les différents tissus dentaires, les espaces desmodontaux, les structures osseuse, l'état de l'apex, lésions radio-claires, instruments fracturés. [11]

Les experts indiquent la prise d'au moins 3 clichés radiographiques, 1 préopératoire, 1 per- et 1 postopératoire. [12]

Un cliché supplémentaire peut être pris, cone de gutta-percha en place. Le ou les clichés préopératoires permettent d'avoir une idée sur l'anatomie canalaire et sur l'intégrité du parodonte. Il est à visée diagnostique et représente aussi un élément de référence à l'état antérieur de la dent.

Les clichés per-opératoires permettent de maîtriser les différentes étapes du traitement ; calcule de la longueur de travail, lime en place, contrôle cone en place avant obturation. L'estimation de la longueur des canaux peut exiger la réalisation de plusieurs clichés rétro alvéolaires.

Le nombre de clichés per-opératoires peut être réduit par l'utilisation de localisateurs d'apex. Le cliché postopératoire permet de contrôler la qualité de l'obturation et constitue une image de référence pour le suivi du patient. [11.12]

2.2.2. Radiographie rétro-coronaire (*Bite-Wing*) :

Selon l'âge ; on utilisera des films de format 2x3 cm ou 3x4 cm ou encore 5,5x2,5cm (**Fig. 9**).

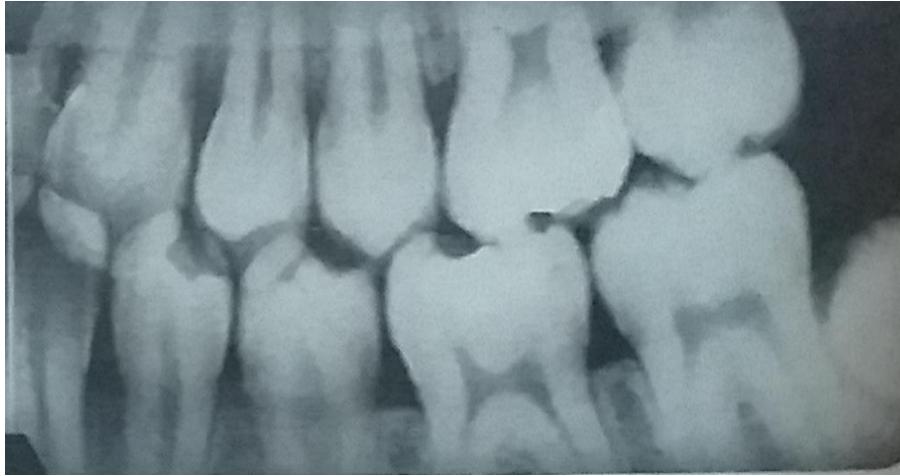


Figure 9 : Radiographie bite Wing typique d'une denture définitive. [10]

Mise au point par Rapper en 1925, dont le but premier est de mettre en évidence les caries inter proximales cliniquement invisibles.

Elle doit s'ajouter à l'examen clinique qu'en denture complète où les surfaces mésiales et distales ne sont pas observables cliniquement. [10]

Les clichés rétro-coronaires sont des radiographies à usage multiple, avec trajet coronal (ou mieux inter-occlusal) du faisceau à travers les arcades dentaires en occlusion. Un cliché retro-coronaire doit montrer les couronnes des dents antagonistes photographiées ainsi que les rebords alvéolaires maxillaires et mandibulaires du secteur concerné. Ce cliché est soit horizontal, soit vertical. [8]

2.2.3. La radiovisiographie (RVG) :

Grace à Francis Mouygn, par l'invention de la radiovisiographie ou RVG, l'image numérisée est entrée au cabinet dentaire et permet un contrôle thérapeutique immédiat (endodontique) pour une moindre irradiation.

L'appareillage utilise un tube dentaire classique. Le film radiographique est remplacé par un dispositif numérique placé en bouche (capteur solide) contenant par exemple un scintillateur, une plaque de fibre optique et une caméra miniaturisée CCD ou bien un écran radio-luminescent à mémoire ou plaque phosphore. [4]

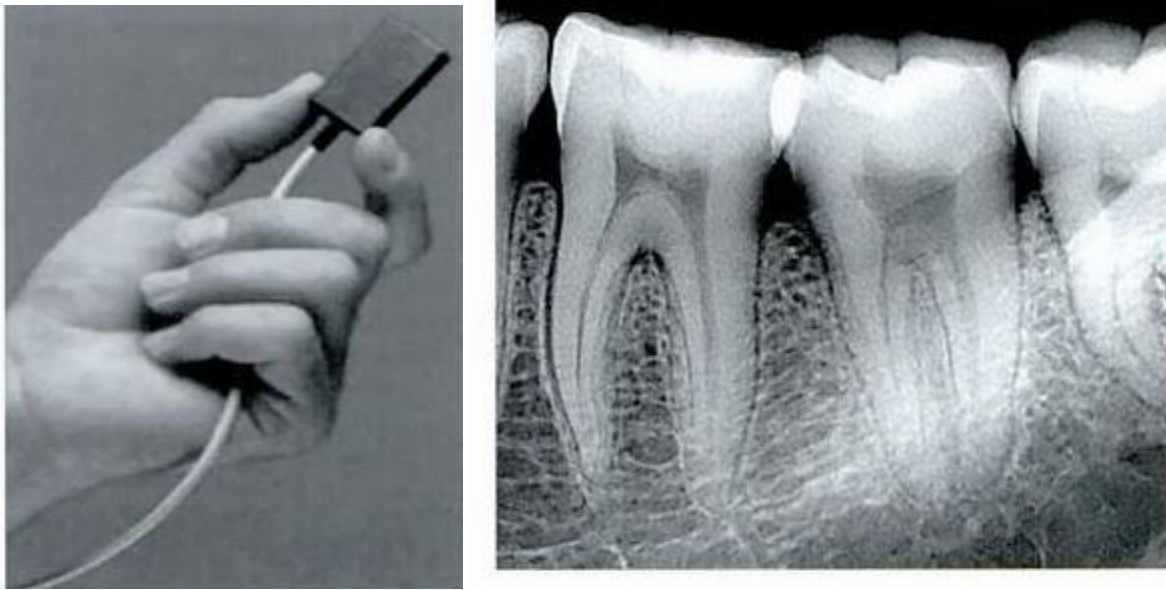


Figure10 : Image de la région molaire mandibulaire droite par capteur CCD (document RVG, *Trophy-Kodak*). [4]

2.3. Limitations de la radiographie en 2D :

Les images capturées par radiographie péri-apicale ont les limitations suivantes.

2.3.1. Compression de l'anatomie tridimensionnelle :

Les images obtenues grâce à un film radiographique (argentique ou numérique), ne sont qu'une représentation en 2D d'une réalité en 3D. On a donc une compression de l'anatomie dans les deux sens vestibulo-lingual ou vestibulo-palatin, ce qui explique une moins bonne caractérisation des dents ou des structures avoisinantes dans ce plan. Donc l'étude des caractéristiques des dents ou des tissus alentours est limitée que dans le plan mésio-distal. [13]



Figure11 : exemple d'une radiographie rétro-alvéolaire prise avec un angulateur de Rinn. [13]

Voici une radiographie rétro-alvéolaire prise avec un angulateur de Rinn pour éviter les déformations liées au parallélisme. Sur cette radio, on voit certes le canal distal mais il est impossible de différencier les deux canaux mésiaux. La compression de l'image en 2D ne nous permet pas d'étudier l'anatomie et l'accessibilité de ces canaux. [13]

2.3.2. Distorsion géométrique :

La structure squelettique maxillo-faciale présente une complexité qui peut parfois altérer la réplique radiographique. Pour aboutir à une image précise, le récepteur d'image doit être placé parallèlement à l'axe longitudinal de la dent et le faisceau de rayons X doit être perpendiculaire au récepteur et à la dent radiographiée. Un palais peu profond, des racines divergentes/convergentes, une petite bouche ou un bâillonnement peuvent également perturber l'orientation du long axe conduisant à une distorsion géométrique. Même dans des conditions idéales, un certain grossissement est inévitable.

Par exemple dans la région maxillaire, une voûte palatine peu profonde entraînera un mauvais positionnement du film, il ne sera plus parfaitement parallèle au grand axe de la dent. Donc c'est l'absence du parallélisme qui créera de la distorsion géométrique. [13]



Figure12 : exemple d'une rétro-alvéolaire prise chez un patient qui a une voûte palatine peu profonde. [13]

2.3.3. Bruit anatomique :

Certaines caractéristiques anatomiques peuvent masquer la zone à étudier et ainsi entraîner une difficulté dans l'interprétation des radiographies, ce qu'on appelle « le bruit anatomique ». On peut avoir des images radio-opaques, à cause de l'os zygomatique par exemple dans la région maxillaire postérieure, mais aussi des images radio-claires due au sinus dans la région molaire maxillaire, aussi dans la région incisive maxillaire à cause du foramen.

Le bruit anatomique dépend de plusieurs facteurs :

- La superposition anatomique, comme l'os zygomatique par exemple.
- L'épaisseur d'os spongieux et corticale au niveau de la zone intéressée.
- La relation entre l'apex radicaire et la corticale osseuse.

La région molaire maxillaire présente un haut bruit anatomique à cause de l'os zygomatique, du sinus maxillaire, des racines divergentes qui sont combinées. [13]

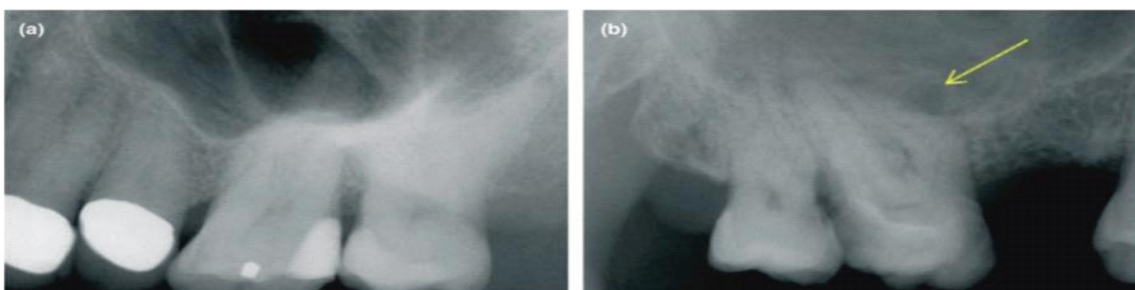


Figure13 : (a) L'arc zygomatique obscurcit l'anatomie apicale des dents molaires supérieures
(b) la lésion radioclaire (flèche jaune) sur l'aspect mésial de la racine mésio vestibulaire. [13]

2.3.4. Perspective temporelle :

La comparaison entre les clichés radiographiques préopératoires, peropératoires et postopératoires peut aider le praticien à évaluer le résultat du traitement. Cependant, selon certains auteurs, les images capturées par la radiographie conventionnelle ne peuvent jamais être reproduites. Les Caractéristiques idéales d'un système d'imagerie sont la précision géométrique, la superposition minimale, la facilité de disponibilité et d'utilisation, la fiabilité, la reproductibilité, le coût relativement faible et, surtout, l'exposition minimale au rayonnement de la salle. [14]

3. La radiographie en trois dimensions :

3.1. Tomodensitométrie :

Le scanner est le premier examen d'imagerie dentaire permettant d'avoir une visualisation directe dans les trois dimensions de l'espace. [15]

L'invention de la tomodensitométrie par Hounsfield en 1974 a marqué l'entrée de l'exploration radiologique du massif facial. [16]

La TDM exécute une analyse tridimensionnelle de tout volume corporel par une radiographie en coupes soit en acquisition directe, soit en reconstruction secondaire, les coupes axiales du massif facial peuvent emporter la troisième dimension en complément des radiographies dentaires intra-orales bidimensionnelles faisables au cabinet ou de l'orthopantomogramme, à partir de leurs données informatiques il est possible de faire des reconstructions secondaires dans n'importe quel plan espéré. On peut ensuite voir l'image reconstruite sur un ordinateur. [17]

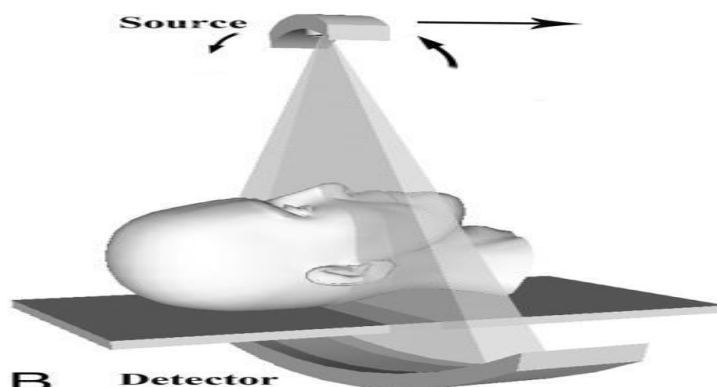


Figure 14 : Faisceau plat du scanner. [19]

La tomodensitométrie est un examen très intéressant pour une étude des rapports d'une dent avec le canal dentaire inférieur avec éventuellement le sinus maxillaire ou avec les dents adjacentes. Elle peut préciser un doute sur une fracture radiculaire devant une anomalie clinique ou une fine image linéaire radio-claire sur un cliché rétro alvéolaire, rechercher une duplication canalaire d'une racine dans le cadre d'un traitement endodontique, préciser une petite lésion péri-dentaire. [15]

3.2. Cone beam :

Le *Cone Beam Computed Tomography* aussi appelé tomographie volumique à faisceau conique (TVFC) en français, a été engagé sur le marché européen en 1996. À l'origine il était réservé à l'implantologie et à la détection des anomalies positionnelles. Depuis, il a connu plusieurs évolutions qui lui autorisent d'être utilisé dans d'autres domaines de l'odontologie dont l'endodontie. [19]

Le *cone beam* est un système de radiographie particulier au système maxillo-facial qui permet la production d'images dans les trois plans de l'espace, axial, coronal et dans le plan sagittal. Il se compose d'un tube applicateur de rayon X et d'un récepteur qui sont solidaires, inversés et alignés entre eux. Ils réalisent une rotation unique qui est de 180° ou de 360° autour de la tête du patient qui forme un axe de rotation.

A chaque degré de rotation, le tube émetteur de rayon X traverse le volume à étudier, il est ensuite capturé sur la surface de réception, cela permet l'acquisition de l'ensemble des données qui sont alors brutes, en environ 15 secondes. La source de rayon X émet un faisceau pulsé le plus souvent, et de forme conique, à la différence du scanner qui émet lui un faisceau continu et de forme plate. Ces données brutes sont ensuite transmises à un ordinateur, cela permet la reconstruction volumique de la matière étudiée grâce à des algorithmes mathématiques. On peut ensuite observer l'image reconstruite sur un ordinateur. [20.21]

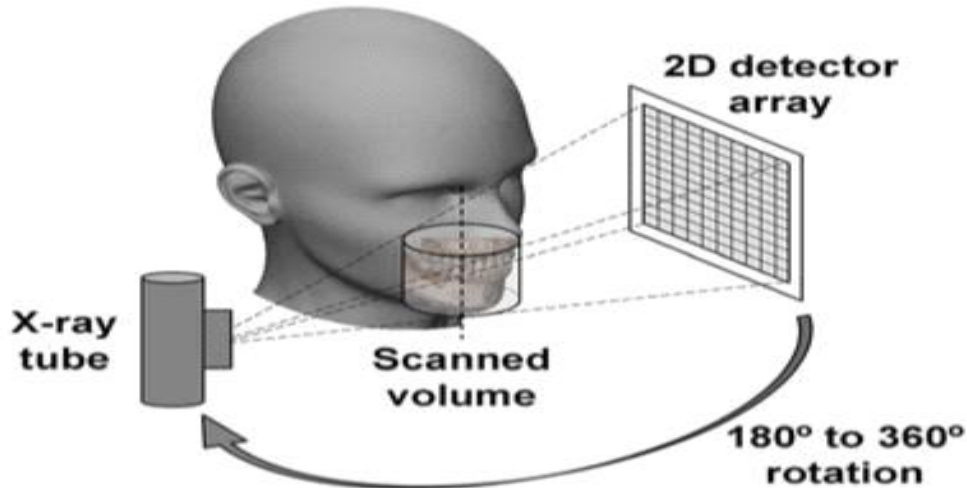


Figure 15 : Faisceau conique du CBCT. [22]

4. La Radioprotection :

4.1. Définition :

La radioprotection regroupe l'ensemble des règles, des procédures et des moyens de prévention et de surveillance visant à empêcher ou réduire les effets nocifs des rayonnements. L'objectif est de protéger la population ainsi que les travailleurs et les patients contre les effets nocifs des rayonnements ionisants produits sur les personnes directement ou indirectement exposées. Il faut distinguer le rayonnement primaire issu directement du tube à rayons X du rayonnement secondaire qui est la diffusion d'une partie des rayons X reçus par tout objet (patient, fauteuil, mûrs...). [23]

4.2. Les effets biologiques des rayonnements ionisants :

Les rayonnements ionisants, quelle que soit leur origine, naturelle ou artificielle, nucléaire ou radiologique, ont suffisamment d'énergie pour arracher des électrons aux atomes de la matière qu'ils rencontrent. Lorsqu'ils agissent sur les constituants des cellules vivantes, ils peuvent altérer les structures moléculaires, détruire ou modifier les cellules et, dès lors, produire deux catégories d'effets biologiques. Des effets certains, dits déterministes (brûlures, nausées...), liées à la mort des cellules, qui apparaissent systématiquement et de façon généralement précoce, en présence de doses élevées et dépassant un certain seuil. La gravité des dommages augmente avec la dose.

Des effets aléatoires, dits stochastiques, et liés à la survie des cellules lésées. Ils concernent principalement des cancers qui apparaissent après un certain temps de latence

(plusieurs années voire dizaines d'années) après le début de l'exposition. La probabilité d'apparition de ces effets augmente en fonction de la dose reçue. [23]

4.3. Les principes fondamentaux de la radioprotection :

Afin d'éviter les effets déterministes pouvant survenir notamment en cas d'accidents radiologiques, et de réduire autant que possible les risques d'apparition d'effets aléatoires, le système de radioprotection repose sur trois grands principes, inscrits dans le code de la santé publique :

- La justification des activités comportant un risque d'exposition à des rayonnements ionisants.
- L'optimisation des expositions à ces rayonnements au niveau le plus faible raisonnablement possible
- La limitation des doses d'exposition individuelle à ces rayonnements. [23]

4.4. La radioprotection en odontologie :

On entend souvent dire que les expositions aux rayonnements ionisants provoquées par la pratique de la médecine dentaire sont si faibles qu'elles peuvent être considérées comme négligeables sur le plan de leurs impacts sur la santé, tant des praticiens que des patients. Ces niveaux sont alors souvent comparés à ceux provoqués par exemple par l'irradiation naturelle ou des examens médicaux plus irradiants. Ce type de discours est trompeur et injustifié.


Il faut d'abord souligner que les doses ne sont faibles en médecine dentaire que si une bonne pratique est appliquée sur le plan de la radioprotection : des différences de dose (doses aux patients et doses aux opérateurs) parfois considérables ont été observées selon l'utilisateur. Faut-il rappeler le cas extrême des radiodermites et cancers de la peau encore observés aujourd'hui chez des dentistes qui tiennent eux-mêmes les détecteurs d'image, mais les défauts de bonne pratique sur le plan de la radioprotection ne s'arrêtent pas là. C'est pour ces raisons que plusieurs organismes nationaux et internationaux (dont la Commission européenne) ont jugé utile d'élaborer des guides pratiques sur la radioprotection en médecine dentaire.

Les examens radiologiques en médecine dentaire sont utilisés régulièrement surtout au cours du traitement endodontique et sur des patients de tout âges dont les enfants sont plus

sensibles aux rayonnements que les sujets adultes, c'est pour laquelle l'optimisation et la justification sont tout autant pertinentes en médecine dentaire que dans les autres secteurs.

Autrement dit toutes les doses même les plus réduites accumulent leurs effets et accroissent le pool général de mutations dans le génome de cellules somatiques ce qui augmente l'apparition de cancers et d'effets héréditaires et germinales, ce risque sera plus élevé lorsqu'il s'agit d'irradiation d'enfants, et concernant la grossesse, l'embryon et le fœtus ont une radiosensibilité très grande surtout durant les huit premières semaines (organogenèse), le risque d'anomalies congénitales ne peut être exclu, de la huitième à la quinzième semaine les neurones cérébraux peuvent être endommagés ce qui peut provoquer des altérations cérébrales fonctionnelles allant jusqu'à l'arriération mentale, ainsi le risque de malformations radio induites sera accru chez les patients présentant des facteurs de prédisposition génétique.

Enfin la notion de « dose équivalent corps entier » est un indicateur de risque, particulièrement dans le cas d'expositions partielles, ce qui est toujours le cas en médecine dentaire (thyroïde, glandes salivaires, structures cérébrales, os riches en moelle osseuse...). [24]



CHAPITRE II :
TOMOGRAPHIE
VOLUMIQUE A
FAISCEAU CONIQUE

1. Généralités

Le *cone beam* encore appelé « tomographie volumique à faisceaux coniques » s'est imposé depuis plusieurs années comme la méthode de référence en imagerie où elle est située à l'interface de l'orthopantomographie et du scanner, bien que ce dernier reste incontournable dans certaines indications.

Le *CBCT* travaille avec un faisceau ouvert conique ce qui permet en une seule résolution de balayer l'ensemble du volume à explorer. En outre, il se distingue par son unité isométrique « le voxel » qui fournit une image identique dans tous les plans de l'espace en éliminant les superpositions des structures environnantes. Les voxels obtenus en *cone beam* sont dits isotropes cela signifie que leurs dimensions sont égales dans les trois plans, en d'autres termes quelle que soit l'orientation des reconstructions dans les trois dimensions de l'espace chaque voxel est cubique. Cette particularité lui accorde un avantage de fidélité dimensionnelle donc il mesure le volume anatomique examiné avec une résolution d'image souvent submillimétrique qui peut aller pour des appareils performants, jusqu'à 0,125 MM. [20.25.26]

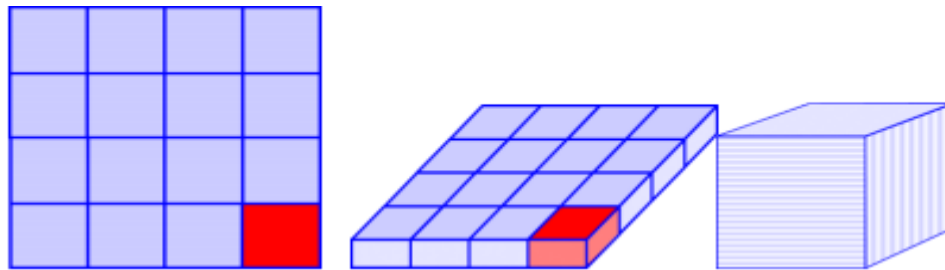
Aujourd'hui le *cone beam* est reconnu comme la technique de référence mondiale incontestée en imagerie diagnostique odontostomatologique et maxillo- faciale, par la faible dose de rayon X délivré et du pouvoir de résolution supérieur. [20]

Ce chapitre traite l'imagerie *CBCT* d'un point de vue technique et théorique. Il nous fournit une base pour comprendre comment les volumes *CBCT* sont reconstruits, nous examinerons en quoi elle diffère de la radiographie 2D en développant une compréhension plus sophistiquée de la façon dont l'image est acquise, traitée et reconstruite avant qu'elle ne soit vue et interprétée

. En tant que cliniciens nous devons comprendre comment les images numériques et artefacts sont générés et apprennent le langage approprié pour la découverte.



Figure 16 : Exemple d'un appareil *cone beam* 3D. [27]



(a) 2D : pixel=Picture élément (b) 3D : voxel=volume élément voxel (c) isotrope= cubique

Figure 17 : Pixels et voxels isotropes. [26]

2. Principes du *cone beam* :

Le *cone beam* CBCT : *cone beam computed tomography* ou tomographie volumique à faisceau conique

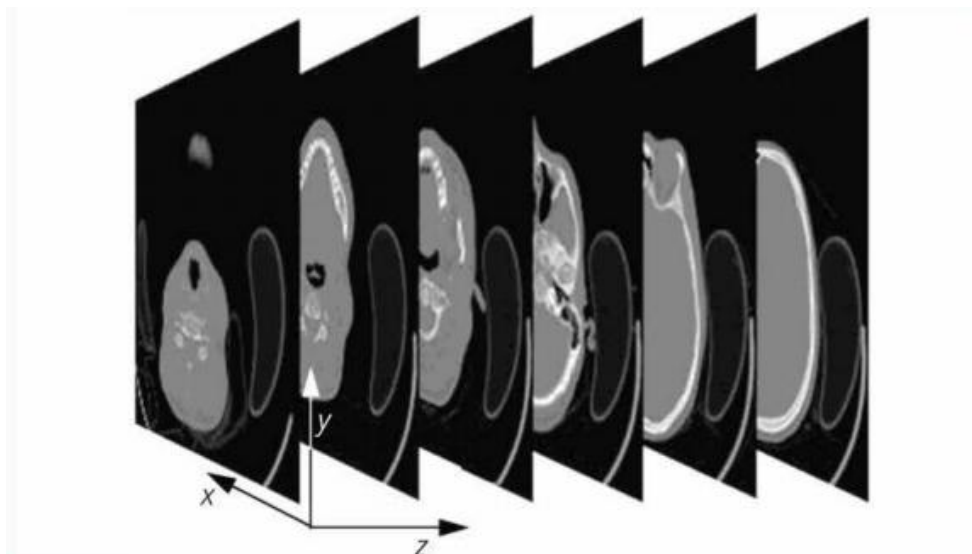


Figure 18 : *computed tomography*. [28]

Le faisceau de rayon X est atténué en traversant l'objet à explorer avant d'être analysé par un système de détection, le plus souvent un capteur plan. Le tube et le système de détection tournant autour du sujet (de 180° à 360° selon les constructeurs), certaines analyses (prises de vue, clichés ou projection) sont réalisés dans les différents plans de l'espace, permettant, après transmission des données à un ordinateur, la reconstruction volumique d'un cylindre contenant l'objet.

L'appareil effectue une seule rotation autour du volume examiné, le plus souvent incomplète.



Figure19 : principe d'acquisition de l'imagerie *cone beam*.

Foyer Rx ouvert, rotation circulaire, succession de projection 2D sur capteur numérique, construction d'un volume numérisé Document Newtom. [29]

La séquence d'imagerie d'un système *CBCT* se compose des quatre composants de base suivants :

Comme tous les systèmes de radiographie classiques utilisés dans les diagnostics médicaux :

- le tube à rayons X, générant le rayonnement
- le générateur, alimentant le tube à rayons X en énergie
- le détecteur, en convertissant le rayonnement X en signal d'image après son passage dans le patient
- l'appareil, reliant le tube, le patient et le détecteur entre eux. [26.29]

Un diagramme de la géométrie d'imagerie et des composants essentiels d'un système *CBCT* est présenté dans (fig. 20).

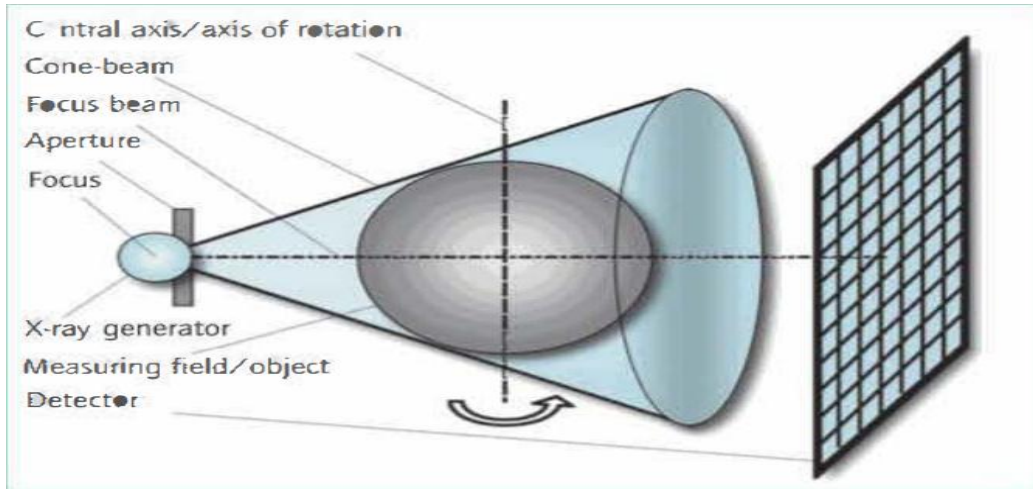


Figure20 : Représentation diagrammatique. [2]

Il existe donc quatre étapes lors de la réalisation d'un examen *cone beam*

2.1. La configuration du *cone beam* :

Les caractéristiques du rayonnement radiologique généré par un tube à rayons X peuvent être facilement adaptées aux exigences de l'examen respectif. La qualité du rayonnement est déterminée par le niveau de la tension appliquée, et l'intensité dépend du niveau du courant sélectionné. Les deux quantités peuvent être ajustées indépendamment dans la sortie autorisée : paramètres du tube.

Un paramètre caractérisant la qualité de l'image : fonction-modulation-transfert (MTF), et la taille du foyer. Les électrodes dans le tube sont accélérées à presque la vitesse de la lumière par la tension appliquée entre la cathode et l'anode ; ils ont alors frappé un tungstène cible incorporée dans l'anode et sont ralentis de 30 % à 65 %.

Les courants d'anode requis pour les opérations d'imagerie se situent entre 100 milliampères et 2 Ampères. La plupart des systèmes *CBCT* dentaires utilisent des courants d'anode d'environ 5 à 25 mA. Pour optimiser le cône de rayonnement émis pour le système concerné (détecteur et géométrie), une première collimation est réalisée par un tube en plomb dans le boîtier lui-même. Dans une étape ultérieure, le faisceau conique maximal admissible est précisément défini par une ouverture fixe.

Les tubes actuellement utilisés dans le *CBCT* sont des tubes à rayons X à réservoir unique très compacts, le générateur haute tension est intégrée dans le boîtier du tube. Le

contenu d'information obtenu lors de l'imagerie est déterminé par le type du détecteur d'image et de la cinématique de l'objet (mouvement, disposition de l'ensemble tube/ récepteur d'image). La géométrie du faisceau conique des systèmes *CBCT* permet la génération directe d'un ensemble de données de volume 3D "authentique" de l'objet à l'aide d'un détecteur 2D et d'une seule rotation de 180 degrés autour de l'objet. [28]

2.2. Acquisition des données :

Le patient est en position assise ou debout (sachant que la majorité des appareils sont verticaux) ou couché sur un lit (NewTom 5G, se présente comme un scanner, le lit s'engageant au centre d'un anneau porteur du couple tube-captteur plan), la tête maintenue dans une têtère, au mieux sanglée. La contention est importante et souvent déterminante en *cone beam*, afin d'éviter les artéfacts cinétiques, qui gênent souvent l'interprétation. Il est avoué que la position assise est génératrice d'artéfacts que la position debout, et induit ainsi, une sensation de malaise chez certains patients. Les constantes d'acquisition sont définies : champ de vue, de 4x4 cm à 30x30 cm selon les machines, de même que l'exposition : tension en kV (de 50 à 11Kv), l'intensité (mA) et temps de pose, selon la corpulence du patient et la résolution souhaitée

L'acquisition du volume s'effectue ensuite en un temps variable de 9 à 30 secondes tout dépend des machines et des programmes, pendant ce temps le patient est prié de ne pas bouger ou déglutir. Ce temps correspond à l'acquisition des données brutes (*Raw data*), ces données sont stockées et transformées en volume exploitable par reconstruction d'image. [20]

2.2.1. Les récepteurs :

Il existe deux récepteurs en CBCT : Les récepteurs amplificateurs de luminance dits de brillance et les récepteurs plan (détecteur à écran plat) (FPD) flat panel detector. Les images du sujet sur chaque détecteur ont été agrandies par environ 1,5 fois.

2.2.1.1. Récepteur amplificateur de luminance :

Le détecteur d'intensificateur d'image se compose d'un intensificateur d'image à rayons X 900, d'une optique et d'une caméra de télévision CCD (**Fig21.2b**). Le faisceau de rayons X est converti en signal optique par l'écran phosphorescent d'entrée; ce signal est à son tour converti en électrons par l'écran de photocathode. Les électrons sont accélérés par le champ électrique

à l'intérieur de l'intensificateur d'image et converti en signal optique à l'écran phosphorescent de sortie. L'intensité du signal optique est réglée par l'iris optique ; le signal est alors détecté par le CCD. L'image lue comprend une distorsion géométrique et un élément de flou de l'éblouissement voilé généré par l'intensificateur d'image. Le champ d'exploration de ce détecteur est le plus souvent circulaire (volumes sphériques) plutôt que rectangulaire (volumes cylindriques). Ces systèmes ont tendance à être relativement grands, dans ce système, la correction du décalage et de la sensibilité des capteurs et la distorsion du détecteur sont appliquées pour réduire l'intensité des artefacts dans l'image reconstruite.

2.2.1.2. Récepteur plan :

Se compose de deux composants : un scintillateur Csi milieu qui convertit le rayonnement X en signal optique et un détecteur de photons dits photocapteurs. Le réseau de photocapteurs est constitué de photodiodes et de dispositifs de commutation. Qui convertit la lumière en signal électrique, qui peut puis être numérisé, et qui est à son tour lu par la matrice de dispositifs de commutation. Dans le détecteur à écran plat les éléments du capteur sont produits dans une mince couche de silicium amorphe (a-Si) et un grand détecteur est donc réalisable. L'écran plat ne génère pas d'éblouissement voilé ou de distorsion dans l'image et a un détecteur plus petit que celui d'un détecteur à intensificateur d'image. Le panneau plat du détecteur est différent du détecteur de l'intensificateur d'image en son sens qu'il n'a pas d'iris optique comme moyen direct ce qui rend difficile d'empêcher la saturation des pixels, la correction des pixels saturés, des pixels défectueux, des décalages et de la sensibilité du détecteur est appliquée dans le nouveau système et réduit l'intensité des traînées et des artefacts circulaires dans les images reconstruites. Le détecteur à écran plat dispose de trois modes de fonctionnement : un mode non joueur de 1 £ 1, un 2 £ 2 en mode *binning* et 4 £ 4 en mode *binning* (Tableau 1). Les FPD ont des limites dans leur rendement y compris la linéarité de la réponse au rayonnement spectre, manque d'uniformité de la réponse dans toute la zone du détecteur et pixels non fonctionnels possibles. Pour surmonter cela, les unités avec FPD doivent être recalibrés périodiquement, facteurs de qualité tels que la taille du détecteur, la taille des pixels électronique, le bruit, la sensibilité et la vitesse de lecture dépendent sur la technologie et les spécifications techniques du détecteur. [21.30]

Table 1 Parameters of the detectors

Mode	Flat panel detector			Image intensifier detector		
	1 × 1 no binning	2 × 2 binning	4 × 4 binning	4.5"	7"	9"
Detector pitch (mm)	0.127	0.254	0.508	0.239	0.344	0.438
Measured image matrix (pixel)	1536 × 1920	768 × 960	384 × 480	512 × 512	512 × 512	512 × 512
Detector field of view (mm)	185 × 244	185 × 244	185 × 244	φ122	φ176	φ224
ADC bit number (bit)	12	12	12	12	12	12
Frame rate (frame s ⁻¹)	4	15	30	30	30	30

ADC, apparent diffusion coefficient

Tableau 1 : Paramètre du détecteur. [30]

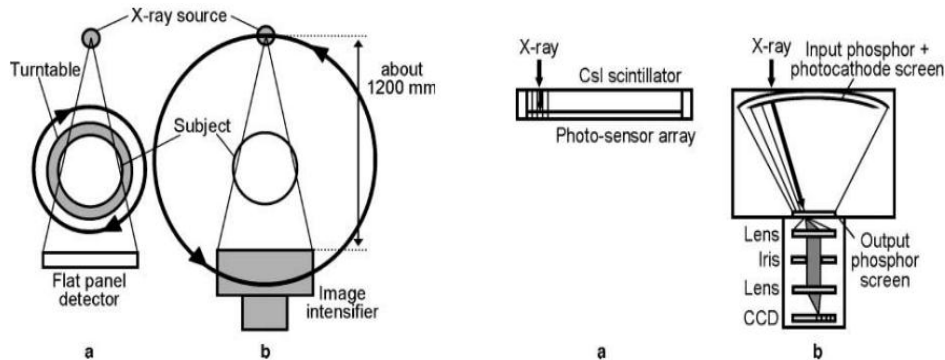


Figure 1 Experimental set-ups (top view): (a) flat panel detector system; (b) image intensifier detector system

Figure 2 Components of the detectors: (a) flat panel detector; (b) image intensifier detector

Figure21 : Les détecteurs. [30]

2.3. La reconstruction de l'image :

Les données enregistrées par le détecteur sont dites « brutes ». Elles sont ensuite exportées au niveau des consoles secondaires par l'intermédiaire d'un serveur pour reconstituer l'objet dans ces pixels et réaliser les différentes reconstructions dans tous les plans de l'espace. Grâce à des logiciels utilisant des systèmes d'algorithmes sophistiqués on obtient une image dans les trois dimensions de l'espace par conversion des pixels en voxels. Il existe de nombreuses éventualités de reconstruction de l'image, elles peuvent être primaires, secondaires ou tridimensionnelles. [4.26.29]

2.3.1. Reconstructions primaires du volume exploitable :

Elle se divise en deux catégories :

- Les reconstructions bidimensionnelles nommées « directes » (2D axiales, frontales et sagittales, obtenues à partir des données brutes), qui peuvent être reproduites sur un film radiologique par exemple.

- Les reconstructions *DICOM* (*digital Imaging and communication in medicine*); images rétablies selon le plan axial, autorisant l'exploitation de logiciels spécialisés et permettant d'obtenir des reconstructions secondaires. [26.29]

2.3.2. Reconstructions secondaires :

Elles sont donc obtenues grâce aux reconstructions DICOM. Elles sont deux types ; multi-planaires et denta scanner. Le caractère isotrope des voxels en *cone beam* autorise des reconstructions axiales secondaires dans un axe différent de celui de l'acquisition, par exemple perpendiculaire à celui des dents, permettant d'obtenir des reconstructions verticales (panoramique, vestibulo-linguales, orthogonales, « trans-axiales » ou cross-sectionals) strictement dans l'axe implantaire, pour des mesures de hauteur fiables.

- Les reconstructions multi-planaires (ou *MPR ; multiplanar reconstructions*); sont comme les reconstructions directes, bidimensionnelles (2D axiales, frontales ou sagittales ou obliques) et 3D.



Figure22 : (a) Résorption interne de 36. Reconstruction sagittale
(b) Résorption interne de 36. Reconstruction frontale. [6]

- Les reconstructions dentascanner (ou MPR courbes) sont réalisées selon le plan axial, panoramique (parallèle à la crête alvéolaire), orthogonal à la crête et associées, elles peuvent nous permettre d'obtenir des reconstructions 3D à la demande.

En endodontie le choix est orienté vers les reconstructions secondaires ou rétro-constructions ; elles sont obtenues à partir des reconstructions primaires axiales ou des données brutes, elles permettent la réalisation d'images en ultra-haute résolution (UHR) à voxels de 75 à 80 μm d'arête. Ces images plus définies sont potentiellement plus bruitées et exigent des outils de « filtrage » du bruit pour leur exploration. Elles sont utiles pour le diagnostic canalaire et des fêlures, d'un quatrième canal MV2 des premières molaires maxillaires (**Fig23**), du trajet fistuleux d'un foyer d'ostéite, un canal secondaire d'une incisive mandibulaire, un instrument cassé lors d'un précédent traitement, une obturation endodontique incomplète ou résorbée, en cas de suspicion de sinusite odontogène,..), voire pour le diagnostic d'ankylose limitée. [26.29]

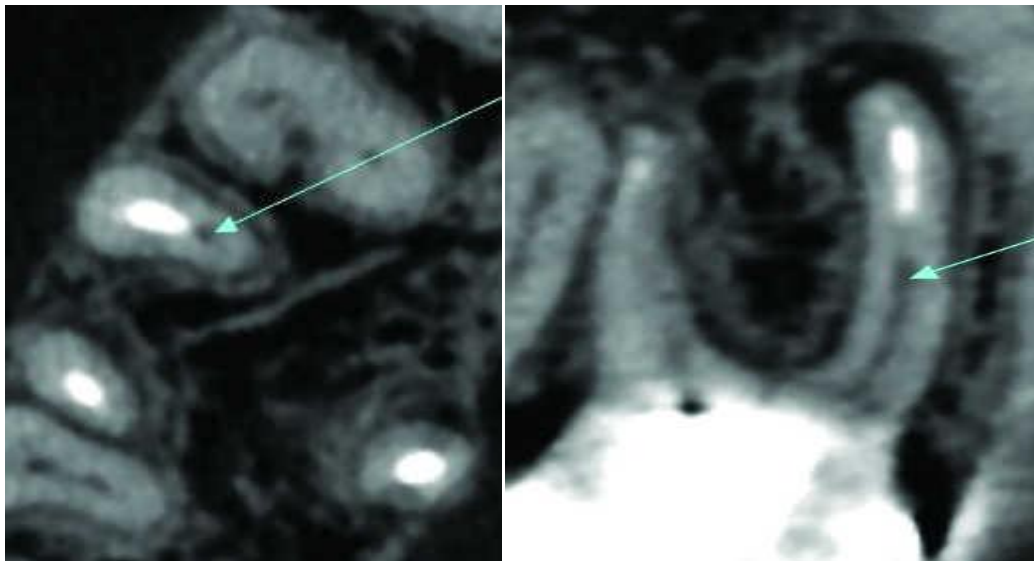


Figure 23 : 4ème Canal MV2 16. Reconstruction axiale/ 4ème Canal MV2 16. Reconstruction frontale. [6]

2.3.3. Les reconstructions tridimensionnelles 3D :

Le « volume voxélisé » s'exporte de plus en plus en dehors du site d'imagerie et sera exploité par des logiciels dédiés pour une simulation à visée chirurgicale préopératoire et peropératoire en implantologie, en orthodontie ; pour l'évaluation céphalométrique, pour visualiser les rapports de dents ou de structures incluses avec les structures anatomiques ou pour plus facilement appréhender une dysmorphose ou encore pour la modélisation prothétique. Elles peuvent offrir un rôle didactique mais aussi réellement diagnostique.

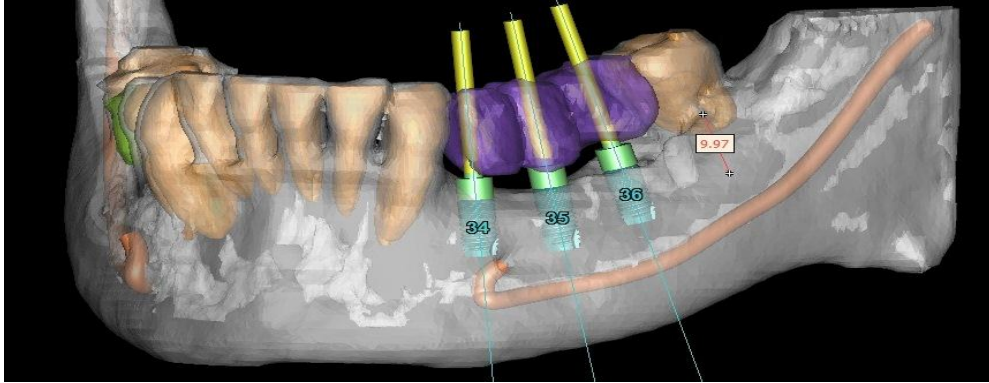


Figure24 : Reconstruction 3D montrant les implants virtuels et leurs rapports avec le canal mandibulaire. [26]

Les modèles tridimensionnels nécessitent de nombreux calculs. La plupart des ordinateurs, même conventionnels, possèdent une unité de traitement dédiée permettant de créer des modèles 3D et des rétro-constructions en un temps optimal. La lecture de leurs images ne peut se concevoir indépendamment de celle des reconstructions 2D dont elles sont le complément. [26.29]

2.4. L'affichage de l'image :

On obtient des images au format 1/1 c'est-à-dire 1 sur l'image représente 1 dans la réalité. Les images sont ainsi obtenues par la transmission des données numériques à un ordinateur et elles sont traitées par la suite par des algorithmes, ces images seront observables sur un ordinateur et exportables au format *DICOM*, ce qui va permettre un échange entre les praticiens à partir de n'importe quel type d'appareil vers un autre. [29.31]

3. Les différents types de *cone beam* :

D'après Gavézian et Pasquet « il n'y a pas un *cone beam* mais des *cones beam* », les *cone beam* sont classés en fonction des caractéristiques différentes. [29]

3.1. En fonction de la position du malade :

Aussi les appareils *cone beam* peuvent être classés selon la position du malade qu'il peut être assis ou debout, dans ces deux dernières le *cone beam* ressemble alors à un panoramique et ne prend pas de place, ce qui facilite son expansion dans les cabinets d'omnipraticien. Aussi le *cone beam* à position allongée se présente comme un scanner, c'est pour cela qu'il n'est pas très présent dans les cabinets dentaires à cause de la place qu'il nécessite, l'objectif étant que le patient soit le plus stable possible pour éviter tout mouvement qui créerait des artefacts cinétiques.[32]



Figure 25 : Montrant les types d'appareil *cone beam* Moritaaccuitomo assis (à gauche) /Newtom 5G couché (à droite). [20]



Figure 26 : Montrant un *cone beam* qui travaille à position debout. [27]

3.2. En fonction du champ de vue (*Field of view*) :

Est défini comme la mesure dont le monde est observé tel que vu à un temps donné, et lors de l'acquisition pour correspondre à l'étude envisagée, aussi il peut être reconsidéré à l'occasion de reconstruction secondaire pour préciser une structure à l'aide de voxels de plus petite taille. [20]

On peut définir trois types d'appareil :

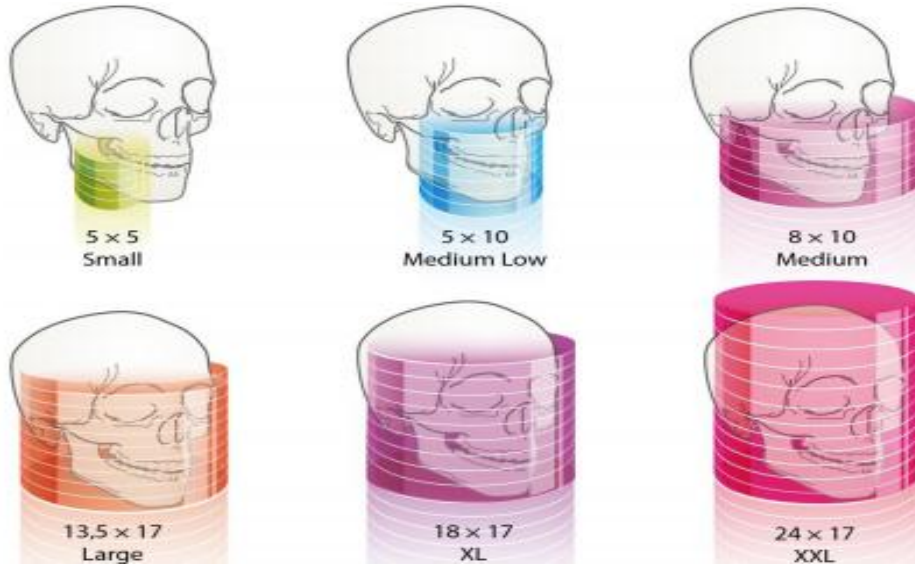


Figure 27: Champs de vue proposés par le conebeamScanora 3Dx couvrant l'ensemble des besoins en exploration 3D. [26]

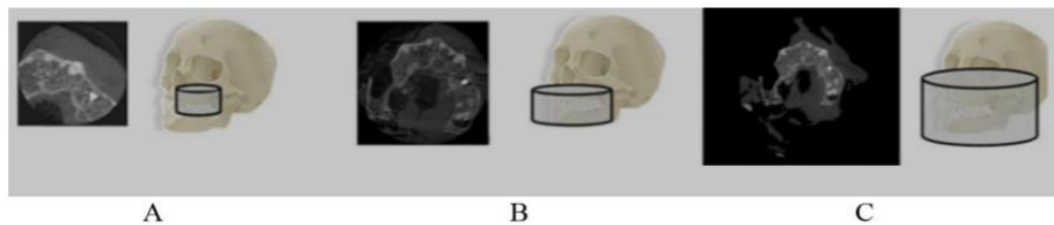


Figure 28 : Montrant les différents champs d'exploration. [33]

A : les petits champs B : les moyens cham C : les grands champs

- Les appareils à petit champ, inférieur ou égal à 8 cm de diamètre, correspondant au champ dentoalvéolaire, recommandé pour les chirurgiens-dentistes. Parmi leur avantage on trouve : Coût relativement bas, du fait surtout de capteurs de petite taille, Irradiation a priori limitée, définition élevée à pixels de 75 à 200 μm selon le modèle, encombrement réduit (couplage à un panoramique dentaire voire à une téléradiographie du crâne). [20]

	KODAKKODAK9000 3D	VATECHPAX UNI3D	MORITAVVP3D	PLANMECAPROMAX3D
Détecteur (capteur)	C MOS	C MOS	C MOS	C MOS
Temps de rotation(S)	9,4	8,3	9,4	18
Champs (cm)	5 x3 ,7	5x5x8	4x4 -4x8 -8x8	4x5 -8x8
Taille de pixel (um)	76,5	186	125	150

Dose efficace (uSv)	20 à 96(IRSNI)	Moins de 50(Lee)	20 à 96(Hirsch)	450 à 600(Ludlow)
---------------------	----------------	------------------	-----------------	-------------------

Tableau2 : Montrant les caractéristiques des appareils CBCT à petit champs. [34]

- Les appareils à champ moyen, de 9 à 14 cm de diamètre, permettant l'exploration complète en une acquisition d'une ou des deux mâchoires voire des articulations temporo-mandibulaires. Cependant, ces champs d'exploration sont le plus souvent inclus dans des appareils à grand champ.
- Les appareils à grand champ, d'au moins 15 x 15cm, pouvant explorer l'ensemble des sinus, utiles en orthodontie, en ORL et en chirurgie maxillo-faciale. [20]

	SIRONA GALILEOS	NEWTOM VG	ICAT	MORITA ACCUTOMO	E-WOO MASTER	Scanner optimisé GE 64 barrettes
Détecteur	Amplificateur de brillance	Capteur plan	Capteur plan	Capteur plan	Capteur plan	Barrettes de détecteurs
Temps de rotation (S)	14	18 ou 24	5-8,5-26	18 ou 30	15 ou 24	1-10
Champs (cm)	15x15	12x7 15x15	16 à 22	4x4, 6x6, 8x8 ,10x14 17x12	16x7, 16x10 20x15	13 à 25
Taille de pixel (um)	150 à 300	150 à 250	125 à 400	80 à 250	200 à 400	250
Dose efficace (uSv) Ludlow et coll Hirsch et coll (Selon constructeur)	68 à 120	50 à 120	69 à 247	20(4x4) 44(6x6) 96(8x8) 120 Pour les grands champ	183 à 360	100 à 200 par arcade soit pour deux arcades 200 à 300 (GE) 554 pour le (SIEMENS)

Tableau 3 : montrant les caractéristiques des appareils CBCT à grand champs. [34]

3.3. En fonction de la résolution spatiale :

La résolution spatiale est définie comme la capacité d'un système de discerner deux petites structures proches, elle est supérieure à celle de la TDM, surtout en cas d'utilisation de voxels isotropes de petite taille (70 à 160 μm) (*Newtom 5G**, *Morita Accuitomo**...). Elle peut être moins bonne si les voxels dépassent 250 μm . Ainsi, pour améliorer la résolution spatiale, on peut diminuer la taille du champ de vue et/ou augmenter la taille de la matrice pour des voxels de taille réduite, ainsi augmenter la tension (kV) et diminuer l'épaisseur des reconstructions.

La plupart de ces appareils proposent le choix de champs multiples, avec voxels de taille variable et deux types de résolution par champ :

- Résolution standard ou basse (voxels de 200 à 300 μm), à relativement faible dose, pour les moyens et grands champs
- Résolution haute (voxels de 125 à 160 μm) à plus forte dose, pour les petits et moyens champs, autorisant pour certains les reconstructions secondaires en Ultra-haute Résolution à voxels de 70 à 80 μm (*Newtom VGi et 5G** et *Morita Accuitomo**). [26]

4. Limites et inconvénients :

4.1. Bruit et artéfacts :

La qualité des images du *cone beam* est le plus souvent satisfaisante, toutefois elles présentent certains inconvénients, la présence de bruit et d'artéfacts peuvent altérer leur lisibilité. [20]

4.1.1. Le bruit :

Le bruit dégrade la qualité de l'image et se manifeste par une diffusion de pixels gris sans rapport avec la structure imagée.

Le bruit provient de trois sources principales :

4.1.1.1. Bruit quantique :

Parfois aussi appelée motte quantique, il s'agit de la diffusion aléatoire du gris sur une image. Il s'agit de la source du bruit la plus importante en imagerie et elle est essentiellement dû à l'incertitude du processus de détection de photons. Si le nombre de photons détectés augmente, l'effet de motte semble réduit. Ces effets peuvent être minimisés aussi en augmentant l'intensité du signal et donc la dose d'irradiation.

4.1.1.2. Bruit structural :

Les variations d'efficacité de la plaque du détecteur [dans la chaîne de détection, de

transmission et de numérisation du signal peuvent causer un bruit structurel, cela peut être un problème avec les scanners *CBCT* les moins sophistiqués (et généralement moins coûteux). Les plus sophistiqués (et généralement plus cher) sont moins susceptibles de souffrir de ce type de bruit en raison de contrôle de qualité plus élevé pendant la fabrication.

L'utilisation d'algorithmes de reconstruction plus complexes peut également réduire la visibilité du bruit structural. En cas d'image en haute résolution, à voxels de 70 à 125 μm , il est souvent utile d'épaissir simplement les coupes axiales, à taille de voxel constante, pour obtenir d'emblée une amélioration du rapport signal sur bruit.

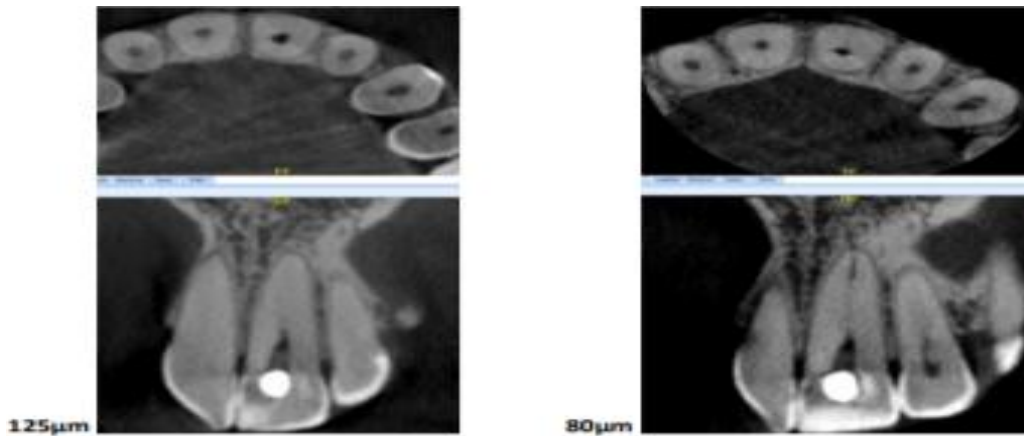


Figure 29 : « Bruit » accru sur reconstructions très fines, à voxels de 80 μm ,
Montrant plus de détails cependant que sur les reconstructions à 125 μm . [20]

4.1.1.3. Bruit électronique :

Tous les ordinateurs souffrent de bruit électronique, qui est l'altération d'un signal pendant qu'il passe dans un circuit imprimé. Heureusement, le bruit électronique est normalement impossible à distinguer si un ordinateur moderne est utilisé.

Plus le signal d'une image est supérieur au bruit qui le compose, meilleurs sont le rapport (Signal/Bruit) et la qualité de l'image résultante, aussi bien en contraste qu'en résolution spatiale. [20.34]

4.2. Artéfacts :

Un artefact est une erreur visible dans les données de volume, qui n'est pas présente dans l'objet visualisé, a conséquence de fausses images qui peuvent nuire à l'interprétation. Il est donc primordial de les repérer pour éviter toute erreur ou piège diagnostiques. Chaque acquisition *CBCT* comportera un certain degré d'erreur de données du volume, mais elles ne

sont pas toujours visibles. [34]

Les artéfacts ont trois origines, artéfacts métalliques, cinétiques et artéfacts de capteurs.

4.2.1. Artéfacts métalliques :

Ils sont moins fréquents sur les appareils *cone beam* bien calibrés. Cependant, certains *cone beam*, surtout si leur capteur est mal calibré, peuvent présenter des artéfacts encore plus importants et plus gênants qu'au scanner.

Le faisceau de rayons X est poly énergétique à la sortie du tube radiogène. Ses rayons de plus basse énergie sont atténués en priorité lors de la traversée d'un objet de forte densité : on dit que ce faisceau de rayons X filtré est « durci ».

Ces artéfacts métalliques sont le plus souvent causés par ce phénomène de durcissement du faisceau ainsi que par le rayonnement diffusé. On note alors la présence de plages de perturbations hypo denses, plus ou moins intenses (zones d'ombre, bandes sombres), de stries radiaires noires ou blanches, qui sont centrées sur les structures métalliques.

En scanner, les logiciels de reconstructions itératives permettent de réduire significativement ces artéfacts métalliques et/ou de réduire les doses d'exposition. L'application de tels algorithmes en *cone beam* est à l'étude.

En pratique, pour limiter ces artéfacts, il est nécessaire de retirer tout objet métallique amovible susceptible de se retrouver dans le champ exploré (prothèses adjointes, bijoux, piercing...). [20.34]

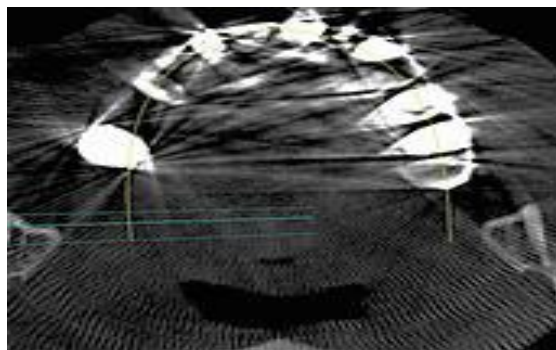


Figure 30 : Stries radiaires dues au durcissement du faisceau. [20]

4.2.1.1. Effet de mach ou effet de bord :

L'effet de bord se présente sous forme d'un liseré noir autour ou à proximité d'une structure dense (implant, prothèse, tenon, inlay-core...) en fort contraste par rapport à l'os alvéolaire, ce qui pourrait faire penser à une alvéolyse péri-implantaire par exemple, cet effet

est atténué ou annulé par une diminution de contraste. [20]

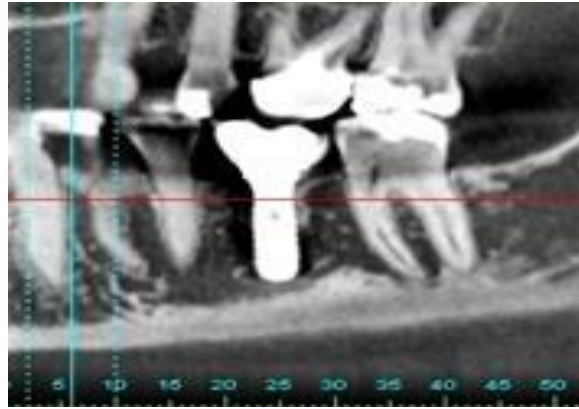


Figure 31 : Effet de bord autour d'un implant de 36 bien ostéo-intégré. [20]

4.2.1.2. Artéfacts métalliques de couronne :

Ces artéfacts métalliques s'expriment par des bandes blanches ou noires ou mixtes, parfois en « feu d'herbe » situées strictement à la hauteur des couronnes du fait du caractère horizontal du centre du faisceau, parallèlement au plan occlusal.

Ces artéfacts de couronne sont cependant peu ou pas gênants en implantologie car ils se situent généralement à distance de la crête osseuse et des procès édentés. [20]

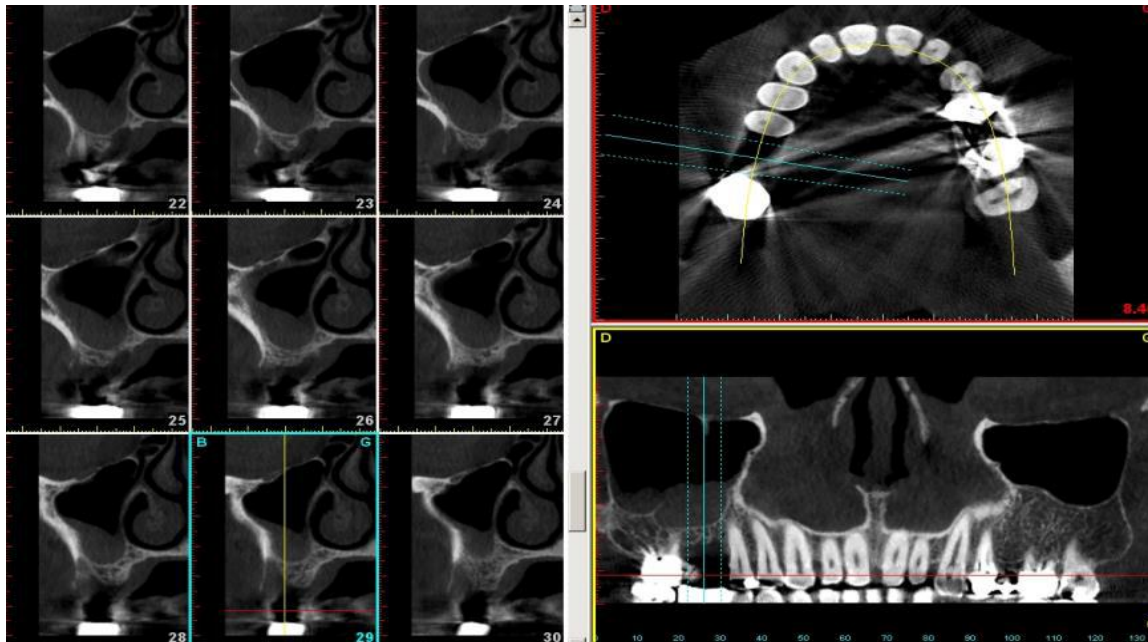


Figure 32 : Artéfacts métalliques de couronne (région de 16) peu ou pas gênants car à distance de la crête édentée. [20]

4.2.1.3. Artéfacts métalliques radiculaires :

Les artéfacts radiculaires sont dus principalement aux tenons intra-radiculaires, aux inlay-core et aux piliers implantaires.

4.2.1.4. Artéfacts implantaires :

- Implant cylindrique

L'effet mach ou « effet de bord » est classique, surtout en cas de fortes doses (images en haute définition), il s'observe sur les reconstructions « dentascanner » (*Curved MPR*) dites « coronales » ou orthogonales « *cross-sectionals* » et se caractérise par la répétition de l'effet de bord sur des reconstructions orthogonales adjacentes, même à distance de l'implant, et afin de limiter ou d'éviter ces artéfacts, il faut diminuer les constantes de dose (kV et mA).

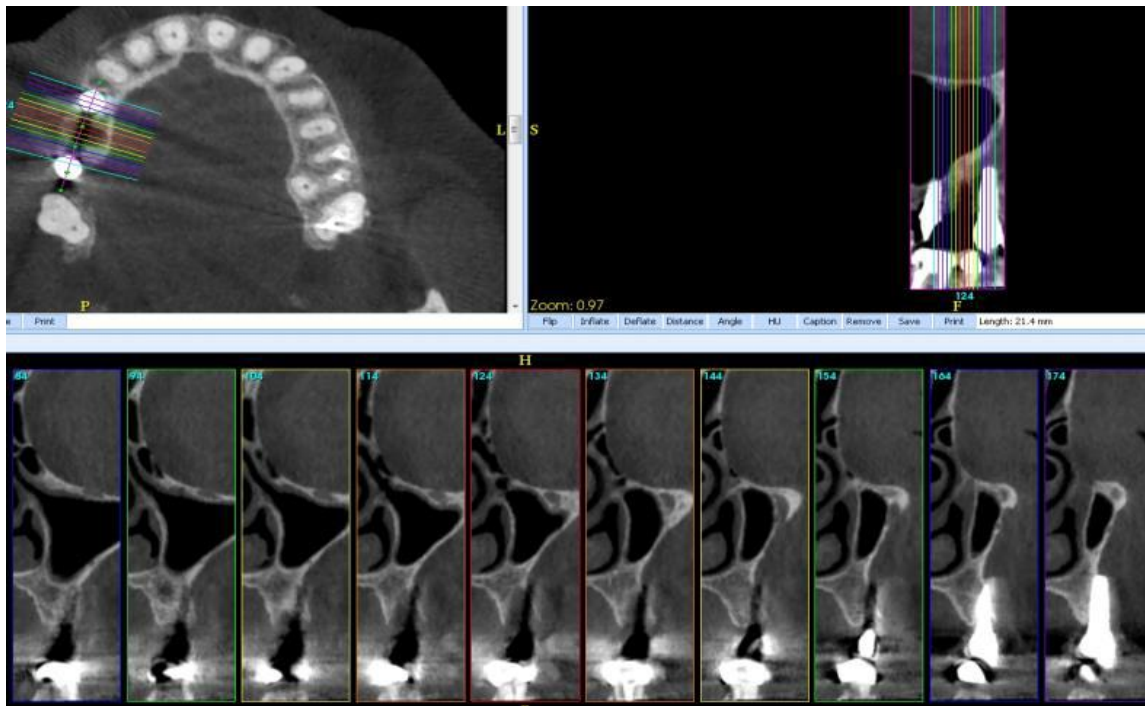


Figure 33 : « Echo de bord » : effet de bord implantaire (implants en 14 et 16) répétés sur les reconstructions adjacentes de la région de 15. [20]

- Implant aiguille

Devenus rares, ils rendent impossible l'interprétation en scanner et apparaissent moins susceptibles aux artéfacts en *cone beam*. [20]

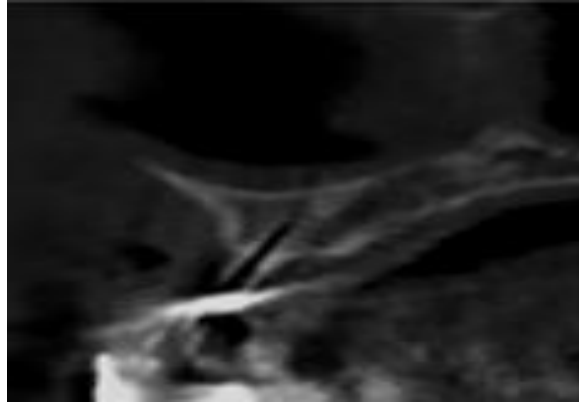


Figure 34: artefact d'implant aiguille. [20]

4.2.1.5. Autres artéfacts métalliques :

- Objets métalliques se situant dans le champ du faisceau de rayons X :

Essentiellement les piercings et les boucles d'oreilles, à ôter si possible avant l'examen.

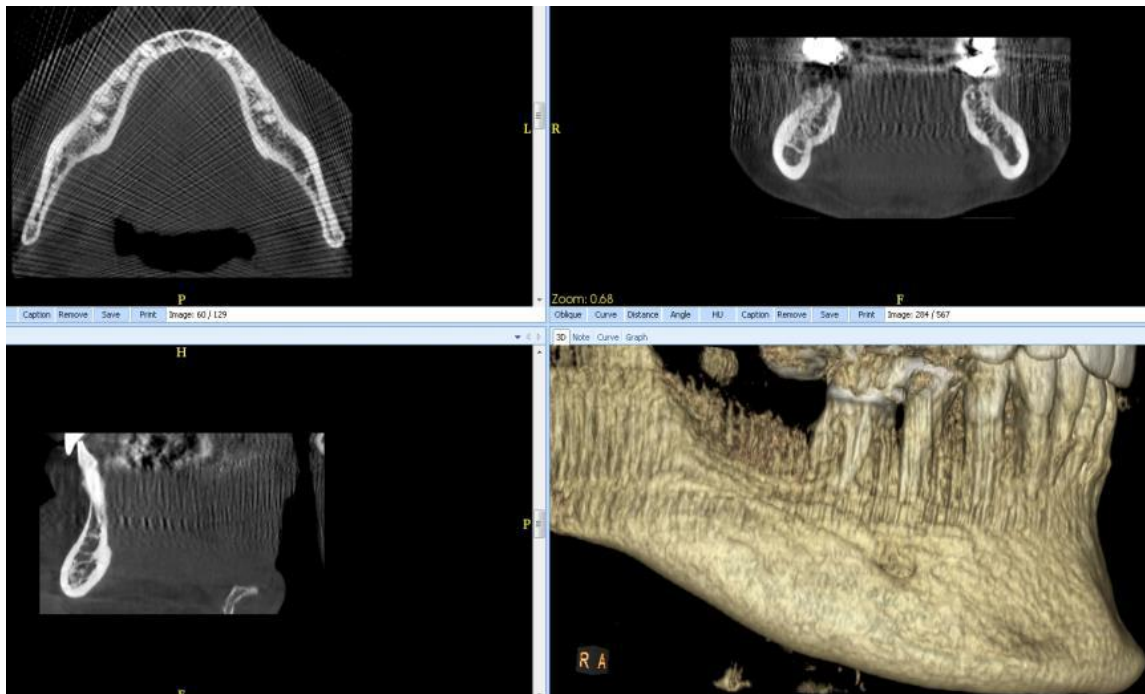


Figure 35: Boucles d'oreilles : artéfacts sur tous les plans et même en 3D. [20]

- Fausses images lacunaires : Pouvant mimer une carie ou une résorption coronaire ou radiculaire, souvent à proximité d'un amalgame ou d'une prothèse métallique. Le diagnostic n'est parfois possible qu'en confrontant les différents plans de reconstruction, sur lesquels l'image pathologique peut sembler très différente voire absente. [20]

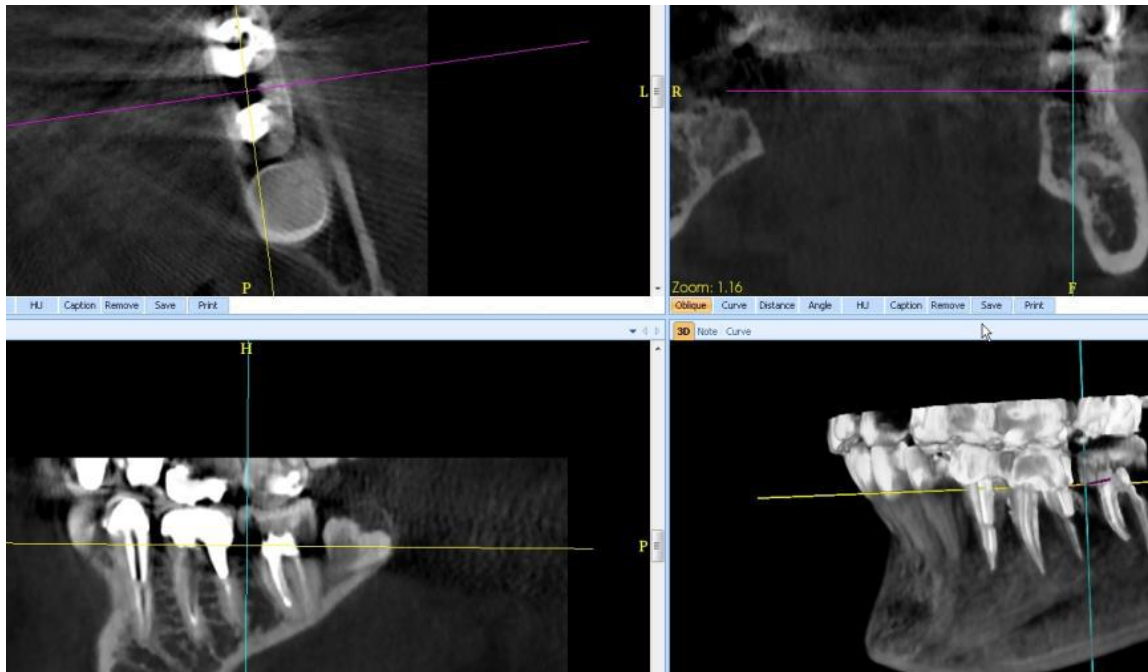


Figure 36 :Pseudo-carie due à une fausse image lacunaire artéfactuelle. [20]

Cependant, pour lutter contre les artefacts métalliques un algorithme du nom de MARS (*Metallic Artefacts Réduction Software*) est proposé depuis quelques années. Il détecte les éléments métalliques présents dans la cavité buccale et acquiert ainsi de manière différente les données, sans pour autant modifier la résolution spatiale de l'image. Il supprime ainsi les bandes d'ombres et les stries autant que possible. Cela nous permet d'avoir une image plus claire, et ainsi de faciliter le diagnostic. [20]

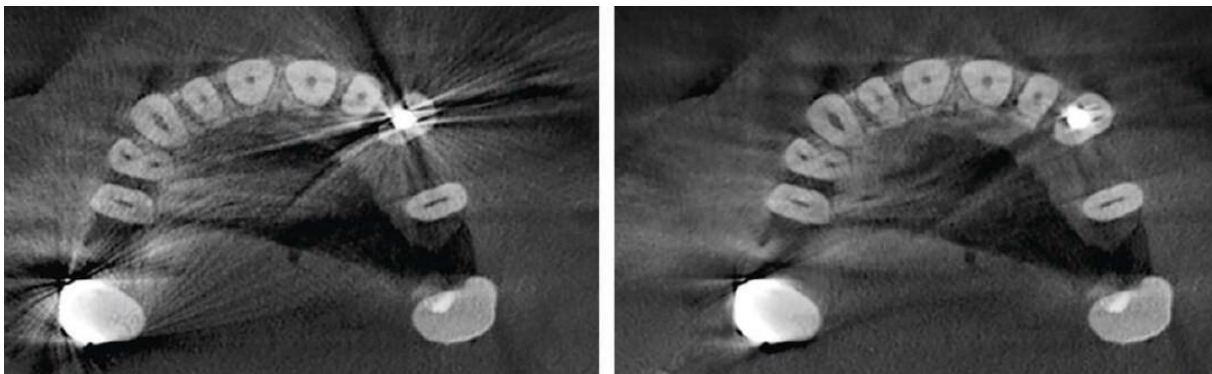


Figure 37 : cone beam réalisé sans MARS (à gauche) et cone beam réalisé avec MARS (à droite). [20]

4.2.2. Artéfacts cinétiques :

Ces artéfacts sont dus aux mouvements du patient et s'expriment par un dédoublement des contours des différentes structures. La définition de l'image est alors dégradée par un flou cinétique important qui peut parfois être responsable de mesures erronées.

Ces artéfacts cinétiques sont plus fréquents qu'au scanner du fait des temps de pose plus longs (jusqu'à 30 secondes pour le Morita Accuitomo F17* et le Newtom 5G*). Pour réduire les artéfacts cinétiques, il faut :

- Des moyens de contention efficaces afin de limiter les mouvements de la tête du patient : appuis ou scratches frontaux et occipitaux, pièces à mordre pour limiter les mouvements de la mandibule
- Un temps d'acquisition le plus court possible.
- Une coopération du patient pour limiter les mouvements physiologiques (ainsi que la déglutition voire la respiration quand le temps de pose est court)
- L'immobilité du patient est nettement meilleure quand celui-ci est allongé (95% des images avec des artéfacts imperceptibles), plutôt que debout ou assis (68% des images avec des artéfacts imperceptibles)

Pour des patients très jeunes ou atteints de troubles neurologiques comme la maladie de Parkinson et dans les cas où des artéfacts cinétiques rendent la lecture de l'examen *cone beam* délicate ou impossible, il est souvent préférable de prescrire en seconde intention un examen scanographique à temps de pose ultra-court (1 à 4 secondes pour les scanners 64 barrettes actuels).

Par ailleurs, les artéfacts cinétiques peuvent être parfois localisés seulement à une portion d'arcade et si l'exploration porte sur une partie exempte d'artéfacts, l'examen peut être validé. [20]

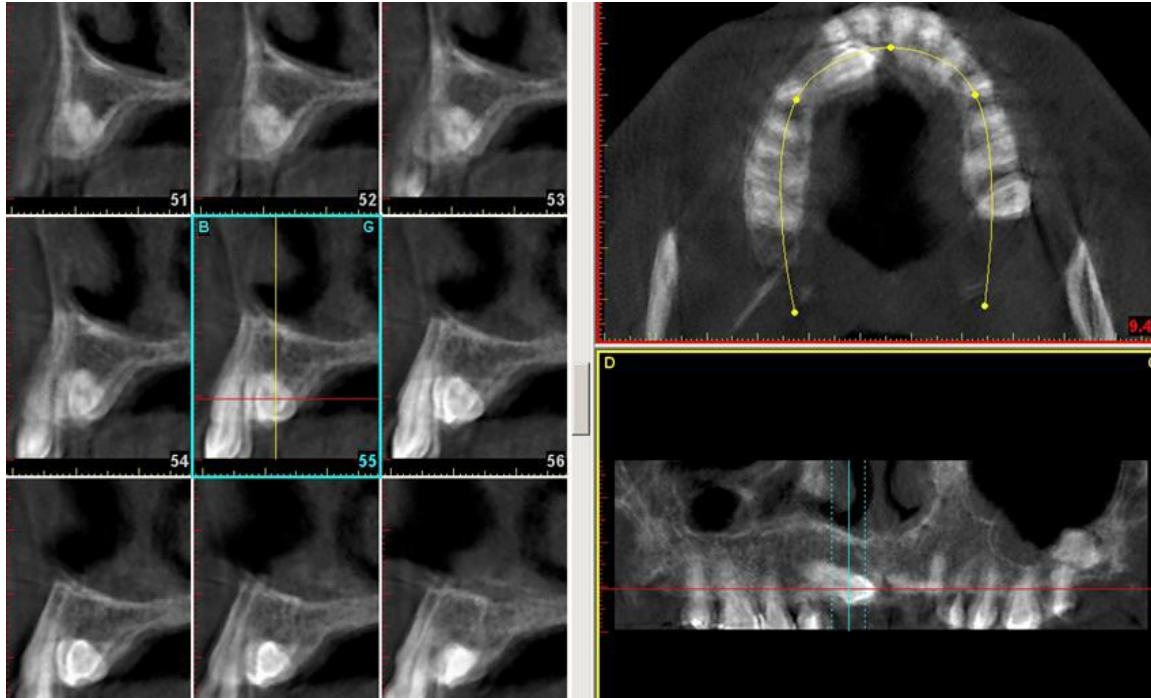


Figure 38 : Artéfacts cinétiques avec double contours : interprétation impossible. [20]

Enfin, les artéfacts cinétiques amplifient les artéfacts métalliques et inversement : les deux types d'artéfact se potentialisent

4.2.3. Artéfacts de capteurs :

Les artéfacts de capteurs représentent une faille au niveau de la détection :

Capteurs défectueux ; les artéfacts de calibration sont dus au mauvais centrage du faisceau X par rapport aux détecteurs. On distingue surtout les artéfacts de cible et les artéfacts de contraste.

4.2.3.1. Les artéfacts de cibles :

Naissent d'un vide d'informations au niveau des projections. Essentiellement dans les parties molles, ils se présentent sous forme de cercles d'intensité variable sur les coupes axiales, centrés par l'axe de rotation et des lignes verticales hypo ou hyperdenses sur les reconstructions verticales.

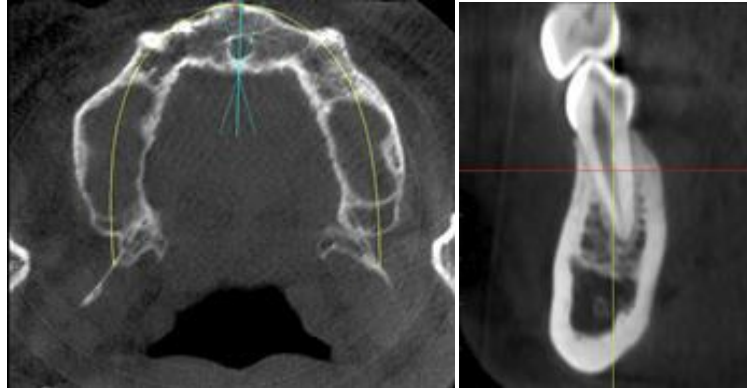


Figure 39: Artéfacts de cible sur coupes axiale (a) et orthogonale (b). [20]

4.2.3.2. Les artéfacts de contraste :

S'observent en cas de contraste important, par exemple si un implant est exploré par un *cone beam* au capteur mal calibré : on note une différence de contraste accrue et brutale entre la bande d'image comprenant l'implant et les bandes sus ou sous-jacentes.

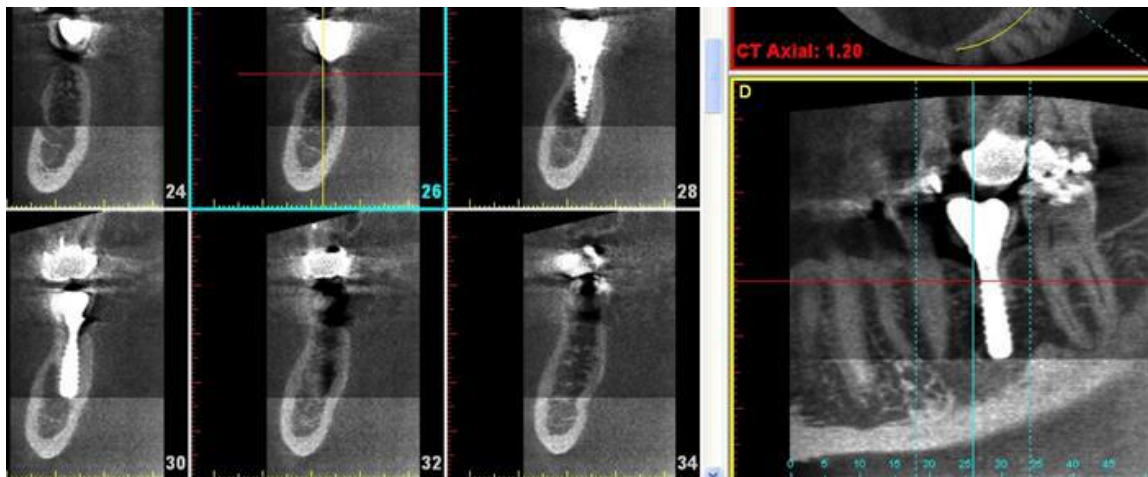


Figure 40: Artéfact de contraste dû à un capteur mal calibré. [20]

Les solutions pour atténuer ces artéfacts sont la bonne calibration du couple tube-détecteurs et, en cas d'échec, une maintenance technique voire le remplacement d'un capteur défectueux. [20]

5. *Cone beam* versus scanner :

Le scanner et le *cone beam*, deux outils de diagnostic qui ont en commun le pouvoir de fournir des clichés en coupes fines du volume à étudier sous plusieurs angles, présentent cependant d'importantes différences. [36]

5.1. Principes et techniques d'acquisition :

Ces deux outils se différencient principalement par leurs configurations. Le *cone beam* est pourvu d'un générateur de rayons X qui émet un faisceau de forme conique, une forme caractéristique et propre au système, et qui le différencie du scanner dont le générateur émet un faisceau de rayon X mince. [20]

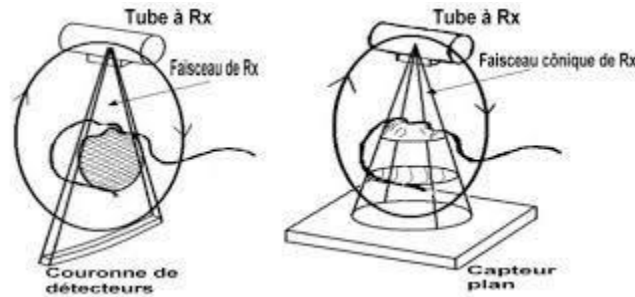


Figure 41 : Principes comparés du scanner et du cone beam. [20]

Le *cone beam* ne fonctionne qu'avec un seul capteur, le scanner nécessite un ensemble de détecteurs pour acquérir les images. [37]

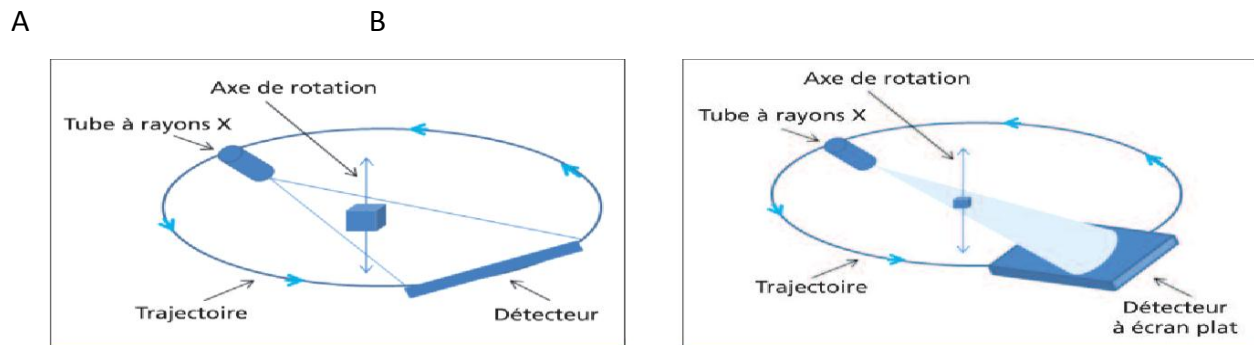


Figure 42 : (A) schéma de la tomographie conventionnelle bidimensionnelle (B) schéma de la tomographie volumique à faisceau conique tridimensionnelle. [31]

Le volume étudié est constitué de plusieurs voxels dont le côté est de la taille d'un pixel mesuré en micromètres (μm), chaque voxel obtenu mesurant entre 70 et 500 μm de côté.

Les voxels obtenus en *cône beam* sont dits isotropes ou isométriques. Le volume ainsi obtenu à partir des projections *cone beam* (acquisitions) est reconstruit par ordinateur en coupes axiales 2D, alors que théoriquement, le scanner obtient un volume à partir de coupes 2D, ce qui a fait dire que « le scanner produit de la 3D à partir de coupes 2D, alors que le *cone beam* produit des coupes 2D à partir d'une acquisition 3D ». [20]

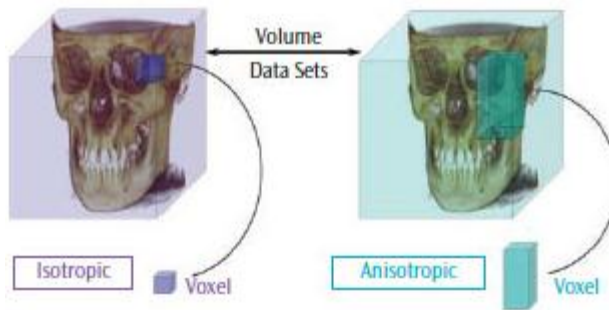


Figure 43 : Comparaison des ensembles de données de volume obtenus isotropiquement (à gauche) et anisotropiquement (à droite). [21]

Ainsi, le scanner traditionnel avec son faisceau mince, effectue plusieurs coupes linéaires se superposant lors des multiples rotations du système. La conicité du faisceau utilisé en *cone beam* lui permet en une seule révolution de balayer l'ensemble de la zone à radiographier. [37]

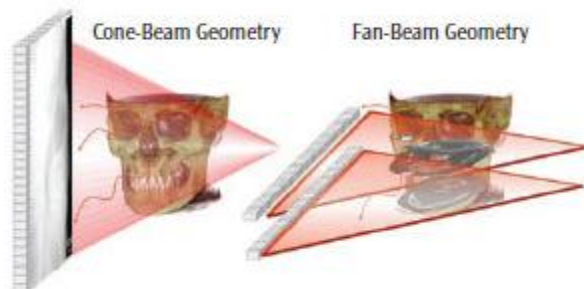


Figure 44 : comparaison de la configuration géométrique du *cone beam* et scanner.[21]

5.2. La résolution spatiale :

Le fait que le *cone beam* soit isotrope et le scanner anisotrope constitue une différence importante car le *cone beam* a une résolution identique dans tous les plans de l'espace alors que le scanner lui n'a pas une résolution spatiale identique dans tous les plans mais dans seulement deux. De plus la taille des arêtes est différente entre le *cone beam* et le scanner, pour le *cone beam* la taille minimale des arêtes est actuellement de 80*80*80 micromètres alors que pour le scanner elles sont de 270*270*600 micromètres.

Donc on peut noter que le *cone beam* a une meilleure résolution spatiale que le scanner de par son isotropie et la taille de ses arêtes qui est nettement inférieure à celle du scanner.

[20.21]

5.3. La résolution en densité :

Encore appelée contraste, désigne la capacité d'un système à distinguer deux structures de densité proche. Pour augmenter « potentiellement » la résolution en contraste, on peut :

- Augmenter l'intensité du signal (mA) et donc la dose d'irradiation ;
- Augmenter la taille du voxel en augmentant le champ de vue et/ou diminuant la taille de la matrice.
- Augmenter l'épaisseur des reconstructions.

Le *cone beam* consiste en une simple modulation du noircissement et du contraste, on n'a pas une véritable échelle d'atténuation des niveaux du gris comme pour le scanner avec l'échelle Hounsfield. Le *cone beam* a donc une moins bonne résolution en densité que le scanner. Cela s'explique par le fait que l'intensité du signal est plus faible pour le *Cone Beam* et les voxels sont généralement plus petits.

Le *cone beam* permet donc l'étude des tissus durs (os et dent) et l'étude des tissus mous restent réservées au scanner. [20]

5.4. Les artéfacts :

- Les artéfacts métalliques

Ils seraient moins importants sur les appareils *cone beam* bien calibrés. Cependant, certains appareils, surtout si leur capteur est mal calibré, peuvent présenter des artéfacts encore plus importants et plus gênants qu'au scanner.

Les artéfacts radiculaires sont dus principalement aux tenons intra-radiculaires, aux inlay-core et aux piliers implantaires. Contrairement au scanner où ce type d'artéfacts entraîne une barre noire gênant la visibilité de la crête osseuse et du procès alvéolaire, le phénomène est atténué voire absent en *cone beam*. [20]

- Les artéfacts cinétiques :

Ces artéfacts cinétiques sont plus fréquents au *cone beam* qu'au scanner du fait du temps de pose (d'acquisition) plus long (de l'ordre de 6 secondes pour le scanner et de 15 jusqu'à 30

secondes pour le cone beam) sauf pour le cone *beam* pris en position couché qui montrent un risque de mouvements nul. [20]


5.5. Dosimétrie

Théoriquement, le *cone beam* présente, par rapport au scanner, l'intérêt d'une moindre irradiation (20 à 380 contre 100 à 1300 μSv en scanner) il est dit technique *Low Dose*. En pratique, ceci dépend d'une part de l'appareil *cone beam* considéré et d'autre part du protocole, ainsi que du type de scanner envisagé. Certains appareils *cone beam* s'avèrent en effet plus irradiants qu'un scanner réalisé dans des conditions optimales. [20]

Cela a comme raison que le *cone beam* utilise un tube à rayons X moins puissant. Ainsi le scanner irradie tout le complexe facial, le *cone beam* lui permet de sélectionner uniquement la zone voulue du complexe facial à un volume de quelques dents. [39]

La dose délivrée par les appareils *cone beam* est inférieure à celle du scanner mais demeure significativement plus élevée que celle de la radiographie dentaire conventionnelle, panoramique et intra-orale. Les doses peuvent considérablement varier de 1,5 à 12 par rapport au scanner et de 4 à 42 par rapport au panoramique selon les appareils utilisés, grand ou petit champ. Avec un même appareil, les doses peuvent aussi varier selon le volume exploré et les paramètres techniques retenus. Elles seront d'autant moins élevées que le champ exploré est réduit et les paramètres abaissés. De la même façon, certains appareils programmés sur mode ultra (haute résolution et champ maximal) procurent des doses proches des scanners optimisés.

Il est important de souligner que de nouveaux appareils ou l'adaptation de certains appareils existants permettront dans un avenir proche un choix encore plus important de paramètres d'exposition dans un souci d'optimisation; les doses rapportées dans les études précédentes seront vraisemblablement modifiées. [40]



CHAPITRE III :

L'ETUDE

TRIDIMENSIONNELLE

DE L'ANATOMIE

DENTAIRE

1. Généralités :

Les dents sont des organes spécialisés de l'appareil masticateur ; nécessaires pour différentes fonctions tels la phonation; l'alimentation et la déglutition correcte. Elles ont un rapport étroit avec les différentes structures de la cavité buccale; les structures osseuses des maxillaires; des organes de voisinage ainsi que les cavités sinuso-maxillaires et les fosses nasales. [4]

Deux dentures se produisent dans notre vie :

- Denture primaire : elle est formée par des dents temporaires (dents de lait), la première dent fait son éruption à environ 6 mois, la dernière à environ deux ans et demi, chaque arc dentaire est formé de 10 dents (20 au total).
- Denture permanente : la première dent fait son éruption à environ 6 ans, la dernière entre 18 et 25 ans. Il y a 32 dents au total, 16 pour chaque arc dentaire.

Jusqu'à l'âge de 6 ans, nous n'avons que des dents temporaires; de 6 à 12 ans, elles sont substituées progressivement (avec une séquence très définie: premières molaires maxillaires, incisives centrales mandibulaires, premières molaires inférieures et incisives centrales supérieures, incisives latérales supérieures, incisives latérales inférieures, canines et prémolaires, seconde molaires, troisième molaires) par des dents permanentes jusqu'au remplacement complet à environ 12 ans.

C'est donc possible de définir trois dentures au cours de notre vie :

- Temporaire : de 6 mois à 6 ans, formée d'incisives, de canines et de molaires
- Mixte : de 6 à 12 ans.
- Permanente : à partir de 12 ans, constituée d'incisives, de canines, de prémolaires, et molaires.

[41]

La dent comprend deux parties anatomiques principales :

- La couronne : visible en bouche
- La racine : c'est la partie implantée dans la cavité osseuse de l'alvéole avec lequel elle est articulée par l'intermédiaire du ligament alvéolo-dentaire. Elle est couverte par le cément, certaines n'ont qu'une seule racine (monoradiculées), d'autres possèdent deux ou trois racines (dents bi- ou triradiculées). [4]

Elle possède les caractéristiques suivantes :

- Le collet : est la zone de jonction entre la couronne et la racine.

- L'apex : l'extrémité terminale de la racine.
- Ligne cervicale : correspond à la jonction email-cément.
- Cuspide : élévation sur une surface occlusale des dents postérieures et des canines. Elle contribue à une partie importante de la surface de la dent; les canines ont une cuspide, les molaires mandibulaires peuvent avoir 4 ou 5 cuspides.
- Bord incisif : les bords tranchants des dents antérieures, des incisives et des canines, qui entrent en contact avec celles des dents opposées pendant l'occlusion.
- Fissures : rainures sur la surface occlusale des dents.
- Surface occlusale : surface des molaires et des prémolaires en contact avec ceux du côté opposé pendant l'occlusion, aussi appelée surface masticatoire.
- Surface vestibulaire : ou surface faciale, est la surface d'une dent dirigée vers l'extérieur vers le vestibule de la bouche, y compris la surface buccale et la surface labiale
- Surface linguale : ou surface buccale, est la surface d'une dent orientée vers l'intérieur à la langue ; opposée à la surface vestibulaire.
- Surface mésiale : la surface d'une dent la plus proche de la ligne médiane de la dent arc.
- Surface distale : surface d'une dent la plus éloignée de la ligne médiane.
- Espaces inter-proximaux: espaces triangulaires entre les surfaces proximales des dents adjacentes. [41]

Les dents sont des organes pluritissulaire possédant un coefficient d'absorption des rayons X différent, elles ont des caractères anatomo-communs avec des particularités propres à chaque dent ce qui permettra de les reconnaître. Elles sont formées de quatre tissus, dont trois minéralisés, qui dans l'ordre décroissant de radio-opacité sont :

- Email : est un tissu d'origine épithéliale, c'est la substance la plus dure et la plus fortement minéralisée de l'organisme, sans nerfs, vaisseaux et cellules. Il recouvre et protège la couronne anatomique jusqu'à la ligne cervicale; il fournit des dents de couleur blanchâtre et de 1 à 2 mm d'épaisseur, il semble plus radio-opaque que les autres tissus en raison de sa composante minérale de 90% qui provoque une plus grande atténuation des photons de rayons X.
- Dentine : c'est la principale masse de la dent, C'est un tissu mésenchymateux, dur, avasculaire, elle aura une teneur minérale de 70%. Elle est moins opaque que l'email; sa radio-opacité est

semblable à celle de l'os, et la jonction émail-dentine apparaît comme une interface distincte séparant ces deux structures.

- Cément : c'est un tissu osseux avasculaire. Il fournit une surface de fixation pour le ligament parodontal, de même densité radiologique que la dentine, est également d'origine mésenchymateux il recouvre la racine. A l'état normal; il est impossible de distinguer radiologiquement le ciment de la dentine.
- La pulpe : tissu conjonctif, c'est le seul tissu mou de la dent et remplit la cavité dentaire centrale qui se développe à partir de la couronne à l'apex de la racine (canal radiculaire) il contient les vaisseaux sanguins et les ramifications nerveuses. Les odontoblastes produisant de la dentine se trouvent dans la pulpe. La dentine et la pulpe sont généralement considérées comme une seule entité pour leurs propriétés histo-embryologiques et fonctionnelles et constituent l'endodontie.

Une connaissance approfondie de l'anatomie et de la morphologie des racines est essentielle en endodontie clinique et une exigence pour un résultat endodontique réussi. La radiologie joue un rôle essentiel et indispensable en endodontie. Elle éclaire ce qui serait autrement des zones sombres et cachées et permet aux dentistes de visualiser des zones non accessibles par d'autres moyens de diagnostic. [4.41.42]

La technologie du *cone beam CT* a révolutionné plusieurs aspects de la dentisterie. Plusieurs études sont actuellement menées avec cette technologie pour identifier l'anatomie canalaire, à la fois in vitro et in vivo. Cette approche semble très prometteuse et l'utilisation routinière de cette technologie en endodontie pour appréhender l'anatomie endodontique s'imposera probablement de façon évidente. [43]

C'est une méthode d'imagerie tridimensionnelle qui offre la possibilité de visualiser les dents individuelles dans n'importe quelle vue, plutôt que les vues prédéfinies « par défaut ». Par conséquent, le *CBCT* peut être un outil puissant dans le diagnostic endodontique, la planification du traitement et le suivi. [44]

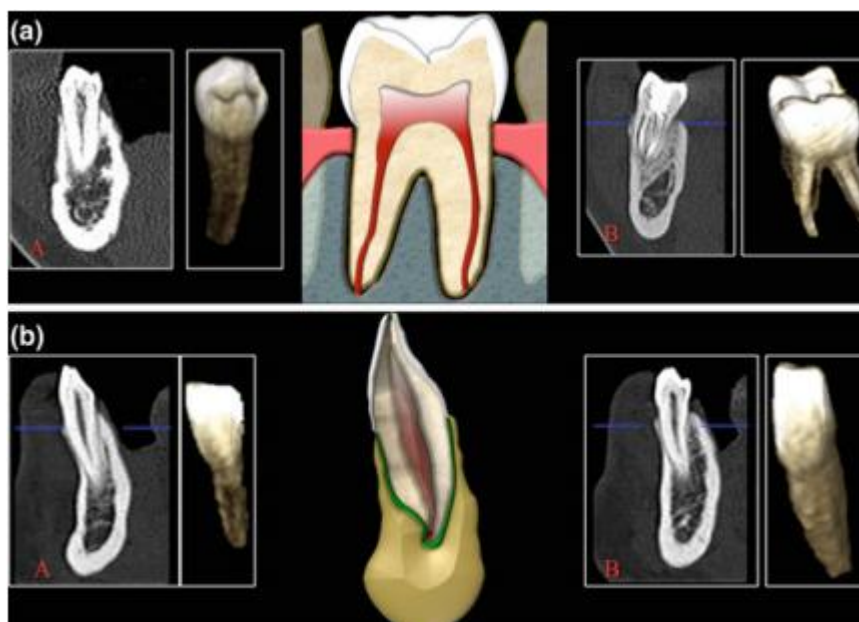


Figure 45: *CBCT* montrant la reconstruction et l'illustration anatomique des dents. [41]

L'application de l'imagerie *CBCT* a eu un impact pratiquement sur tous les aspects de l'endodontie. La capacité de visualiser en trois dimensions une dent avant le traitement endodontique est une réalité avec cette technologie. Il a été signalé que le balayage *CBCT* était aussi précis dans l'identification de la racine et une méthode fiable de détection du canal dentaire. [43]

Le *CBCT* fournit des informations essentielles sur :

La morphologie des dents, y compris la taille de la chambre pulpaire et le degré de calcification, L'emplacement et le nombre de canaux radiculaires.

Le succès des traitements endodontiques dépend de l'identification de tous les canaux radiculaires (afin qu'ils soient accessibles, nettoyés, façonnés et obturés). L'utilisation de systèmes *CBCT* est certainement recommandée. Contrairement aux techniques radiographiques conventionnelles, dans lesquelles la superposition de structures anatomiques empêche la détection de petits composants.

Le *CBCT* est capable d'identifier non seulement chaque canal radiculaire, mais aussi la présence possible d'un second canal mésio-buccal en première molaire maxillaire. [41]

2. L'anatomie dentaire :

2.1. Bloc incisivo-canin supérieur :

Les incisives maxillaires sont des dents monoradiculées. Elles sont en série descendante : l'incisive latérale est plus petite que l'incisive centrale. [45]

2.1.1. L'incisive centrale supérieure :

La couronne est globalement trapézoïdale à grand axe vertical, la face vestibulaire limitée par le contour mésial qui est légèrement convexe et le contour distal qui est plus convexe, par le collet vestibulaire et par le bord libre. Alors que dans la face linguale les contours sont inversés par rapport à ceux de la face vestibulaire, les crêtes marginales, mésiale et distale limitent cette face linguale et rejoignent le cingulum. Les faces proximales de la couronne sont triangulaires, Sur la face occlusale seule la couronne est visible, nettement divisée en une moitié Vestibulaire et une moitié linguale par le bord libre. [46]

2.1.2. L'incisive latérale supérieure :

Cette dent est caractérisée par la variabilité extrême de ses formes radiculaires ou coronaires. Les contours mésiaux et distaux de la couronne sont plus arrondis que ceux de l'incisive centrale, la face linguale coronaire est plus étroite que la face vestibulaire. Les crêtes marginales mésiale et distale sont marquées et le cingulum est convexe. Le bord libre est plus épais et arrondi que sur l'incisive centrale, Dans la face occlusale, l'incisive latérale apparaît plus convexe que l'incisive centrale. Le sommet du cingulum est déporté du côté distal. [45]

2.1.3. La canine supérieure :

Cette dent est monocuspidée et monoradiculée. Elle est particulièrement robuste. La canine maxillaire est une dent de transition entre l'incisive et la prémolaire, la couronne de la canine maxillaire présente une forme caractéristique de fer de lance, La surface vestibulaire est fortement convexe, et la racine est conique et inclinée distalement, elle peut aussi s'incurver en mésial. La face occlusale présente une forme grossièrement losangique Le diamètre vestibulo-lingual est plus important que le diamètre mésio-distal. [46]

2.2. Bloc incisivo-canin inférieur :

Les incisives mandibulaires sont monoradiculées. Ce sont les dents les plus petites de toutes les dents permanentes normalement constituées. Elles sont en série ascendante : l'incisive centrale est légèrement plus petite que l'incisive latérale, mais leur forme est assez semblable. [45]

2.2.1. L'incisive centrale inférieure :

Elle est symétrique par rapport au grand axe de la dent qui est lui-même perpendiculaire au bord libre rectiligne. La face linguale est lisse et présente en général une concavité plus au moins limitée entre les crêtes marginales et le cingulum. La couronne de la face mésiale et distale a une surface fortement convexe et arrondie dans son tiers occlusal, et les deux tiers cervicaux sont aplatis dans la face occlusale. [46]

2.2.2. L'incisive latérale inférieure :

Tous les caractères qui ont été décrits pour l'incisive centrale valables pour l'incisive latérale. La cavité pulpaire est régulièrement plus large dans les sens vestibulo-lingual et mésio-distal que l'incisive centrale. [46]

2.2.3. La canine inférieure :

La couronne de la canine mandibulaire est plus haute de toutes les couronnes des dents maxillaires et mandibulaires, elle est allongée verticalement, les contours de la couronne et de la racine sont alignés en mésiale, La racine a une forme de cône, son extrémité est souvent plus fine que celle de la canine maxillaire. La surface linguale est plus étroite que la surface vestibulaire, tous les éléments décrits pour la canine maxillaire se retrouvent ici mais estompés, la racine présente fréquemment une dépression. On observe dans la face distale assez fréquemment un dédoublement de la racine. [45]

2.3. Les prémolaires :

2.3.1. La première prémolaire maxillaire :

C'est une dent bicuspidée et généralement biradiculée, chez un même individu elle est légèrement plus grande que la deuxième prémolaire. Sa face occlusale présente une forme ovoïde avec un sillon central centré entre les deux pointes cuspidiennes. Les deux cuspidés vestibulaire et linguale sont de volume égal et ils sont séparés en proximité par une crête marginale. [45. 47.48]

2.3.2. La deuxième prémolaire maxillaire :

Cette dent rassemble fortement à la première prémolaire, elle est habituellement bicuspidée et monoradiculée, cependant, elle peut aussi être biradiculée. [45]

2.3.3. La première prémolaire mandibulaire :

C'est une dent bicuspidée et monoradiculée, chez un même individu elle est légèrement plus petite que la deuxième prémolaire. [45]

La cuspide vestibulaire est plus volumineuse que la cuspide linguale, elles sont séparées par un sillon qu'il est fortement déporté en direction linguale, ce qui rend la table occlusale aussi déportée en cette direction. [47]

2.3.4. La deuxième prémolaire mandibulaire :

C'est une dent bi-ou tricuspide et généralement monoradiculée. Cette dent présente presque les mêmes caractéristiques de la première prémolaire mandibulaire. Dans la cavité pulpaire on trouve un canal (89%), deux canaux (10%) et trois canaux (1%). Aussi deux cornes pulpaires. [45.46]

2.4. Les molaires :

2.4.1. La première molaire supérieure :

La dent de six ans est remarquable par sa stabilité, c'est la seule dent qui présente constamment une face palatine plus large mais plus étroite au niveau du collet que la face vestibulaire ce qui explique la grande obliquité des faces proximales en vue linguale.

La couronne a une forme trapézoïdale, elle est constituée de quatre cuspides, la face occlusale présente une crête oblique encore appelée "pont d'émail " joigne les sommets cuspidiens mésio-palatine et disto-vestibulaire, sur la face linguale de la cuspide mésio-palatine apparaît un relief plus au moins développé, c'est la " cinquième cuspide " ou " tubercule de carabelli" ou " péricône de stehlin".

La première molaire est constituée de trois racines, deux vestibulaires naissent d'un tronc radulaire dont la bifurcation situe dans le tiers moyen de la racine, et une palatine, verticale apparaît entre les racines vestibulaires, la racine mésio-vestibulaire est la plus importante et la racine palatine est la plus longue. [46.49]

2.4.2. La deuxième molaire supérieure :

La dent de 12 ans, la deuxième molaire et la première présentent de nombreux points communs, la couronne est plus petite dans toutes ces mensurations elle existe deux types :

Un type a quatre cuspides, la plus fréquente est proche de la dent de six ans, la couronne a une forme trapézoïdale.

Un type a trois cuspides, la cuspide disto-palatine est atténuée ou disparue, dans ce cas la couronne est triangulaire et se rapproche de la dent de sagesse.

Le tubercule de carabelli est généralement absent, La racine linguale est distalée et son apex se trouve à l'aplomb de la cuspide disto-palatine elle a un axe parallèle à celui des racines vestibulaires, ils apparaissent plus rassemblés que sur la première molaire. [46.49]

2.4.3. La première molaire inférieure :

La première molaire mandibulaire est remarquable par sa stabilité anatomique, c'est la seule dent qui présente cinq cuspides, trois vestibulaires et deux linguales, de ce fait cette dent a des sillons principaux inter-cuspidiens qui dessinent un « Y », c'est aussi la seule molaire inférieure dont le diamètre cervical vestibulo-linguale est le plus grand ce qui explique l'obliquité des faces proximales, sa face occlusale a une forme hexagonale.

Elle présente deux racines, la racine mésiale est la plus longue et large tout d'abord verticale et s'incurve distalement à l'apex, la racine distale est orientée distalement, les deux naissent d'un tronc commun dont la bifurcation se fait dans le tiers cervical de la hauteur de la racine. [46.49]

2.4.4. La deuxième molaire inférieure :

La seconde molaire mandibulaire présente de nombreux points communs avec sa voisine. Elle est plus petite qu'elle dans toutes ses mensurations coronaires, ne présente généralement pas de cinquième cuspide disto-vestibulaire et ses sillons principaux décrivent une forme de crois, la face occlusale a la forme cruciforme, elle présente deux cuspides vestibulaires et deux cuspides linguales, aussi on note une racine mésiale et une distale qui naissent d'un tronc radiculaire à partir de la bifurcation qui siège dans le tiers cervical radiculaire, cependant on rencontre des racines qui se rejoignent à leurs apex ou fusionnées, lorsqu'elles sont séparées, les racines sont plus concentrées et également rectilignes et plus fortement inclinées du côté distal que celles de la première molaire.

La chambre pulpaire présente des cornes parfaitement individualisées, la plupart des secondes molaires inférieures présente deux canaux fins et sinueux et un canal distal large et rectiligne. [46.49]

2.4.5. La troisième molaire supérieure :

Encore appelée la dent de sagesse qui est la plus variable de toutes les dents, elle présente fréquemment des anomalies de développement, on décrit ici un type moyen, cette dent est plus proche de la deuxième molaire et il arrive qu'elle ne présente aucun point commun avec ses voisines.

La couronne est plus étroite et moins haute, la cuspide disto-vestibulaire est réduite par rapport à la cuspide mésio-vestibulaire, elle possède une seule cuspide palatine large et aigue, cependant il arrive que la crête marginal distale se prolonge par une petite cuspide disto-palatine plus haute que la mésio-palatine, la ligne du grand contour de cette dent est triangulaire, comme elle peut présenter quatre cuspides, les racines sont moins longues et effilées, plus fortement inclinées du cote distal, et se fusionnent fréquemment.

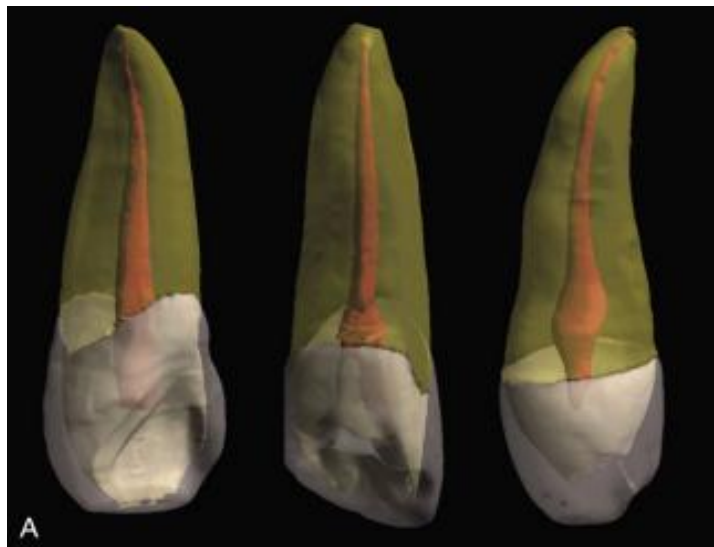
La chambre pulpaire n'est pas descriptive à cause de la variabilité anatomique coronaire et radiculaire, il faut la comparer avec l'anatomie de celle des deux voisines pour avoir une idée ces canaux sont généralement tubulaires, et en cas de fusion ils peuvent former un seul gros canal conique. [46.49]

2.4.6. La troisième molaire inférieure :

Cette dent comme la précédente est extrêmement variable dans sa forme, elle peut rassembler à la première ou la seconde molaire, mais avec une différence des caractères, la forme générale de la couronne est la même de la deuxième molaire mais plus arrondie, elle présente deux cuspides vestibulaires et deux linguales.

Elle possède deux racines fréquemment fusionnées en partie, courtes et moins développées et fortement inclinées en distal, la racine distale est la plus étroite.

Comme la dent de sagesse maxillaire, la cavité pulpaire de cette dent est variable, il arrive qu'elle présente de grandes ressemblances avec sa voisine médiale, il y'a parfois un seul gros canal mais on peut rencontrer un mésial et un distal, il peut aussi avoir une disposition identique à sa voisine mésiale (2mésiaux et 1 distal). [46.49]



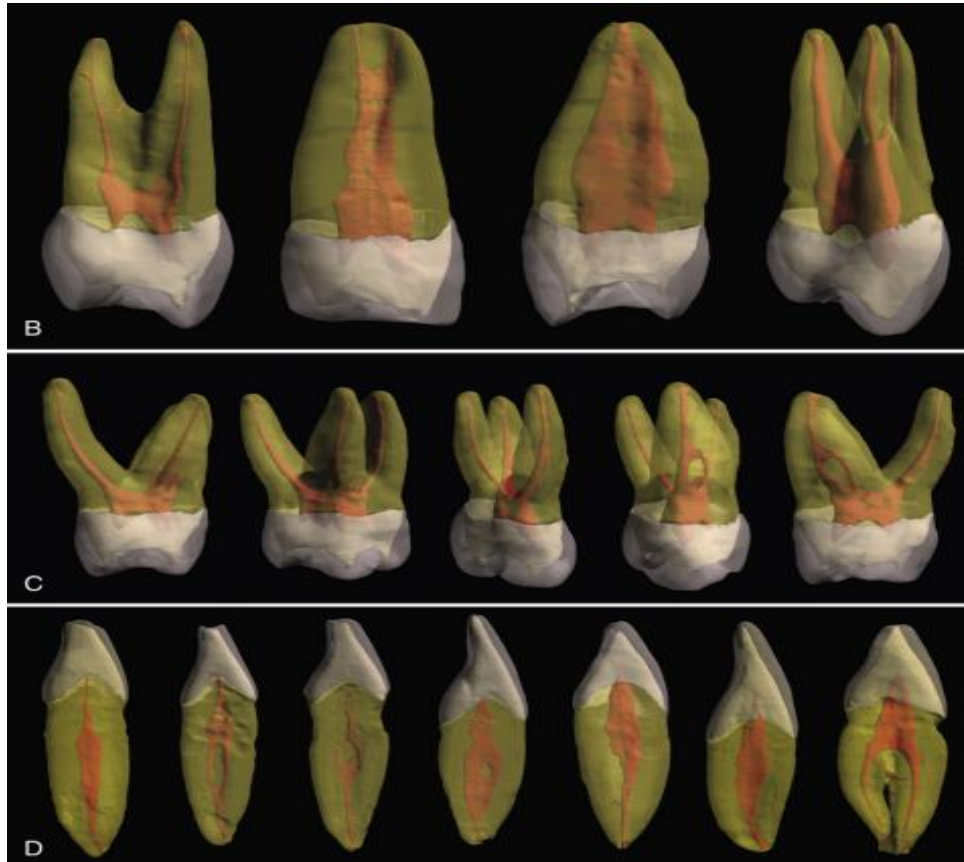


Figure 46: Anatomie tridimensionnelle des dents. [50]

2.5. Anatomie canalaire :

Il est parfaitement admis aujourd'hui que les anatomies canales et radiculaires sont très complexes. La bonne compréhension des caractéristiques anatomiques associée à l'application de techniques cliniques sophistiquées permettra aux cliniciens de gérer correctement ce véritable défi. Pour réaliser un traitement adéquat, il est important que le clinicien ait une connaissance approfondie de l'anatomie du système endodontique conventionnel, mais également des aberrations anatomiques. Il est actuellement largement reconnu que les origines ethniques ont des répercussions sur la diversité des anatomies dentaires et par voie de conséquence, endodontiques. Il devient alors impératif que tout praticien soit conscient de ces variations anatomiques et des aberrations plus ou moins fréquentes, afin de pouvoir les anticiper et adapter son approche thérapeutique. Avant d'entamer tout traitement endodontique, la morphologie interne et l'anatomie canalaire de la dent à traiter doit être déterminée. Chaque dent présente des racines et des canaux dont le nombre, la longueur et la configuration sont typiques. La radiographie ne

donnant qu'une image restreinte de l'espace endodontique. La connaissance parfaite de l'anatomie canalaire typique est indispensable.

La dentinogénèse se poursuit tout au long de la vie de la dent et entraîne une réduction du volume de la cavité pulpaire, pouvant aller à l'extrême jusqu'à sa disparition. Des variations d'origine pathologique peuvent entraîner une diminution du volume pulpaire par hyper calcification: dentine tertiaire en regard de la zone irritée, pulpolithes...Ainsi, certaines observations cliniques doivent être prises en considération, par exemple, en présence d'une dent abrasée, il existe souvent une rétraction de la chambre pulpaire en raison de l'apposition de dentine réactionnelle.

La radiographie apporte des renseignements complémentaires sur la véritable anatomie endodontique une lecture attentive du cliché radiographique préopératoire est indispensable avant d'entreprendre le traitement canalaire. L'anatomie canalaire est étudiée par des techniques in-vitro et in-vivo. Les méthodes in vivo consistent à observer les radiographies post-opératoires des traitements complétés dont le cone beam est l'un de ces méthodes.

La technologie du Cone beam CT a révolutionné plusieurs aspects de la dentisterie. Plusieurs études sont actuellement menées avec cette technologie pour identifier l'anatomie canalaire, à la fois in vitro et in vivo. Cette approche semble très prometteuse et l'utilisation routinière de cette technologie en endodontie pour appréhender l'anatomie endodontique s'imposera probablement de façon évidente.

2.5.1. Les différentes classifications de la configuration canalaire :

- Weine a proposé une classification de l'anatomie canalaire en 4 types :
- Type I : un seul canal avec un seul orifice et un seul foramen apical (1-1).
- Type II : deux canaux se rejoignant en un seul canal et présentant une seule sortie foraminale (2-1).
- Type III : deux canaux distincts, de l'entrée canalaire au foramen apical (2-2).
- Type IV : un seul canal qui se divise en deux canaux distincts (2-3).

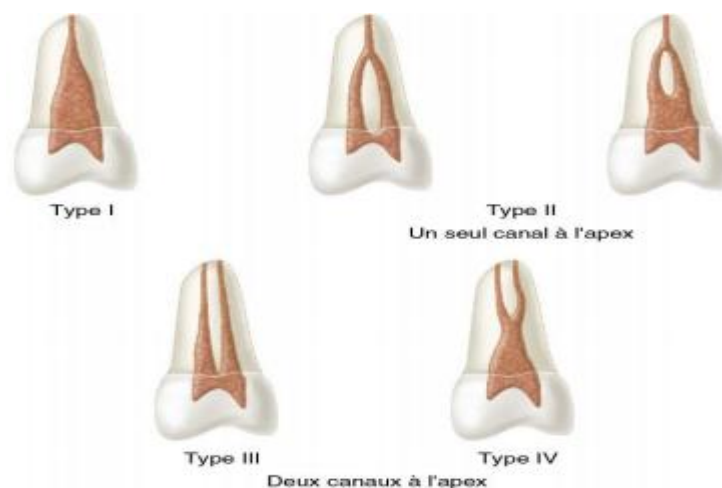


Figure 47 : classification de Weine. [51]

➤ La classification de Vertucci est plus élaborée et prévoit 8 types :

- Type I : un seul canal avec un seul orifice et un seul foramen apical (1-1).
- Type II : deux canaux se rejoignant en un seul canal et présentant une seule sortie foraminale (2-1).
- Type III : canal unique se divisant en deux dans la partie moyenne ; les deux canaux se rejoignent dans le tiers apical pour (1-2-1).
- Type IV : deux canaux restant distincts jusqu'au tiers apical (2-2).
- Type V : un canal se divisant en deux canaux dans le tiers moyen ou apical (1-2).
- Type VI : deux canaux se rejoignant dans le tiers moyen, puis se redivisant dans le tiers apical (2-1-2).
- Type VII : un seul canal se divisant, puis se rejoignant et se divisant à nouveau (1-2-1-2).
- Type VIII : trois canaux restant distincts jusqu'au tiers apical (3-3).

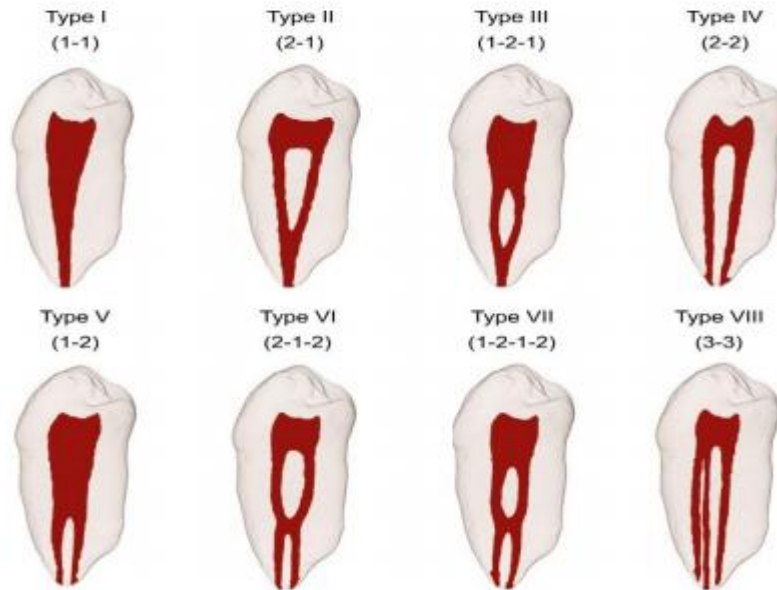


Figure 48 : classification de vertucci. [51]

➤ Classification de Caramez et d'Aprile:

Cette classification va distinguer les ramifications longitudinales et collatérales.

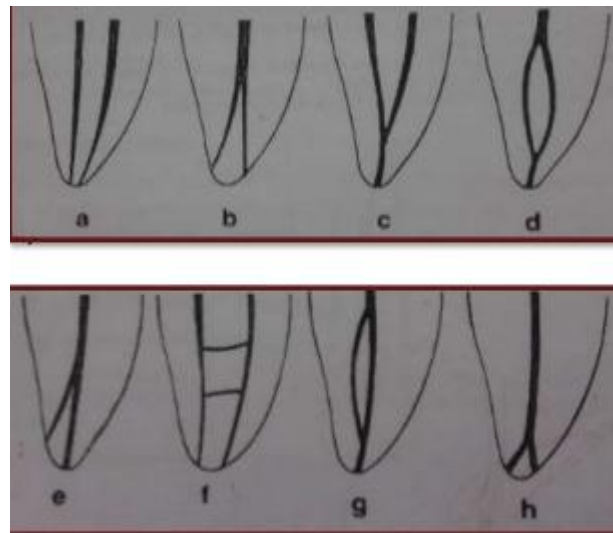


Figure 49 : Classification de Caramez et d'Aprile. [51]

➤ Classification de Bourdeau : Classe les canaux endodontiques en 5 catégories :

- canaux surnuméraires
- canaux complémentaires
- canaux inter-canaux
- canaux supplémentaires
- canaux deltaïques. [51]

DENT	VARIATIONS/ABERRATIONS ANATOMIQUES POSSIBLES
Incisive centrale maxillaire	Deux canaux, canaux latéraux dans plus de 60 % des dents (Kasahara et coll., 1990).
Incisive latérale maxillaire	Deux canaux, courbure palatine.
Canine maxillaire	Deux canaux (Vertucci 1984) canaux latéraux.
Première prémolaire maxillaire	Trois canaux (MésioVestibulaire, DistoVestibulaire et Palatin) (Carns et Skidmore, 1973 ; Nallapati 2003).
Deuxième prémolaire maxillaire	Trois canaux (MésioVestibulaire, DistoVestibulaire et Palatin) (Carns et Skidmore, 1973 ; Nallapati 2003).
Première molaire maxillaire	Deux canaux MésioVestibulaire dans la majorité des cas. Occasionnellement trois canaux MésioVestibulaires, deux canaux DistoVestibulaires, et deux canaux Palatin (Kulild et Peters, 1997 ; Wolcott et coll., 2005 ; Stropko 1999 ; Christie et coll., 1991).
Deuxième molaire maxillaire	Deux canaux MésioVestibulaires, canaux en « C » (Yang et coll., 1988).
Incisives mandibulaires	Deux canaux se rejoignant dans le tiers apical (Vestibulaire et Lingual). Occasionnellement deux canaux distincts (Benjamin et Dowson, 1974).
Canine mandibulaire	Deux canaux. (Vestibulaire et lingual) (Vertucci 1984).
Première prémolaire mandibulaire	Deux à trois canaux. MésioVestibulaire, DistoVestibulaire et Lingual. Occasionnellement Canal en « C » (Vertucci 1978 ; Barrett 1925 ; Nallapati 2005).
Deuxième prémolaire mandibulaire	Deux à trois canaux. MésioVestibulaire, DistoVestibulaire et Lingual. Occasionnellement Canal en « C » (Rodig et Hulsmann, 2003 ; Nallapati 2005).
Première molaire mandibulaire	Quatre à six canaux. Trois canaux mésiaux et trois canaux distaux. Radis Entomolaris avec racine distale indépendante (Al-Nazhan 1999 ; Pomeranz et coll., 1981 ; Demoor et coll., 2004 ; Fabra-Campos 1989).
Deuxième molaire mandibulaire canal	Quatre à cinq canaux. Trois canaux mésiaux. Deux canaux distaux, en « C » (Seo et Park, 2004 ; Ng et coll., 2001).

Tableau4 : Montrant les variations et aberrations anatomiques rencontrées dans des racines dentaires. [51]

3. Anatomie endodontique particulière :

De nombreuses variations anatomiques et morphologiques de l'anatomie des dents existent dans le monde. Certaines de ces variations fréquentes ont été associées à des populations géographiques spécifiques et/ou patrimoine ethnique. L'identification in vivo de formes

anatomiques et de configurations de canaux radiculaires plus complexes peut être meilleure à l'aide de l'imagerie CBCT. De nombreux rapports démontrent les avantages significatifs de CBCT par rapport à l'imagerie radiographique traditionnelle pour la détection et la gestion d'une grande variété anatomique et morphologique des dents et des racines. [43]

3.1. Isthmes :

Un isthme (anastomose transversale) est une variante anatomique trouvée dans les canaux radiculaires et il est défini comme une communication étroite en forme de ruban entre deux canaux radiculaires contenant de pulpe ou des tissus dérivés de la pulpe. On peut trouver l'isthme dans chaque racine contenant deux ou plusieurs canaux, tout comme les racines fusionnées. [52]

La première molaire mandibulaire est la dent la plus susceptible d'avoir des isthmes, dans 87.9% des cas, spécialement dans sa racine mésiale. On les distingue régulièrement dans la deuxième molaire mandibulaire (66.3%), la première molaire maxillaire (60.8%), la deuxième prémolaire maxillaire (50.5%), la première molaire maxillaire (46.5%), les premières prémolaires maxillaires et mandibulaires (18.8%), on les retrouve le plus souvent au niveau du tiers moyen et apicale de la racine. Les isthmes sont moins fréquents chez les personnes âgées à cause de l'apposition de la dentine secondaire qui va combler ces espaces. [53]

Il existe 4 types morphologiques décrits par Fan et Coll. (Fig50)

-Type I, connexion en feuille : feuille étroite et connexion complète existant entre 2 canaux du haut vers le bas de l'isthme. Parfois, une ou plusieurs petites fusions de dentines ont été discernées dans la zone de l'isthme.

- Type II, séparé : raccordement étroit mais incomplet existant entre 2 canaux du haut vers le bas de l'isthme.

-Type III, mixte : isthme incomplet existant au-dessus et/ou au-dessous d'un isthme.

-Type IV, connexion canalaire : communication canalaire étroite entre les 2 canaux. [52]

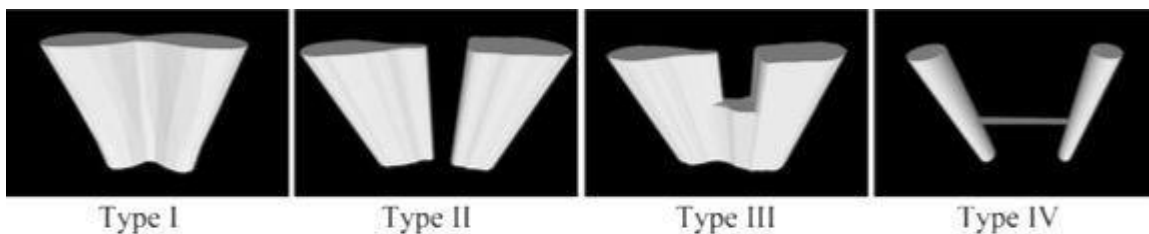


Figure50: schéma en trois-dimensions des quatre types d'isthmes selon Fan et coll. [52]

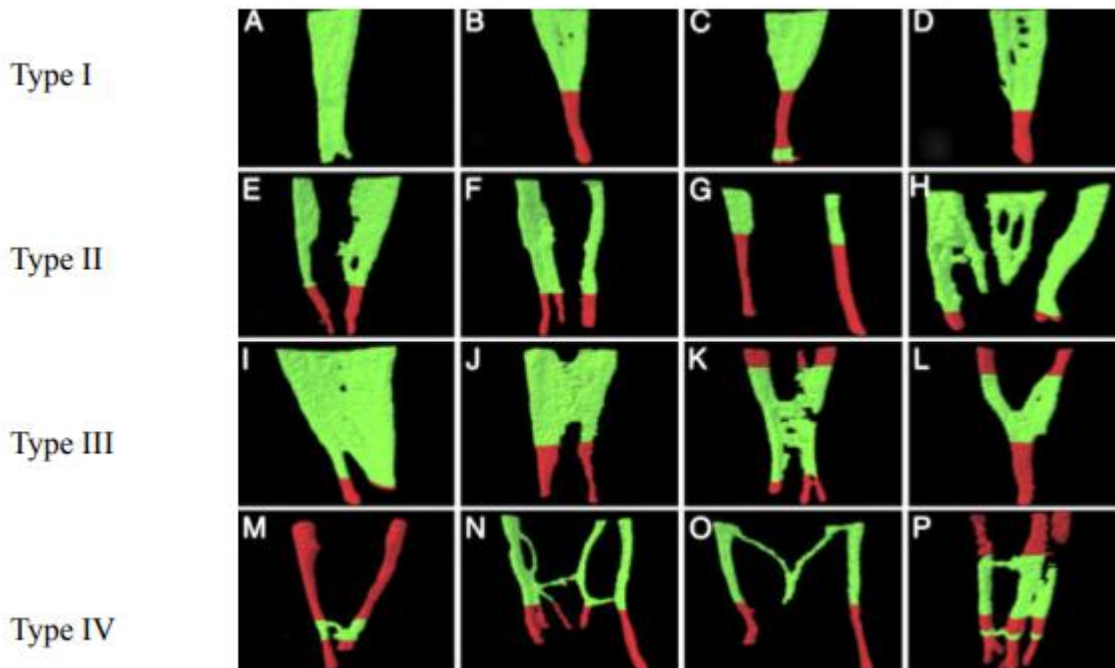


Figure 51 : reconstruction en trois dimensions de la morphologie canalaire apicale des racines mésiales des molaires mandibulaires contenant des isthmes d'après Fan et coll (vue méso-distale ; structures vertes : canaux avec isthmes ; structures rouges : canaux sans isthme). [52]

3.2. Feuilletts :

Les feuilletts sont des extensions pulpaire depuis un canal vers l'extérieur de la racine, où la pulpe va se rétrécir (**Fig52**). Contrairement aux isthmes, ils n'aboutissent pas à un autre canal, on peut les retrouver dans n'importe quelle dent et n'importe quel canal. Cliniquement, il est difficile d'utiliser des moyens mécaniques pour nettoyer et mettre en forme ces zones inaccessibles. [54]

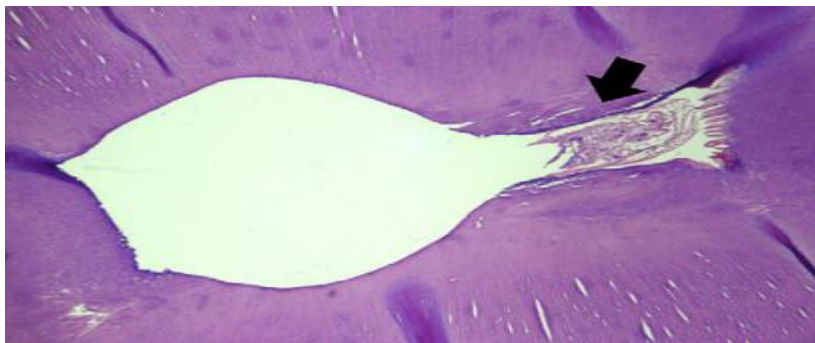


Figure 52 : coupe transversale d'un canal pulpaire possédant une extension vue au microscope x 4,5 d'après De Deus et coll. [54]

3.3. Deuxième canal méso-vestibulaire des molaires maxillaires :

La première molaire maxillaire est considérée comme la dent la plus volumineuse, elle possède une anatomie très complexe des canaux radiculaires, elle a suscité plus de recherches et d'investigations cliniques que toute autre dent, à cause du fort taux d'échec des traitements endodontiques sur cette dent. Ce taux d'échec s'explique par la présence d'un deuxième canal

dans la racine mésio-vestibulaire, qu'on appelle couramment « MV-2 ». De nombreuses études cliniques ont démontré que la tomographie volumique à faisceau conique (CBCT) est un outil crucial pour évaluer l'anatomie du canal radicaire, notamment pour l'identification du « MV-2 » (**Fig53**). Son incidence signalée selon plusieurs études utilisant l'imagerie CBCT est de l'ordre de 96%. Cependant, la détection clinique des « MV-2 » dans les molaires maxillaires est de l'ordre de 40%, elle est beaucoup plus faible que celle des rapports de laboratoire. Ceci s'explique par la difficulté à les localiser et à les instrumenter. L'emplacement du « MV-2 » est variable. Il est généralement situé mésialement ou directement sur la ligne entre le canal mésio-vestibulaire (ou « MV-1 ») et l'entrée du canal palatin. Il se caractérise par une double courbure, ce qui le rend particulièrement difficile à négocier. Son diamètre est très étroit. Il rejoint le « MV-1 » dans 60% des cas. La présence d'isthme est fréquente entre « MV-1 » et « MV-2 ». [55.56]

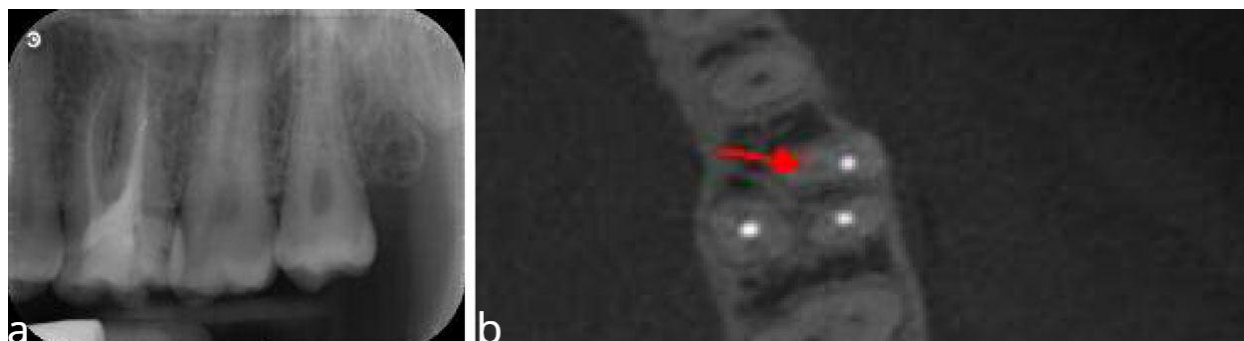


Figure 53 : a) Rétro-alvéolaire de 26 présentant un traitement endodontique paraissant correct.
b) CBCT, montrant un second canal mésio-vestibulaire qui n'a pas été traité lors du traitement endodontique (flèche rouge). [57]

3.4. Canal mésial moyen :

La racine mésiale des molaires mandibulaires permanentes présente souvent une anatomie complexe. Cependant, l'anatomie la plus fréquente est la présence de deux canaux dans la racine mésiale, et un ou deux canaux dans la racine distale. Néanmoins, l'incidence de la variation est relativement élevée, y compris les canaux supplémentaires, les racines disto-linguales et mésio-vestibulaires séparées, ainsi qu'un troisième canal supplémentaire dans la racine mésiale. Nombreuses études ont démontrées que l'utilisation des techniques d'imagerie tridimensionnelles 3D telles que l'imagerie CBCT fournit plus de détails sur la morphologie du canal radicaire et montre plus de sensibilité pour la détection du canal mésial moyen (**Fig54**). Il se situe entre le canal mésio-vestibulaire et le canal mésio-lingual, sur la ligne du développement entre les deux canaux. Son incidence se situe entre 1 et 16,4% selon les études. Il peut facilement être associé à un

isthme. Il se trouve en regard d'une zone dangereuse par conséquent son instrumentation est délicate, la paroi qui sépare le canal de la face externe distale de la racine mésiale est donc très fine et le risque de perforation est élevé. [58.59]

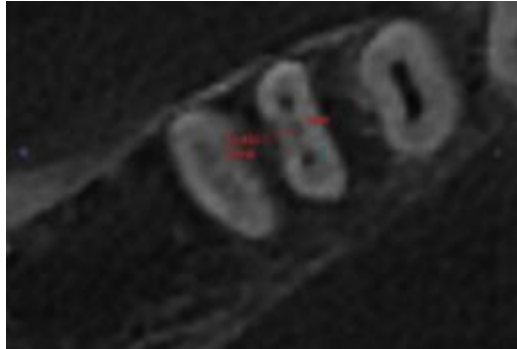


Figure 54 : CBCT montrant un canal mésial moyen sur la première molaire mandibulaire. [59]

3.5. Les canaux en C ou «C-shaped canal» :

L'une des plus importantes variations anatomiques est la configuration « C » du système canalaire. Les canaux en forme de « C » ont été d'abord documentés dans la littérature endodontique par Cooke et Cox en 1979. Ils existent principalement dans les deuxièmes molaires mandibulaires, mais peuvent aussi être trouvés dans d'autres dents.

L'étiologie des canaux en « C » est l'échec de la gaine de Hertwig à fusionner sur la face linguale ou vestibulaire au moment de la rhizogénèse. Leur nom vient de la forme particulière de leur anatomie canalaire qui, sur une coupe transversale de leur racine, ressemble à la lettre « C ». Leur caractéristique anatomique principale est la présence d'un orifice en forme de ruban qui forme un arc de 180° (ou plus) qui relie les canaux radiculaires principaux, ce qui les rend difficiles à diagnostiquer et à traiter en se basant sur la radiographie en deux dimensions. L'utilisation de l'imagerie CBCT pendant le traitement peut fournir au clinicien un meilleur outil pour diagnostiquer cette anatomie complexe et choisir l'instrumentation et les techniques d'obturation appropriées. La plupart des études concernant les caractéristiques anatomiques des canaux en forme de « C » étaient des études invasives et ont été menées avec des dents extraites. En tant que technique d'imagerie tridimensionnelle (3D) non invasive, on a signalé que la tomodensitométrie à faisceau conique (CBCT) était suffisamment précise pour l'analyse morphologique. Par rapport à la tomodensitométrie médicale conventionnelle, les études utilisant la technique CBCT peuvent être réalisées avec une dose efficace sensiblement plus faible et un temps de travail plus court. [60.61.62.63]



Figure 55 : CBCT montrant deux canaux bilatéraux en forme de C dans la seconde molaire mandibulaire. [62]

4. Analyse des relations des dents avec les structures nobles :

Il est fréquent en pathologie de relever des propagations inflammatoires ou infectieuses à partir des dents ou du parodonte à des régions voisines. Il est donc important d'étudier les relations topographiques qui s'établissent du système dentaire, plus particulièrement les racines, avec les cavités, canaux et toute structure environnante. [46]

4.1. Au maxillaire supérieur :

4.1.1 Les fosses nasales :

Les fosses nasales sont deux cavités qui s'étendent des narines aux choanes, séparées par une cloison médiane, sont le siège de l'olfaction et des voies aériennes supérieures. Elles sont situées au-dessous de la base du crâne, en dedans des maxillaires et des orbites et au-dessus de la cavité buccale d'où la relation entre les dents maxillaires antérieures et les fosses nasales. [64]

Les incisives et canines maxillaires entretiennent des rapports de contiguïté avec la paroi inférieure des cavités nasales. Les apex de ces trois dents sont à 5 mm environ du plancher des cavités nasales, à partir de la première prémolaire, l'arcade dentaire est oblique en dehors et en arrière et les dents ne sont donc en rapport qu'avec la bordure externe des fosses nasales. [45.46]

4.1.2. Le Sinus maxillaire :

Le sinus maxillaire encore appelé « antre d'Highmore » est une cavité pneumatique creusée dans le corps de chaque os maxillaire. C'est la cavité la plus volumineuse du massif facial. La taille et la morphologie du sinus sont variables d'un individu à l'autre, et d'un côté à l'autre chez un même individu. [64]

Sa forme souvent pyramidale présente trois parois (antérieure, postérieure et supérieure) une base qui répond au plancher de l'orbite et dont le sommet est tourné vers la région alvéolaire d'où le rapport étroit entre le sinus et les dents maxillaires. [64]

Ces rapports sont sujets à des variations du fait de la croissance du maxillaire, du sinus, qui voit son volume croître considérablement jusqu'à 12 ans, puis atteint sa taille définitive vers l'âge de 15 ans, mais aussi de l'anatomie du sinus qui peut ou non présenter un prolongement alvéolaire et de la présence ou non des dents. [45.46]

Chez le jeune enfant, avant l'installation d'une dimension verticale de la face, grâce à la croissance du maxillaire et du système alvéolo-dentaire, le sinus peu développé est proche du germe de la canine permanente, la distance entre les deux va rapidement croître grâce à la croissance faciale, les dents temporaires et les autres germes des dents définitives n'ont avec le sinus que de lointains rapports. [46]

Après acquisition de sa forme définitive, la forme et le volume du sinus cessent d'évoluer, son plancher est centré sur la deuxième prémolaire et les deux molaires maxillaires, il s'étend plus rarement au-dessus de la troisième molaire et la première prémolaire et exceptionnellement sur la canine, ces dents, dont les racines peuvent faire saillie dans la cavité sinusienne, sont appelées « dents antrales » ou « dents procidentes ». [45]

Une faible distance représentée par un tissu osseux spongieux de 3 à 4 millimètres sépare les apex des dents antrales du plancher de faible épaisseur. [46]



Figure 56 : Granulome en communication Franche avec le sinus. [65]



Figure 57 : Lésion endo-parodontale soulevant le plancher sinusien, et lysant la corticale vestibulaire (flèche). [65]

Lorsqu'une dent en rapport étroit avec la paroi sinusienne disparaît, la limite inférieure du sinus s'invagine dans la zone édentée, donc l'édentation affecte la forme et la position de la paroi sinusienne en l'abaissant. [46]

4.2. Au maxillaire inférieur :

4.2.1. Le foramen lingual :

L'artère sublinguale est l'une des principales branches de l'artère linguale; elle pénètre la mandibule sur la face linguale par le foramen lingual, souvent localisé autour des incisives et prémolaires mandibulaires.

Ce foramen n'est pas toujours visible sur panoramique et radiographie standard, mieux visualisé avec *cone beam*, est d'une grande importance anatomique et doit être repéré avant de procéder à un acte chirurgical dans la région antérieure de la mandibule. [35]

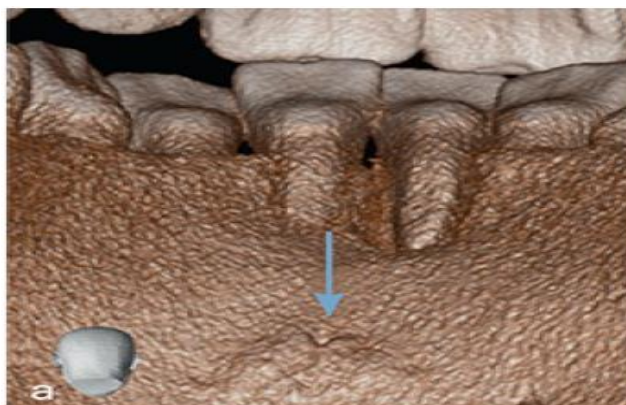


Figure 58 : Reconstitution en 3D de l'aspect de la face linguale de la mandibule montrant en flèche bleue le foramen lingual. [66]

4.2.2. Le canal mandibulaire :

Encore appelé canal alvéolaire inférieur, contient le nerf, la veine et l'artère alvéolaires inférieurs, constituant ainsi le pédicule alvéolaire inférieur, il parcourt la mandibule, il est tout d'abord oblique en bas et en avant dans la branche montante et devient horizontal par la suite dans le corps. [35]

La forme du canal et La distance entre les apex des molaires mandibulaires et le pédicule est variable d'un individu à l'autre, et d'un côté à l'autre chez un même individu, et varie avec la croissance. [45]

Chez le fœtus et le nouveau-né, il forme une gouttière creusée au fond des alvéoles des dents temporaires, chez l'enfant de 13 ans le canal reste au contact des germes non évolués et des racines dentaires dans une gouttière creusée dans le fond des alvéoles, chez l'adolescent et le jeune adulte le canal garde contact avec le germe de la troisième molaire tant qu'il est inclus. Chez l'adulte il est situé en dedans de l'alvéole de la troisième et la deuxième molaire, et est immédiatement sous-jacent à l'alvéole de la première molaire et est externe par rapport aux deux prémolaires. Il passe à 1 à 2 mm de l'apex de la deuxième et la troisième molaire, s'éloigne des racines jusqu'à la première molaire de 4 à 6 mm, puis décrit une courbe et se redresse au niveau du trou mentonnier en se rapprochant des prémolaires. [45.63]

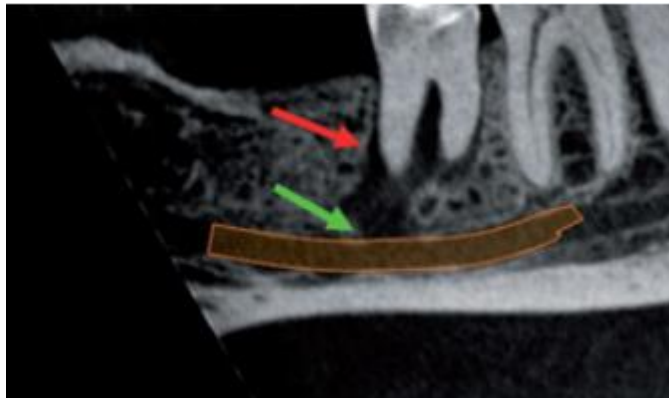


Figure 59 : Lésion endo-parodontale de 46, fistulisant vers le canal mandibulaire. [67]

4.2.3. Le nerf alvéolaire inférieur :

Le nerf alvéolaire inférieur se dirige en avant du canal mandibulaire de la mandibule, donne des rameaux pour les trois molaires et la seconde prémolaire, ainsi que pour la gencive labiale correspondante, puis se divise en deux rameaux terminaux en regard des apex des prémolaires mandibulaires : le nerf mentonnier et le nerf incisif. [66]

4.2.4. Le Nerf mentonnier :

Qui émerge par le foramen mentonnier qui se situe soit à l'aplomb de la racine de la deuxième prémolaire soit entre les deux prémolaires. Depuis la division du nerf alvéolaire inférieur, le nerf mentonnier peut présenter deux types de trajets :

- un trajet rétrograde : dans ce cas le pédicule est souvent profond, Il forme une boucle antérieure.

- un trajet direct : le pédicule se rapproche progressivement de la corticale externe;

Il l'affleure en émettant le pédicule mentonnier, puis replonge dans la mandibule. [68]



Figure 60 : Les coupes coronales, espacées d'un millimètre, montrent parfaitement l'émergence du nerf et ses rapports avec la 45. On visualise l'anatomie canalaire et l'absence de lésion radioclaire en regard de l'apex de cette dent. [69]

4.2.5. Le Nerf incisif :

Cette branche constante a été longtemps ignorée du fait qu'elle est difficilement visible sur les clichés radiographiques pour des raisons anatomiques. Le nerf incisif poursuit le trajet initial du nerf alvéolaire inférieur vers la région symphysaire pour se terminer au niveau de l'incisive centrale mandibulaire. Depuis son origine, qui est généralement plus proche de la table interne qu'externe.

[45]

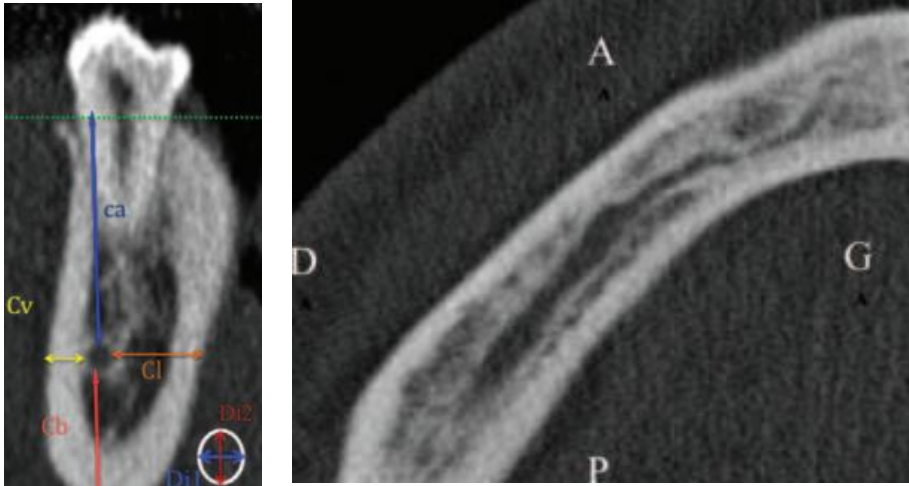
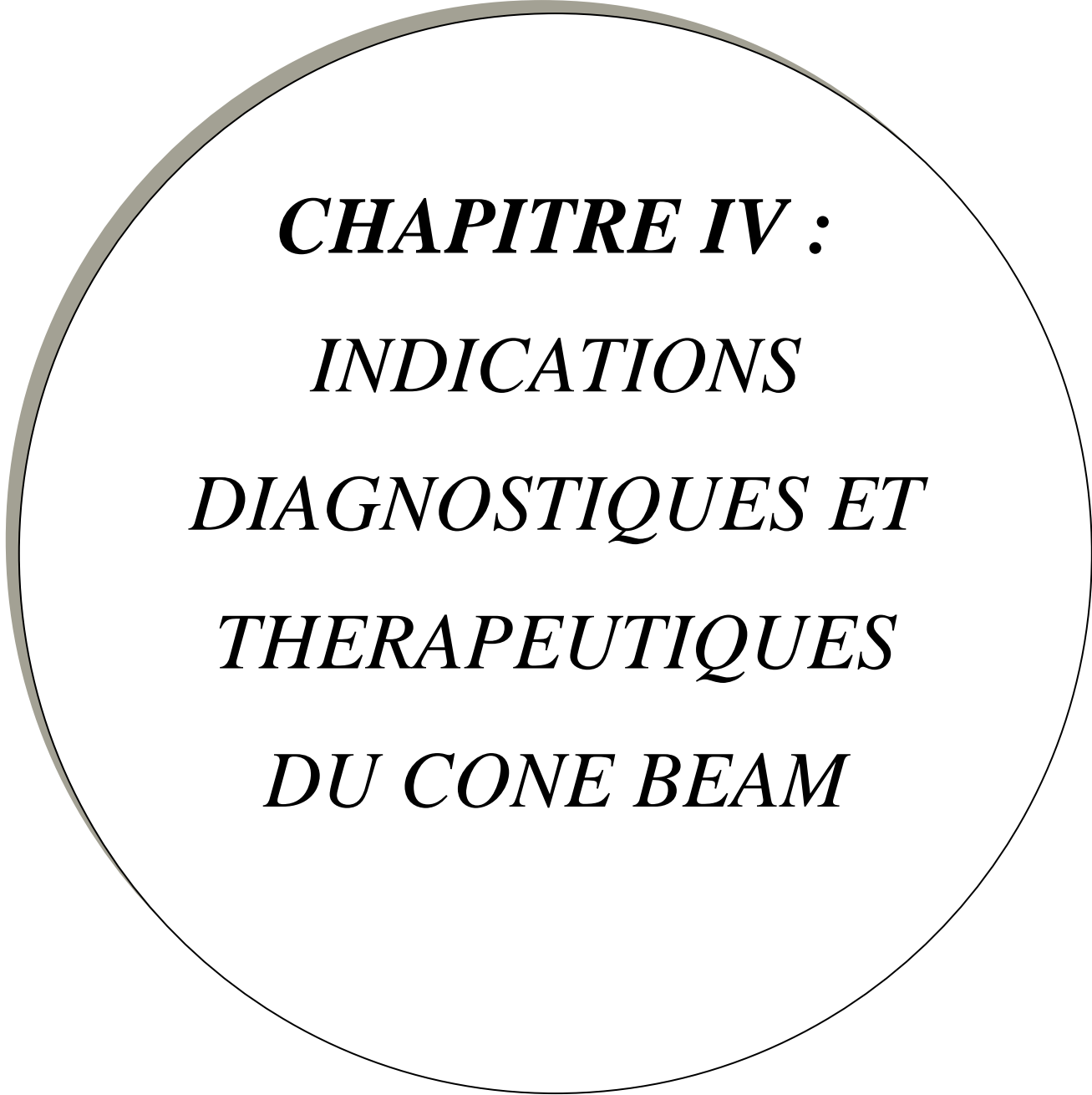


Figure 61: coupes d'acquisition illustrant les différentes localisations possibles du canal incisif. [70]



CHAPITRE IV :
INDICATIONS
DIAGNOSTIQUES ET
THERAPEUTIQUES
DU CONE BEAM

1. Généralités :

Depuis une dizaine d'années maintenant, la tomographie volumétrique par faisceau conique, bien connue sous le nom de *cone beam* ou CBCT s'est popularisée en dentisterie. L'endodontie n'a pas échappé à cette révolution technologique et à cette entrée dans la troisième dimension. L'exploration radiographique du réseau canalaire radiculaire est une nécessité en endodontie. La visualisation de l'endodonte et de son environnement osseux peut être réalisée à l'aide de l'imagerie conventionnelle en deux dimensions 2D et en trois dimensions 3D. La radiographie conventionnelle n'évoque que des images en 2D d'un système originellement en 3D. Depuis plusieurs années, l'apport de la technologie d'imagerie 3D appelée tomographie volumique à faisceau conique (TVFC) a extrêmement modifié la pratique de l'endodontie. Les informations extraites à partir des acquisitions TVFC modifient la démarche diagnostique et pronostique et posent la question de sa place en endodontie. Initialement prescrit en seconde intention, de nombreux travaux scientifiques montrent que l'examen TVFC est devenu nécessaire dans certaines situations cliniques intéressant l'endodontie. Les indications spécifiques, combinées à la réduction de la taille du matériel des appareils *cone beam* et des coûts, ont accordé le développement accru de ce type d'imagerie dans les cabinets dentaires au cours des dernières années, notamment ceux ayant un exercice limité à l'endodontie. [57.71]

2. Lésions inflammatoires péri-apicales d'origine endodontique (LIPOE) :

2.1. Définition :

Une lésion inflammatoire péri-apicale, encore appelée parodontite apicale, est une lésion inflammatoire aigüe ou chronique survenant autour de la racine d'une dent entraînant une destruction des éléments du péri apex à savoir le cément, l'os et le desmodonte. De découverte souvent fortuite sur les images radiographiques, les études de prévalence montrent que, selon l'âge et la localisation de la population, jusqu'à 80 % peuvent être atteints de parodontites apicales. [35]

2.2. Origines des lésions inflammatoires péri-apicales :

L'endodontie et la parodontie ont peu de choses en commun sur le plan des moyens thérapeutiques utilisés. Les pathologies, quant à elles, qu'elles soient d'origine endodontique ou parodontale, conduisent systématiquement à une inflammation chronique parodontale de la région apicale. [72]

Les auteurs décrivent 3 scénarios possibles :

- Une lésion endodontique pure résultat direct d'une pathologie pulpaire, associant ultérieurement une lésion parodontale, ce type ne présente aucune communication avec le milieu extérieur sauf en cas de présence d'une fistule, donnant ainsi un résultat de sondage dit « ponctuel » ou en « U », une perte de vitalité pulpaire, les manifestations sont dites apicales.
- Une lésion initialement parodontale associant ultérieurement une lésion endodontique, ce type, rare, communique avec le milieu extérieur au moyen de la poche parodontale qui s'approfondi progressivement, donnant ainsi un sondage dit « large » ou en « V » les manifestations dans ce cas sont dites cervicales.
- Une coexistence des deux lésions sur une même dent, qui peuvent confluer et former ainsi une lésion unique dite « lésion endo parodontale vraie ».

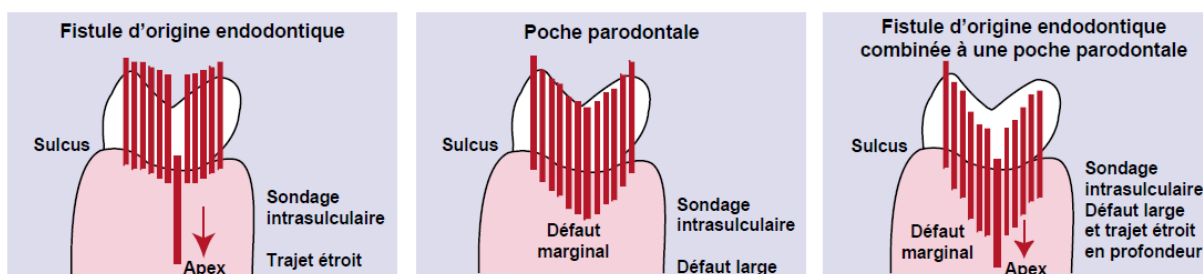


Figure 62 : Schématisation des différents résultats du sondage parodontal. [74]

Tout cela est possible grâce aux différentes voies physiologiques (foramen, canaux latéraux et accessoires, tubulis dentinaires) et pathologiques (traumatismes, perforations, résorptions inflammatoires) de communication entre l'endodonte et le parodonte. [72.73]

2.3. Le diagnostic des lésions inflammatoires péri-apicales :

Le diagnostic des lésions inflammatoires péri-apicales est fondé sur les informations issues de l'interrogatoire du patient sur les tests cliniques et radiologiques. Les trois critères clés permettant de poser un diagnostic de parodontites apicales sont l'existence d'une voie de contamination bactérienne endo-parodontale qui associe une réaction de défense des tissus péri-apicaux, une réponse négative aux tests de vitalité pulpaire, une image osseuse radioclaire péri-apicale. Les autres signes et symptômes (douleur, réponses positives aux tests de percussion et palpation, fistule et tuméfaction) sont inconstants et dépendent du statut des différentes formes des lésions péri-apicales. [74]

Cliniquement un diagnostic clair et sans ambiguïté doit permettre de localiser la dent causale, reproduire la douleur décrite par le patient et définir le traitement adéquat pour soulager le patient en premier lieu et assurer la pérennité de la dent sur l'arcade. [75]

2.4. Apport du *cone beam* dans le diagnostic des lésions inflammatoires péri-apicales :

La radiographie est un outil essentiel pour établir le diagnostic, le traitement et le suivi des lésions inflammatoires péri-apicales. Pour arriver à établir un bon diagnostic et un plan de traitement approprié, le praticien doit recueillir et interpréter des informations détaillées et précises concernant l'état des structures dentaires et parodontales, la présence et l'étendu de tout défauts ou changements de celles-ci associés à des événements pathologiques ou iatrogènes. [76]

Les points les plus importants à noter lors de l'interprétation des radiographies péri-apicales sont :

- La ligne radio-claire qui représente les desmodontes et forme un fin liseré noir continu le long du contour des racines.
- La ligne radio-opaque qui représente la lamina dura de l'alvéole, formant une ligne blanche fine et continue adjacente à la ligne noire formée par le desmodonte.
- Le motif trabéculaire (trabéculations épaisses et proches les unes des autres à la mandibule, fines et espacées au maxillaire) et la densité de l'os environnant. Tout changement dans leur épaisseur, continuité et radio-densité reflète la présence de pathologie. [77]



Figure 63 : Hypodensité autour de la racine distale, signe d'une parodontite apicale. [72]

Une étude comparative portant sur la sensibilité du panoramique dentaire, des clichés rétro-alvéolaires et du *cone beam*, a ainsi démontré que le panoramique ne détectait qu'un tiers

des images radio-claires, la rétro-alvéolaires un peu plus et le *cone beam* détectait virtuellement toutes les images radio-claires de façon générale. [6]

La radio-clarté qui signifie la présence d'une lésion inflammatoire péri-apicale ne peut être détectée par radiographie conventionnelle qu'en cas de perforation, destructions extensive ou d'érosion de l'os cortical, et que lorsqu'il se produit une perte de 30 à 50 % de la matière minérale de l'os, qui signifient des stades avancés de la lésion. Les lésions de l'os spongieux sont donc peu ou pas visibles et peuvent passer inaperçues, notamment lors de la présence d'une corticale épaisse. Tout cela conduit à une sous estimation de ses lésions avec des valeurs de faux négatifs allant jusqu'à 40%. Ces techniques ne permettent donc pas de diagnostiquer les lésions débutantes, et ne permettent aussi pas de différencier les lésions débutantes des processus de cicatrisation dans leurs phases terminales. Depuis son apparition et son développement, le *cone beam*, avec les images en trois dimensions qu'il offre, une résolution nettement supérieure à celle des techniques conventionnelles, et un moindre bruit, a réussi à surmonter les limites précédemment décrites. Ce dernier est nettement plus sensible, permet de visualiser les lésions confinées même à l'os spongieux, les lésions de petites tailles, les lésions débutantes, et les lésions jouxtant d'autres structures anatomiques dont elles peuvent se superposer et passer inaperçues en techniques conventionnelles. [73.75]

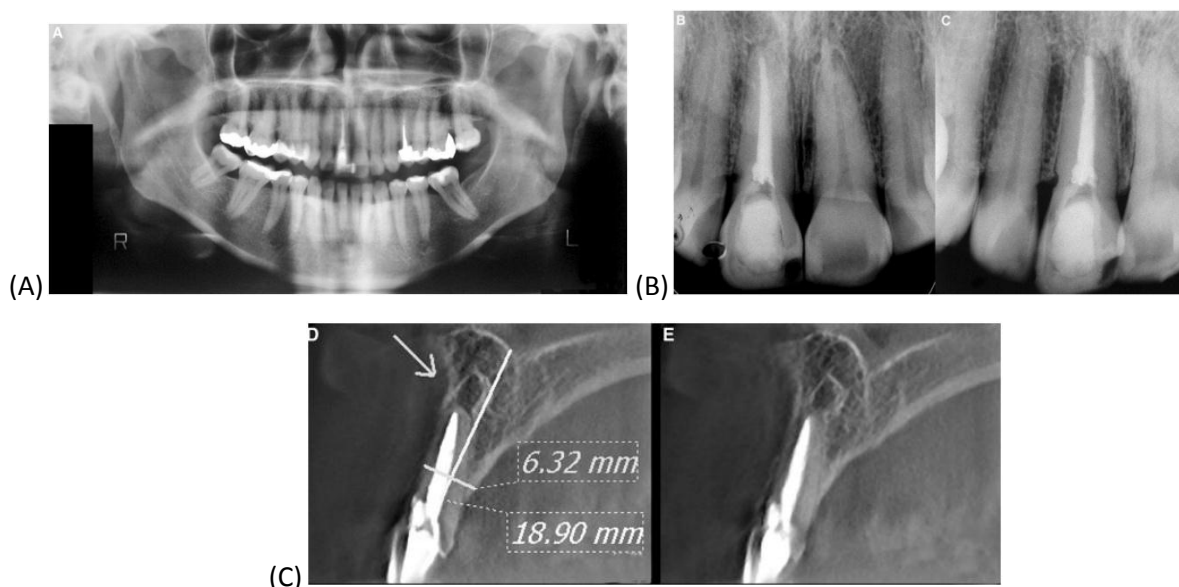


Figure 64: (A) Radiographie panoramique ne suggérant pas une parodontite apicale sur la 11. (B) Radiographie rétro-alvéolaire ne montrant pas une parodontite apicale sur la 11. (C) Image obtenue en Cone Beam mettant en évidence la parodontite apicale sur la 11.

Le *cone beam* permet aussi en cas de doute clinique discordant avec l'imagerie conventionnelle de ramener une lésion kystique se projetant sur l'image d'un apex dentaire à un processus extra dentaire indépendant de la dent que démontre l'évaluation en 3D. [29]

Cette technique permet aussi de distinguer les dents symptomatiques atteintes de parodontites apicales nécessitant un traitement endodontique, d'autres dents présentant la même symptomatologie (une surcharge occlusale résultat d'une para-fonction par exemple) mais nécessitant d'autres interventions. [79]

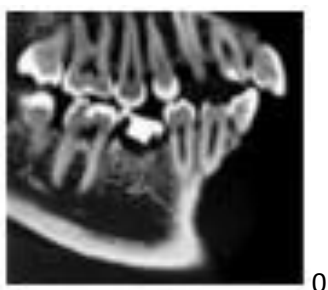


Figure 65 : Hypodensité constitutionnelle de la mandibule pouvant simuler une réaction péri-apicale (reconstitution frontale). [29]

La nécessité d'évaluer l'importance d'une parodontite apicale ainsi que sa fréquence a conduit à la mise en place d'un indice CBCTPAI (Cone Beam Computed Tomography Peri Apical Index) décrit par Estrela en 2008, qui fournit des mesures bien précises, basé sur les données du *cone beam*, établit une échelle de 6 scores ou degrés :

- Le score 0 correspond à un os apical intact.
- Le score 1 à une lésion de 0,5 à 1 mm de diamètre.
- Le score 2 à une lésion entre 1 et 2mm.
- Le score 3 à une lésion entre 2 et 4 mm.
- Le score 4 à une lésion entre 4 et 8 mm.
- Le score 5 à une lésion de plus de 8 mm de diamètre.

La lettre «E» est ajoutée à chaque score si la lésion présente une extension à une corticale, et la lettre «D» si la lésion est responsable d'une destruction d'une corticale. La lésion est mesurée par

un logiciel dédié (Planimp Software) dans les trois dimensions de l'espace et seule la plus grande dimension est retenue. [77]

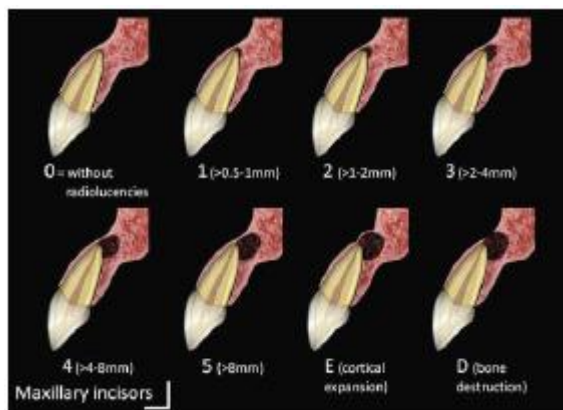


Figure 66 : Echelle de CBCTPAI sur une incisive maxillaire. [6]

2.5. Formes et aspects cliniques des parodontites apicales :

Le type et la progression de l'infection et de la réponse inflammatoire de l'apex sont dépendants de plusieurs facteurs relatifs à l'agent pathogène et au système immunitaire, le résultat est un large spectre d'évènements variant d'un abcès péri-apical aigu de propagation très rapide à un granulome péri-apical chronique progressant très lentement. [77]

2.5.1. Les parodontites apicales aiguës (PAA) :

Ce terme implique que l'inflammation apicale démarre par une phase aiguë, ou qu'un accident aigu se superpose sur une lésion chronique préexistante. Les principaux signes des parodontites apicales aiguës sont la douleur d'origine péri-apicale, une réponse négative aux tests de sensibilité pulpaire, des modifications radiographiques, une percussion franchement douloureuse, le patient sent que sa dent est « plus longue que les autres » et peut décrire un contact occlusal prématuré et de façon inconstante une palpation positive, avec ou non une tuméfaction. [74.75]

2.5.1.1. La parodontite apicale aiguë primaire :

A un stade débutant, elle correspond au passage initial de l'inflammation pulpaire dans le péri-apex. La douleur est spontanée, provoquée par le simple contact de la dent, et toujours reconnue à la percussion. La pulpe est encore vitale. Ce stade visible et détectable sur *cone beam* passe inaperçu en radiographie standards car les changements au niveau du péri-apex ne sont pas visibles sur celle-ci. [73.74]

A un stade avancé, l'inflammation s'installe dans le péri-apex et correspond à une inflammation exsudative sévère. La pulpe est nécrosée, la douleur est spontanée et exacerbée par la percussion ou la pression. La palpation en regard de l'apex est positive. Les changements dans le péri-apex deviennent visibles radiographiquement sous forme d'une zone radioclaire. [74.75]



Figure67 : PAA primaire débutante sur molaire (reconstitution frontale). [76]



Figure68 : PAA primaire avancée sur incisive sup (reconstitution sagittale). [35]

2.5.1.2. La parodontite apicale aiguë primaire abcédée :

Encore dénommée abcès apical aigu, elle correspond à une suppuration localisée du péri-apex. La pulpe est nécrosée, et la douleur est spontanée et permanente. C'est le stade le plus douloureux. Des signes parodontaux sont généralement présents. La palpation en regard de l'apex est douloureuse, faisant suspecter la présence de pus. Une tuméfaction sous-périostée ou sous muqueuse est possible. Un abcès péri-apical aigu primaire, qui est entièrement intra-osseux à ce stade, n'est pas nécessairement visible sur les radiographies conventionnelles qui ne détectent ces lésions qu'en cas de perforation ou érosion des corticales mais l'est sur CBCT capable de déceler des changements même confinés à l'os spongieux. [73]

2.5.1.3. La parodontite apicale aiguë secondaire abcédée :

Elle correspond à l'abcès péri-apical récurrent ou abcès Phoenix. C'est une exacerbation d'une lésion chronique (granulomateuse). Les symptômes sont sensiblement voisins de ceux de l'abcès primaire. Une image radio-claire est toujours décelable du fait de la destruction osseuse préexistante, le CBCT dans ce cas nous rapporte plus de précision sur l'étendue de la lésion par rapport à celles fournies par les techniques conventionnelles. [73]

2.5.2. Les parodontites apicales chroniques :

Elles traduisent un état d'équilibre entre la réaction de l'hôte et les agents agresseurs. La lignée des parodontites apicales chroniques correspond à des pathologies pulpo-parodontales sans douleurs (ou avec des douleurs minimales) qui s'explique par l'absence de surpression. Les lésions sont en général découvertes à la suite d'un changement de teinte de la couronne ou lors des bilans

radiographiques de recherche de foyers infectieux. Les tests de sensibilité pulpaire sont négatifs, ainsi que les réponses à la percussion et à la palpation, sauf dans les cas d'exacerbation aiguë secondaire. [73.74.29]

2.5.2.1. Granulome péri-apical :

Il correspond à un tissu de granulation inflammatoire développé dans l'espace desmodontal péri-apical, l'évolution spontanée se fait fréquemment vers le kyste péri-apical. Ces lésions apparaissent sur CBCT sous forme d'un croissant péri-apical radioclaire bien limité qui devient globalement arrondi par la suite. [8.10]

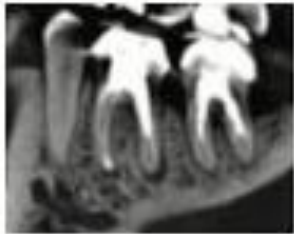


Figure 69 : Granulome débutant sur molaire (Reconstitution frontale). [6]

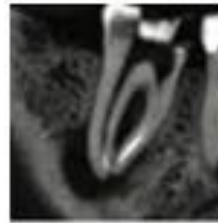


Figure 70 : Granulome apical sur molaire (reconstitution frontale). [79]

2.5.2.2. Granulome latéro-radicaire et granulome inter-radicaire :

Il résulte de la présence d'un canal radicaire secondaire dit « aberrant » que montre l'examen *cone beam* en ultra haute résolution ou d'une extériorisation parfois iatrogène. [29]



Figure 71 : Granulome latéro-radicaire (reconstitution frontale). [6]

2.5.2.3. Le kyste radiculo-dentaire ou apical :

C'est le plus fréquent des kystes des maxillaires, inflammatoire, appendu à l'apex d'une dent mortifiée, il est souvent ignoré ou sous-estimé par les moyens d'imagerie conventionnelle, pour les dents maxillaires en particulier ou à la superposition des racines viennent s'ajouter celle du maxillaire. [6.29]



Figure 72 : volumineux kyste radiculo-dentaire développé dans la région de la 36 (reconstitution frontale Sagittale et axiale). [29]

2.6. Apport du *cone beam* dans le traitement des lésions inflammatoires péri-apicales :

Le traitement des parodontites apicales porte sur le traitement endodontique en premier lieu qu'elle que soit leurs origines, leur pronostic est d'autant plus favorable que leur diagnostic est précoce, le *cone beam* assure l'amélioration de ce dernier en mettant ces lésions en évidence dès leurs premiers stades. [79]

Comparativement à la radiographie conventionnelle, le *cone beam* fournit des informations supplémentaires cliniquement pertinentes utiles et permettant une meilleure planification, déroulement et suivi du traitement endodontique. Le *cone beam* permet d'apprécier la morphologie d'une dent à savoir les nombres de racines, leur orientation, angulation, degré de courbures, surtout pour les pluriradiculés, les nombre et la morphologie des canaux indiquant ainsi la présence ou non de canaux supplémentaires et l'éventuelle présence de calcifications, et sa relation avec les structures environnantes, permet d'apprécier l'épaisseur de la corticale osseuse ainsi que la localisation exacte de la lésion. Toutes ces améliorations des données permettent de diminuer les risques d'actes iatrogènes qui compromettent le succès du traitement endodontiques. Le *cone beam* permet aussi un meilleur suivi et une meilleure appréciation de l'évolution de la lésion après traitement endodontique. [79.80]

3. Les traumatismes dento-alvéolaires :

Les traumatismes dento-alvéolaires constituent des atteintes dont l'incidence est relativement importante notamment dans certaines catégories de la population. La prise en charge de ces atteintes doit intervenir en urgence et peut être parfois délicate. La connaissance des recommandations scientifiques et leur mise en application adéquate permettent généralement de mieux gérer ces cas et d'améliorer le pronostic. Les traumatismes ont des conséquences à court, moyen et long terme et extrêmement variables, ils peuvent conduire à la perte dentaire immédiate ou

retardée dont les incisives maxillaires sont les plus exposées surtout chez l'enfant et plus souvent le garçon (premiers pas, jeux, chute, rixes...). [26]

Chez l'enfant, si une dent est en position suspecte il faudra déterminer si cela relève un déplacement traumatique, le trouble de l'articulé dentaire et de l'occlusion, une hémorragie ou une plaie gingivale sont décelées par l'examen clinique, le test de vitalité et de mobilité des dents concernées, dans ces cas le panoramique est souvent complété par un *cone beam*, et parfois sont de découverte fortuite. La radiographie tridimensionnelle est un adjuvant utile qui appuie un diagnostic endodontique précis, la planification des cas et le traitement. L'utilisation du *CBCT* est considérée comme une pratique courante dans le cadre de l'examen des blessures dentaires traumatiques, de la résorption ou des fractures soupçonnées, et dans les dents déjà traitées. Les traumatismes buccaux peuvent comprendre de multiples sous-ensembles de blessures, et la nature aiguë de tels diagnostics justifie une identification minutieuse des dents fracturées et des mâchoires, ainsi que le déplacement des dents dans l'os. Les Guidelines for the Management of Traumatic Dental Injuries de l'American Association of Endodontists suggèrent que l'imagerie *CBCT*, lorsqu'elle est disponible, devrait être utilisée dans les évaluations de base. Ces images peuvent aider à identifier et à démontrer l'étendue des fractures des dents et des alvéoles, ainsi que guider le repositionnement chirurgical ultérieur ou la planification interdisciplinaire du traitement. Pour les lésions de type luxation, y compris les commotions cérébrales, les subluxations et les luxations latérales, intrusives et extrusives, l'imagerie 3D devrait être utilisée pour visualiser l'espace du ligament parodontal et identifier directement les déplacements. Pour gérer les blessures avulsives, l'imagerie *CBCT* post-réimplantation peut confirmer le positionnement et exclure les fractures de la plaque corticale associées. Le *CBCT* est aussi utile chez les patients avec traumatismes dentaires complexes. [81.82]

L'emplacement de la crête alvéolaire par rapport aux structures anatomiques, comme le nerf alvéolaire inférieur, sinus maxillaire, foramen mental, et les dents adjacentes, sont facilement identifiés en utilisant *CBCT*. En outre, l'imagerie tridimensionnelle capture les détails du squelette et des tissus mous ce qui augmente ainsi la confiance diagnostique et Les images qui en résultent sont ergonomiques. [83]

Il est aussi admis que le *CBCT* est bien supérieur à la radiographie rétro-alvéolaire dans la détection des fractures pour déterminer un axe vestibulo-lingual ou mésio-distal. [84]

Les traumatismes sont de quatre entités :

3.1. Contusion :

La dent est très faiblement mobilisée mais il n'y a pas de déplacement, elle se traduit par des douleurs spontanées ou provoquées par la mastication ou le froid sans mobilité patente ni anomalie radiologique conventionnelle mais en *cone beam* avec un discret élargissement desmodontal, comme elle peut passer inaperçue. [26.81]

3.2. Subluxation :

C'est une urgence relative à prendre en charge immédiate ou dans les 24 H, la dent est mobile douloureuse avec ou sans saignement au collet, le *cone beam* détecte l'élargissement desmodontal palatin ou lingual, une fracture de la corticale vestibulaire, une absence de fracture dentaire, il nous permet de distinguer les différentes subluxations : subluxation dans l'axe (dent non déplacée), subluxation latérale (dent déplacée et déviée), ingression (intrusion), égression.

3.3. Luxation dentaire totale (expulsion) :

Il s'agit d'une urgence thérapeutique, il faut rincer la dent et la conserver dans le lait ou le sérum physiologique ou de la salive avant la réimplantation, le bilan radiologique est souvent limité au radiographie retro-alvéolaires, le *cone beam* est réalisé soit après la réimplantation soit plus tard en cas de complication (ankylose, ou perte de dent pour un bilan avant implant).

3.4. Fracture dentaire :

Elles peuvent concerner tous les tissus composant la dent, à des degrés variables allant de la simple atteinte coronaire au niveau amélaire), jusqu'à la fracture radiculaire, L'urgence du traitement et le type de prise en charge dépendront de la gravité de la fracture, des tissus exposés et des signes cliniques associés, le *cone beam* permet d'analyser le trait de fracture, l'état du desmodonte et du péri apex, des parois alvéolaires (particulièrement la vestibulaire et palatine/linguale souvent ignorées par la radiologie conventionnelle), l'os alvéolaire et les dents voisines.

3.4.1. Fêlure :

C'est une fracture incomplète (fissure) de l'émail sans perte de structures dentaires.

3.4.2. Fractures coronaires :

Elles sont représentées par :

- Fractures de l'émail, minimales, souvent négligées par le patient mais à ne pas sous-estimer

- Les fractures coronaires simples, concernant l'émail et la dentine mais respectant la pulpe, dont la reconstitution du fragment fracture protège la pulpe
- Les fractures coronaires pénétrantes ou corono-pulpaire dont la pulpe est exposée.

3.4.3. Fracture corono-radulaire :

Font communiquer le milieu buccal avec la pulpe et le parodonte.

3.4.4. Fracture radulaire fermée ou intra-alvéolaire :

Ces fractures ne communiquent pas la pulpe et le parodonte avec le milieu buccal, elle se manifeste par des douleurs, tuméfaction, abcès, voir fistules, seul le *cone beam* d'ultra-haute définition sur les reconstructions axiales montre le trait de fracture volontiers associé à des signes indirects évocateurs (parodontaux).

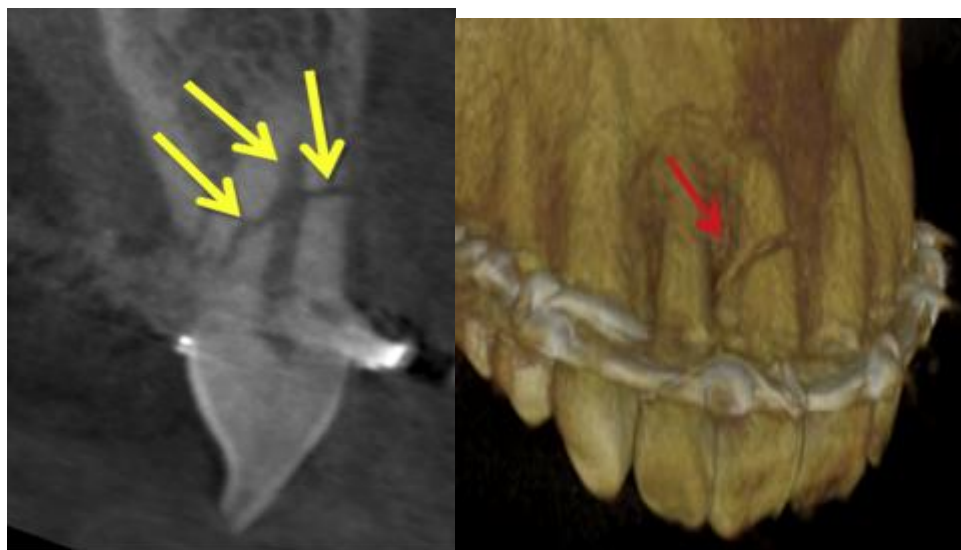


Figure73 : Vue sagittale 3D CBCT de la fracture horizontale de la racine. [85]

3.4.5. Fracture verticale de la racine :

(VRF) désigne la fracture longitudinale de la racine dans les dents traitées par endodontie à partir de l'apex et s'étendant de façon coronaire. Ces fractures comptent parmi les causes les plus courantes d'échec du traitement endodontique, mais leur détection demeure difficile. La détection radiographique est basée sur deux signes : Observation d'une ligne de fracture fine et radioclaire dans la dentine et présence d'une perte osseuse autour de la couronne ou de la racine de la dent, La radiographie *Bite-Wing*, l'illustration, l'observation directe et l'examen clinique au microscope chirurgical sont les techniques courantes de détection des (VRF). Cependant, toutes ces méthodes ont un succès limité. L'efficacité du *cone beam* (CBCT) a été évaluée et il a été démontré que les

techniques d'imagerie en (3D) ont une valeur diagnostique plus élevée que la radiographie conventionnelle pour la détection de la VRF. [86]

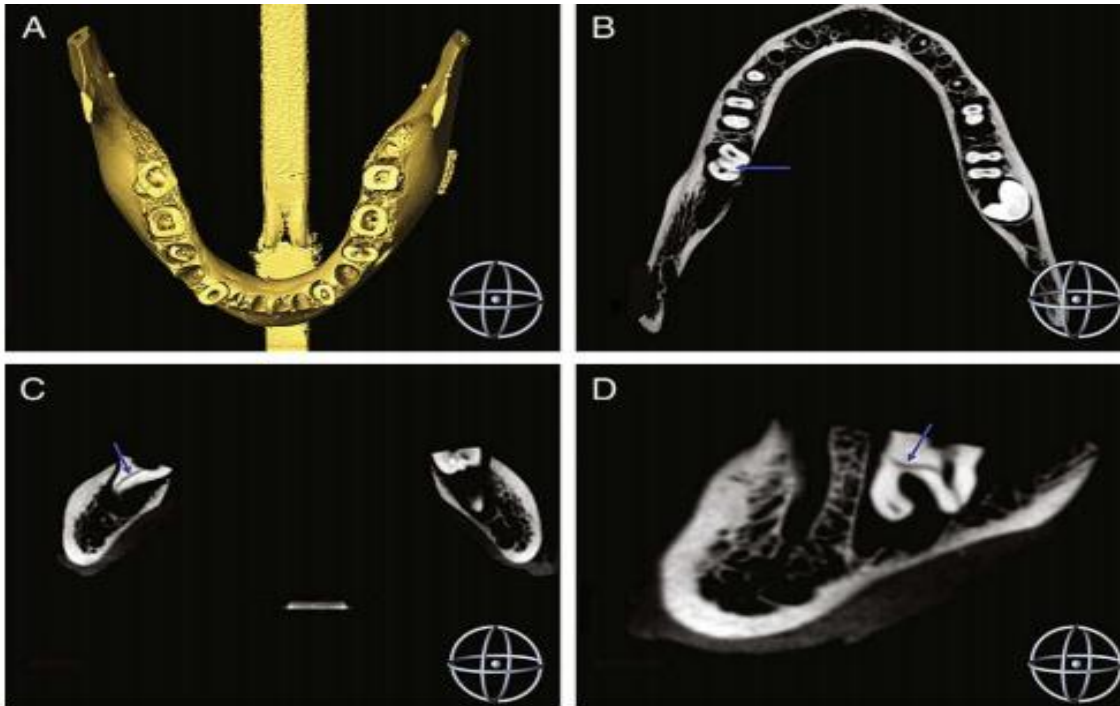


Figure74 : fêlure verticale de la racine résiduelle de 37, pilier distal de bridge.[86]

3.4.6. Complication des fractures :

Les fractures peuvent se compliquer, certaines complications sont parodontales telle que l'alvéolyse souvent tardive, parfois révélatrice de fractures inaperçues telle celle de la furcation souvent responsable d'une alvéolyse inter-radicaire dont l'imagerie 3D décèle mieux, aussi l'ankylose peut stabiliser une fracture simple à bords nets ou plus complexe et l'hypercémentose qui entraîne une déformation apicale, les complications endodontiques sont représentées par la nécrose pulpaire qui est fréquemment responsable de kystes post-traumatique révélé fortuitement plus tard sur une radiographie, comme elle peut évoluer et s'associer à un rétrécissement canalaire par réaction dentinaire ou à une déformation radiculaire par dilacération, aussi d'autres complications des fractures comme l'ostéite et la communication buccosinusienne et la sinusite. [26]

Cas clinique :

- Diagnostique : Fracture horizontale de la racine

Le patient est un homme caucasien de 85 ans ayant des antécédents médicaux de lymphome non hodgkinien, de pontage aorto-coronarien et d'hypertension artérielle. Le patient subissait de la pression dans la partie supérieure droite depuis quelques mois. Il a évalué son échelle de douleur à 2 sur 10. Le patient n'était pas en mesure de se rappeler quand le traitement du canal radiculaire a été fait. L'examen clinique du maxillaire droit a révélé que la première molaire était sensible aux tests de palpation et de percussion. La dent présentait une mobilité de classe 1 avec une atteinte de la furcation du type II. Des poches parodontales ont été relevées dans les zones suivantes :

Vestibulaire (V) : 6mm; lingual (L) : 6mm; mésio-vestibulaire (MV); et mésio lingual (ML) : 8mm. La radiographie a révélé une lésion radioclaire importante autour de la racine du MV, et une dégradation au niveau de la furcation. La racine palatine (P) n'est pas discernable sur la radiographie; il est donc possible que cette dent ait subi une amputation de la racine palatine.

Le patient n'avait pas une bonne mémoire de ses antécédents dentaires et n'a pas pu confirmer si cette procédure a été effectuée sur la dent. Les canaux étaient sous-formés, et les obturations des canaux radiculaires étaient inférieures aux apexes radiographiques. Il est possible qu'un canal MV2 ait été manqué. Basé sur la radiographie et les résultats cliniques, la lésion péri-radiculaire est une lésion endo-parodontal. Un examen CBCT a été effectué. Le *Hitachi CB MercurRay* a été utilisé avec un champ de vision de 4 po. et une résolution de voxel de 0,10. Les images CT ont révélé une grande lésion radioclaire autour de l'extrémité de la racine du MV de la première molaire maxillaire, et il y a une fracture horizontale oblique de la racine du MV. Les images ont également confirmé qu'il n'y a pas de racine palatine. Plusieurs coupes d'images de la vue sagittale ont également révélé la lésion autour de la racine MV de la première molaire maxillaire s'étendant jusqu'à l'apex de la racine de la seconde prémolaire maxillaire droite. Cliniquement, la deuxième prémolaire maxillaire ne répondait pas au test de vitalité. Le plan de traitement était d'extraire la première molaire maxillaire droite et commencer le traitement endodontique non chirurgical sur la deuxième prémolaire maxillaire droite. [42]

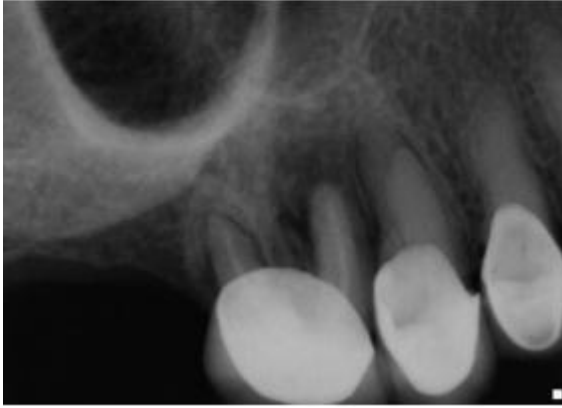


Figure75 : Radiographie péri apicale de la 1^{ère} molaire droite montrant une lésion radioclaire autour de l'apex de la 1^{ère} molaire maxillaire droite. [42]

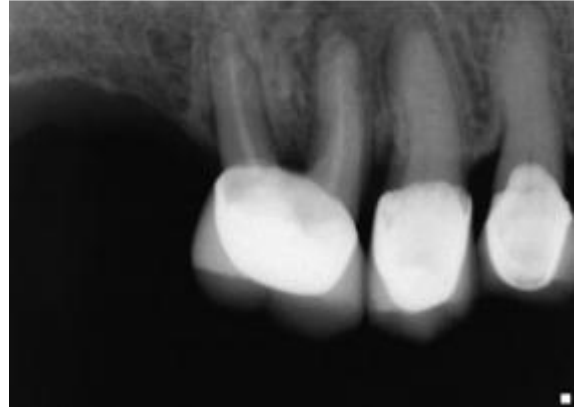


Figure76 : Radiographie péri apicale montrant une atteinte de la furcation de la racine mesio buccal [42]



Figure 77 : Fracture horizontale constatée dans la vue sagittale (fenêtre supérieure droite) et la vue frontale (fenêtre inférieure gauche). [42]

4. Les résorptions radiculaires :

4.1. Définition :

La résorption radiculaire est la perte progressive de la dentine et du cément par action continue des cellules ostéoclastiques. Dans la denture primaire/mixte, il s'agit d'un processus physiologique normal entraînant l'exfoliation des dents de lait, mais dans la denture adulte il est

largement pathologique. La résorption peut se produire à la fois intérieurement et extérieurement et est connue pour être définie et maintenue par de nombreux facteurs, mais la nécrose pulpaire, le traumatisme, le traitement parodontal, le traitement orthodontique et les agents blanchissants des dents sont les stimulants les plus communément décrits.

Indépendamment de la cause initiale le processus est en grande partie d'origine inflammatoire.

Il est souvent difficile d'identifier une cause spécifique de la résorption, car elle est habituellement asymptomatique. L'étiologie est souvent multifactorielle à moins qu'une cause spécifique ne puisse être identifiée. [88]

4.2. Classification :

En fonction de l'emplacement, les lésions résorptives peuvent être classées en internes et externes. Dans le premier cas, la lésion se produit sur l'aspect externe de la racine. Dans ce dernier cas, la lésion se produit avec la racine sur la dentine du canal radiculaire et/ou de la chambre pulpaire. De nombreuses tentatives ont été faites pour classer davantage les lésions résorptives. Ces systèmes de classification reposent en grande partie sur le site et le type du processus de résorption. La classification peut également être fondée sur l'étiologie.

La résorption externe peut être classée en fonction des résultats cliniques et histologiques selon quatre types différents :

- Résorption de surface.
- Résorption inflammatoire progressive.
- Résorption cervicale.
- Résorption de substitution (remplacement).

La résorption interne est de nature inflammatoire, mais le processus résorptif peut avoir un composant de remplacement avec un tissu d'origine mixte qui se dépose dans le canal. Ce tissu peut être calcifié, deux types de résorption radiculaire interne ont été décrits par Ne et al et Heithersay :

- résorption interne inflammatoire
- résorption interne de remplacement. [88.89.90.91]

4.3. Le processus de résorption dentaire :

Le processus de résorption est associé à une lésion du ligament parodontal résultant d'une lésion et d'une nécrose, les macrophages sont les premières cellules détectées, suivies par les

cellules multinucléées, les odontoclastes, qui sont le principal moteur de résorption ils affectent le ciment et la dentine ainsi que les os et le cartilage.

La résorption radiculaire apparaît en raison de l'activité cémento-clastique, dentino-clastique et/ou ostéoclastique. L'endommagement du ciment et l'infection du système endodontique peuvent stimuler l'activité ostéoclastique dans le tissu péri-apical et la résorption externe des racines peut être initiée. Les odontoclastes et les ostéoclastes ont des modes d'action similaires, mais agissent à différents endroits. [88.92]

5.4. L'apport du *cone beam* dans le diagnostic d'une résorption radiculaire :

Le diagnostic de la résorption radiculaire est désormais plus facile grâce à l'imagerie tridimensionnelle.

Le CBCT permet d'établir un diagnostic différentiel fiable sans ambiguïté entre résorption interne ou externe, pour évaluer l'étendue de la lésion et l'épaisseur des parois restantes dans les trois directions de l'espace. Le *cone beam* est considéré aujourd'hui comme un outil essentiel pour la détection des résorptions à un stade précoce et pour affiner le diagnostic en complément des radiographies conventionnelles. Des études récentes ont indiqué que les défauts de résorption peuvent être difficiles à diagnostiquer correctement, ce qui peut entraîner un traitement inapproprié, des symptômes douloureux ou une perforation des racines, associés à une structure dentaire affaiblie. En outre, la précision du diagnostic basée sur l'examen radiographique classique est limitée par le fait que les images produites par ces techniques ne fournissent qu'une image bidimensionnelle (2D), étant inexacte concernant la communication de résorption interne avec les ligaments parodontaux, avec l'inconvénient supplémentaire que les structures anatomiques en cours d'imagerie peuvent être déformées. [93.94]

Lorsqu'un patient se présente pour une consultation et qu'il y a une suspicion de résorption radiculaire, certaines questions doivent être posées pour obtenir le bon diagnostic:

- De quel type de résorption s'agit-il?
- La résorption est-elle externe, interne ou communicante?
- Le processus est-il transitoire, autolimitant et ne nécessite-t-il pas d'intervention ou, au contraire, une prise en charge rapide est-elle nécessaire ?
- Quelle est la thérapeutique la plus appropriée?
- Une fois le traitement terminé, quel est le pronostic à court et long terme?

Il n'est pas toujours possible de trouver des réponses à ces questions en utilisant uniquement la radiographie conventionnelle. Lorsque la lésion est étendue, la confusion entre une résorption interne et une résorption externe est facile. [93]

RÉSORPTION INTERNE <i>INTERNAL RESORPTION</i>	RÉSORPTION EXTERNE CERVICALE <i>CERVICAL EXTERNAL RESORPTION</i>
Contour lisse <i>Smooth contour</i>	Contour mal défini <i>ill-defined contour</i>
Généralement symétrique par rapport au canal <i>Usually symmetric to the canal</i>	Asymétrique <i>Asymmetric</i>
Radioclarité de densité uniforme <i>Homogeneous density radiolucency</i>	Radiodensité variable dans le corps de la lésion <i>Variable radiodensity in the lesion body</i>
Le contour du canal ne peut pas être suivi à travers la lésion <i>The canal contour cannot be followed through the lesion</i>	Le contour du canal peut se tracer à travers la lésion, car ce dernier se superpose sur le canal <i>the canal contour can be traced through the lesion since it is superimposed on the canal</i>

Tableau 5 : Comparaison des images radiologiques des deux lésions inflammatoires fréquemment rencontrées. [93]

Les résorptions externes peuvent apparaître dans n'importe quelle zone de la racine et peuvent ainsi se superposer avec le canal. La résorption cervicale externe se produit au niveau de l'attache épithéliale, qui se trouve à la région cervicale de la dent, s'il n'y a pas de récession gingivale majeure. La résorption envahit la dentine et peut entraîner des taches limitées sur la surface de la dent à une destruction importante des structures de la dent. Or une erreur de diagnostic entraînera inévitablement une erreur du traitement. Les deux types de lésions, inflammatoires internes ou externes, peuvent produire la même image radiographique. Afin de les distinguer, on peut utiliser la méthode radiologique comparant une image orthocentrique et un cliché excentrique. En cas de résorption interne, l'image de la lésion ovale reste centrée sur le canal quel que soit le cliché. Au contraire, dans le cas de résorption externe, la lésion confondue avec le canal sur la radiographie orthocentrique se dissociera du canal sur une image prise avec angulation différent. [93.95]

Dans une étude, Patel et Coll ont démontré la possibilité d'améliorer le diagnostic de résorption interne et cervicale externe par CBCT. Il a pu démontrer la supériorité de cet examen par rapport à la radiographie intra-orale, pour détecter mais aussi évaluer la nature de la résorption radiculaire. L'auteur indique que le CBCT est fiable dans 100% des cas pour déterminer la présence et le type de la résorption. Il s'agit de la première étude clinique qui a validé l'intérêt de l'utilisation du *cone beam* pour le diagnostic et la gestion du traitement des résorptions. Ces résultats ont été confirmés ex vivo par Kamburoglu et coll, en évaluant la capacité des

examineurs à différencier une résorption cervicale invasive et résorption interne du tiers cervical à l'aide d'une radiographie CBCT. [93.94]



Figure 78 : a. Radiographie ortho-centrée révélant une résorption atypique en croissant, aux contours mal définis, non symétrique par rapport à l'axe du canal sur la dent 12
b. Radiographie excentrée en distale, l'image reste centrée sur le canal.
c. Le CBCT permet de confirmer le diagnostic de résorption interne non perforante et de visualiser la résorption apicale en biseau. 3d. Radiographie postopératoire avec une obturation en technique de condensation verticale à chaud. [93]

Le *Pink spot* (la tache rose mettant en évidence une zone rose visible par transparence sous l'émail de la couronne) est souvent considérée comme un signe pathognomonique de la résorption interne inflammatoire. Cette coloration est due à la présence de tissu de granulation dans le cas où la résorption est située en coronaire. Cependant, cela peut aussi être une caractéristique d'une résorption externe cervicale. [93]



Figure 79 : a. Illustration d'un *Pink spot* visible sur la vue vestibulaire de la dent 11. Associée à des douleurs, cette image est pathognomonique d'une résorption active. Aucun sondage particulier n'est objectivé. b. La radiographie pré opératoire indique une image de résorption difficile à interpréter sur l'étendue dans sens mésio distal et vestibulo palatin.

c. Le CBCT permet de confirmer le diagnostic de résorption cervicale invasive qui s'étend sur la face vestibulaire jusqu'au canal au stade perforant. Il s'agit du stade 3 de la classification de Herthersay. La patiente est ainsi informée de la difficulté du traitement et du pronostic réservé. [93]

5.5. L'apport du CBCT dans la détection des résorptions au stade précoce :

Le diagnostic des résorptions inflammatoires externes repose exclusivement sur la radiographie. Le processus de résorption peut évoluer vers une résorption radiculaire complète qui peut se produire rapidement en quelques mois. Le diagnostic basé sur la radiographie conventionnelle peut être retardé en raison de la superposition de structures anatomiques, et par la compression d'une anatomie tridimensionnelle en deux dimensions.

Plusieurs études ont montré que la radiographie traditionnelle n'est pas une technique fiable pour détecter une résorption externe inflammatoire précoce, elles ont affirmées également

la contribution du CBCT dans l'identification des résorptions externes précoces simulées, d'autre part, que le *cone beam* est plus performant que la radiographie intra-orale numérique. [93]

5.6. Influence du CBCT sur le choix thérapeutique :

La capacité d'évaluer la gravité d'une lésion influence notablement la décision thérapeutique. Les éléments observés sur CBCT (étendue du défaut, localisation, paroi résiduelle) peuvent modifier le plan du traitement, notamment sur le choix de la technique à mettre en œuvre, le choix des matériaux pour une démarche endodontique chirurgicale et / ou conventionnelle. Si la dent est conservable et restaurable à long terme, le traitement endodontique reste le traitement de choix pour les résorptions inflammatoire interne. Cette dernière peut perforer la surface radiculaire sans que cela soit détectable avec une technique de radiographie conventionnelle, or cette caractéristique influence directement l'option thérapeutique. Les coupes axiales permettent de comprendre l'épaisseur des parois radiculaires résiduelles. De la même façon, la radiographie conventionnelle ne peut pas évaluer l'épaisseur du tissu résiduel entre le canal et la résorption externe inflammatoire.

Dans le cas où la résorption a entraîné une perforation de la racine, la lésion peut être comblée d'un matériel dédié, tel que MTA ou Biodentine®. Lorsque la lésion est localisée plus apicalement, le traitement peut être délicat. La fiabilité des mesures linéaires obtenues à l'échelle 1/1 permettent dans certains cas de faciliter la localisation du défaut lors de l'acte thérapeutique et de mesurer la longueur de travail lorsque la résorption perturbe l'utilisation du localisateur d'apex. En cas de résorption considérable, le plan de traitement proposé doit être aussi conservateur que possible des murs résiduels et doit minimiser les forces de condensation par la technique d'obturation du gutta chaude thermoplastique afin d'éviter la fracture radiculaire.

En cas de résorption apicale, le diagnostic différentiel entre résorption apicale externe et formation radiculaire incomplète, qui peuvent tous les deux avoir une racine plus courte avec un apex ouvert, sera fait par la forme et la taille du système endodontique. En effet, les coupes axiales révèlent un système canalaire large avec des parois parallèles ou divergentes. En cas de résorption externe apical, les canaux seront plus étroits et les parois convergeront dans une direction apicale. Cette observation permet d'anticiper le choix de la mise en forme et de l'obturation, si un traitement endodontique est nécessaire et de prévenir la propulsion des matériaux dans le péri-apex. [93]

Cas clinique :

- Diagnostique : Résorption externe de la racine

Une femme caucasienne de 52 ans ayant des antécédents médicaux de traitement hormonal substitutif et de problèmes thyroïdiens a été dirigée vers un traitement endodontique non chirurgical de la première molaire maxillaire droite. La patiente avait subi un traitement parodontal avec cette dent pendant 2 ans où le parodontologiste essayait de fermer la poche et n'a pas été en mesure de la traiter avec succès la zone. Elle a alors vu un autre parodontologiste qui l'a informée qu'une greffe pourrait être effectuée, mais que ce ne serait qu'une solution temporaire. Son autre option était d'extraire la deuxième molaire maxillaire pour gérer la poche dans entre les dents parce que le parodontologiste a senti que le problème parodontal provenait de cette dent. Des profondeurs de sondage significatives de 9 mm ont été relevées entre la première molaire maxillaire droite et la seconde molaire maxillaire. L'examen clinique a révélé que la deuxième molaire maxillaire droite était légèrement sensible. La première molaire maxillaire droite était sensible à la morsure, ne réagissait pas au test du froid, et la mobilité est dans les limites normales. La radiographie péri-apicale a révélé que la dent se rapprochait du plancher du sinus maxillaire. Les racines vestibulaires ont été fusionnées et aucune pathologie péri-radicaire évidente n'a été notée. Un CBCT a été recommandé pour un diagnostic complet. L'*Hitachi CB Mercuray* a été utilisé avec un champ de vision de 4 po. et une résolution de voxel de 0,10. Les images CT ont révélé une résorption externe des racines buccales distales et palatines de la première molaire maxillaire. Il y avait une deuxième zone de résorption externe dans la région linguale de la racine P. D'après les résultats, le pronostic a été jugé mauvais et l'extraction a été recommandée. Le traitement non chirurgical du canal radicaire a été indiqué pour la deuxième molaire maxillaire droite parce que le problème parodontal était dû à la première molaire maxillaire droite. [42]



Figure80 : Radiographie péri-apicale des 1er, 2e et 3e molaires maxillaires droites. [42]

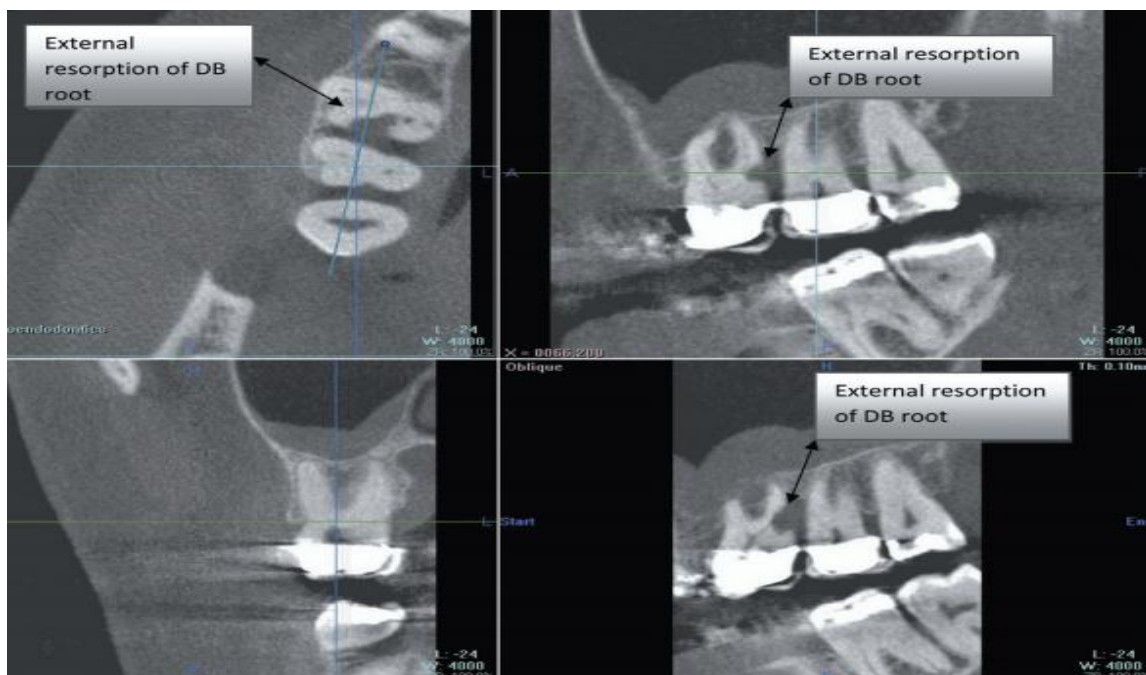


Figure81 : La vue axiale (fenêtre supérieure gauche) des images CT a révélé une résorption externe de la racine DB, s'étendant jusqu'à la racine P. L'image sagittale (fenêtre supérieure droite) montre que la résorption de la racine DB a commencé dans le tiers coronal de la structure racine. On observe une inflammation de la muqueuse du sinus maxillaire. [42]

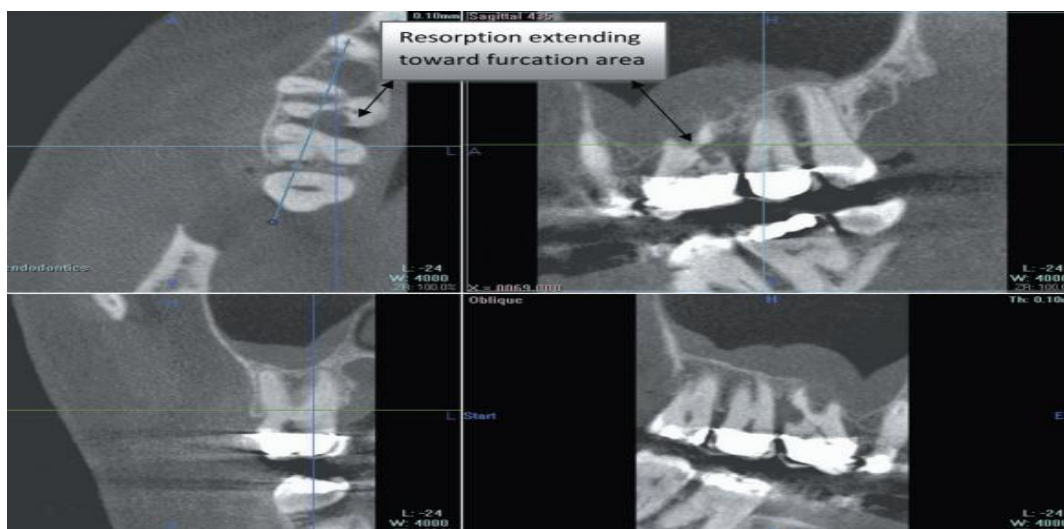


Figure 82 : Une autre vue des images CT a révélé que la résorption externe est étendue, s'étendant vers la zone de furcation de la dent, comme on le voit dans les vues axiale (fenêtre supérieure gauche) et sagittale (fenêtre supérieure droite). [42]

6. L'apport du *cone beam* dans la gestion des instruments endodontiques fracturés :

La fracture des instruments dans le canal radiculaire est un accident fréquent et indésirable pendant le traitement endodontique. Cette interaction peut compliquer le traitement endodontique compromettant le pronostic de la dent et par conséquent l'expérience dentaire du patient. La fracture peut avoir lieu à toutes les étapes du traitement et peut impliquer de nombreux types d'instruments, tels que les limes endodontiques, les forets Gates-Glidden, les alésoirs, les forets Lentulo ou les pointes ultrasoniques. Ces instruments peuvent être en acier inoxydable ou alliage nickel-titane (Nitti).

L'imagerie tomographique à faisceau conique (CBCT) peut surmonter le chevauchement des structures, permettant une évaluation précise de la morphologie dentaire et le diagnostic des complications endodontiques et mettant en évidence l'emplacement des instruments fracturés. Les images tomographiques permettent une évaluation tridimensionnelle de l'emplacement et de la morphologie de l'instrument fracturé à l'intérieur du canal radiculaire. [97]

6.1. Mécanisme de la fracture instrumentale :

6.1.1. Fracture par torsion :

Une fracture par torsion se produit lorsqu'une extrémité de l'instrument ou une autre partie de l'instrument est verrouillée dans le canal, dont la limite élastique du métal est dépassée par le couple du serrage, le matériau subit une déformation plastique permanente, lorsque les contraintes sont encore supérieures, la rupture de la pointe devient inévitable. L'augmentation du diamètre, de la conicité de l'instrument, augmente la résistance à la torsion. [98]

6.1.2. Fracture par fatigue cyclique :

Une défaillance par fatigue cyclique se produit de façon inattendue sans aucun signe de déformation permanente antérieure. Cela se produit en raison des cycles de tension/compression alternés auxquels les instruments sont soumis lorsqu'ils sont fléchis dans la région de courbure maximale du canal. C'est la répétition de ces contraintes dues à l'anatomie radiculaire et au réseau endodontique qui entraînent ce type de fracture. Ce cycle répété de compression/tension, causé par la rotation dans les canaux incurvés, augmente la fatigue cyclique de l'instrument au fil du temps et peut être un facteur important dans la rupture de l'instrument. [99]

6.2. Analyse du fragment instrumental :

6.2.1. La localisation tridimensionnelle :

Pour évaluer la présence d'instruments endodontiques fracturés à l'intérieur d'un canal radiculaire, indépendamment de l'absence ou de la présence du matériau de remplissage, une radiographie péri-apicale 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. Une haute résolution de la tomographie volumique à faisceau conique devrait être préférée, en particulier pour les dents pluri- radiculées mandibulaire les cas où les radiographies péri-apicales ne suffisent pas à élucider la présence présumée d'un instrument fracturé, la haute précision de l'imagerie CBCT dans les dents avec matériau de remplissage doit être prise en considération. Elle permet une localisation du fragment fracturé dans les trois sens de l'espace grâce aux coupes dans le sens axial, coronal et sagittal. Chaque coupe présente son bénéfice dans l'analyse du fragment instrumental. [97.100]

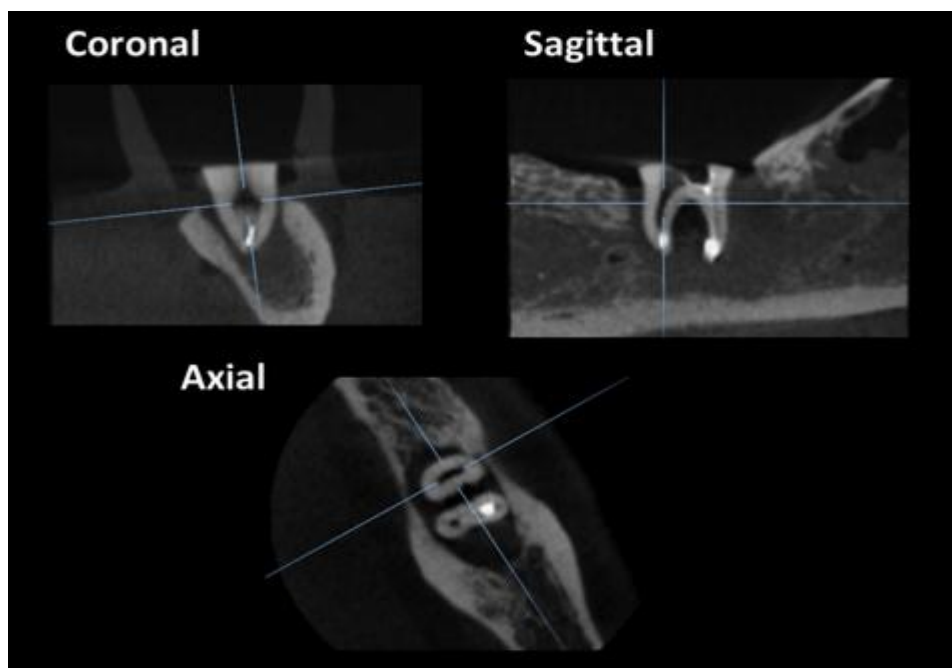


Figure83 : Images CBCT d'une molaire inférieure (reconstructions coronales, sagittales et axiales). Les lignes d'orientation sont sur le canal distal avec un instrument endodontique fracturé. [97]

6.2.2. La dimension du fragment :

La longueur du fragment doit être prise en considération. 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 sa longueur. La largeur de la partie coronaire du fragment doit être également évaluée. Plus la partie coronaire est large, plus la quantité de dentine radiculaire à éliminer pour le dégager est importante. Le risque de perforation ou de fragilisation de la racine est donc augmenté. [101]

6.2.3. Le type d'instrument :

Le matériau de l'instrument fracturé doit être pris en considération, les fragments en acier inoxydable sont considérés comme les plus faciles à dégager que les instruments en nickel-titane (Niti). Ces derniers ont une plus grande aptitude à se fracturer au cours du processus de dépose, peut-être causée par les vibrations ultrasonores directes. En effet, l'accumulation de chaleur au point de contact avec l'insert ajoute un stress au fragment déjà fragilisé. A l'inverse, l'acier est capable de répartir l'énergie rendant les ultrasons plus efficaces. D'autres explications suggérées pour la difficulté accrue de retirer les instruments (NiTi) rotatifs comprennent le fait qu'ils s'engagent ou se verrouillent efficacement dans le canal pendant la rotation et ont tendance à se fragmenter en plus petits morceaux souvent autour des canaux étroits. [102.103]

6.3. La gestion des instruments fracturés :

6.3.1. Technique du *by-pass* :

Cette technique vise à obtenir un passage à côté du fragment fracturé à l'aide d'un instrument manuel. Ce *by-pass* est réalisé avec une lime de petit diamètre (10/100) enduite d'un gel chélatant d'EDTA avec un mouvement de remontoir de montre. Tout au long de la procédure, le canal est irrigué avec une solution d'hypochlorite de sodium et le gel d'EDTA est renouvelé. Lorsque ce passage est obtenu, la mise en forme canalaire est réalisée de façon conventionnelle. L'instrumentation mécanisée ici est contre indiquée. [104]



Figure 84 : Les étapes du *by-pass*. [104]

6.3.2. La technique de dépose :

En cas d'impossibilité d'obtenir le *by-pass*, le fragment doit être retiré pour libérer l'accès au canal. La pointe d'un foret Gates n° 4 est supprimée à l'aide d'une fraise diamantée. Cet instrument modifié est utilisé d'une façon à créer un plateau au contact de l'instrument à éliminer. Un insert ultrasonore est ensuite utilisé pour créer une tranchée tout autour du fragment afin de le dégager sur 1 ou 2 MM. Dans la mesure du possible, le fragment ne doit pas être touché avec ces instruments pour éviter de le détériorer. Lorsque le fragment est petit, il peut être éliminé à ce stade. Une fois il est potentiellement dégagé, un insert en titane est utilisé avec un mouvement de dévissage pour le faire bouger. Ces inserts s'utilisent sans spray. Pour prévenir tout risque d'échauffement, le canal est rincé avec une solution d'hypochlorite de sodium. [104]

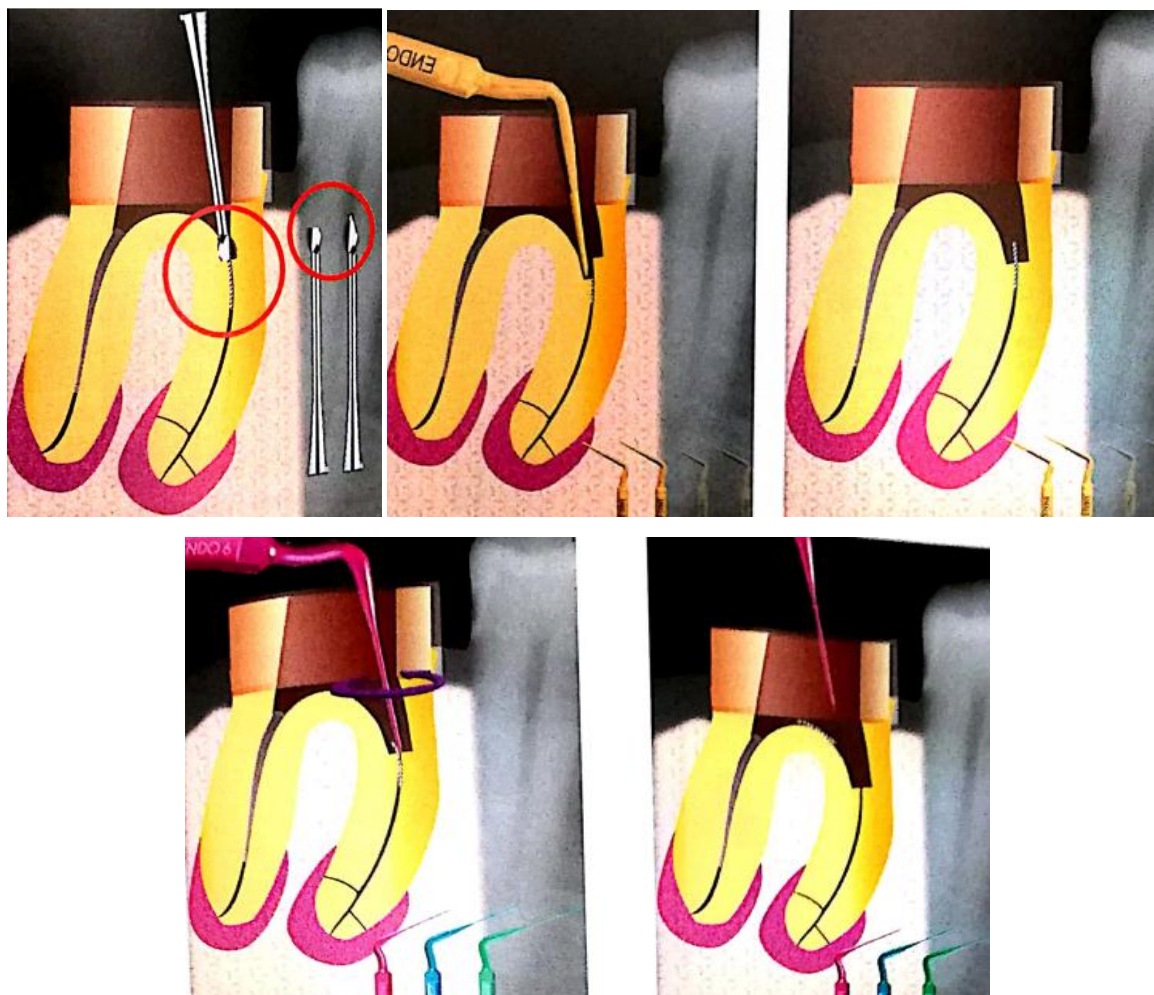


Figure 85 : Dépose d'un fragment instrumental à l'aide d'ultrasons. [104]

7. L'apport du *cone beam* dans l'étude pré-chirurgicale endodontique :

L'endodontie chirurgicale est la réalisation du traitement endodontique par voie apicale, son but est de retirer la lésion inflammatoire péri-apicale et les 3 mm apicaux de la racine et d'obturer le canal radiculaire de manière rétrograde. Avant cet acte il faut analyser les facteurs suivants : la distance entre la corticale et la racine; le nombre des racines et leur forme ; leur convergence ou divergence ; la relation avec les structures adjacentes ; la relation de la lésion avec les dents adjacentes. [105]

7.1. Analyse et planification :

Pour l'analyse, nous allons prendre l'exemple d'un cas clinique. Une patiente est adressée au centre de soins dentaire du CHU de Nantes par un confrère pour le retraitement endodontique sur la 16 qui présente une lésion inflammatoire péri-apicale d'origine endodontique, le test de sensibilité est négatif avec une percussion axiale douloureuse.

Après avoir des difficultés pour poser un bon diagnostic par la radiographie rétro-alvéolaire, on a eu recours à réaliser des clichés 3D avec le *cone beam*.

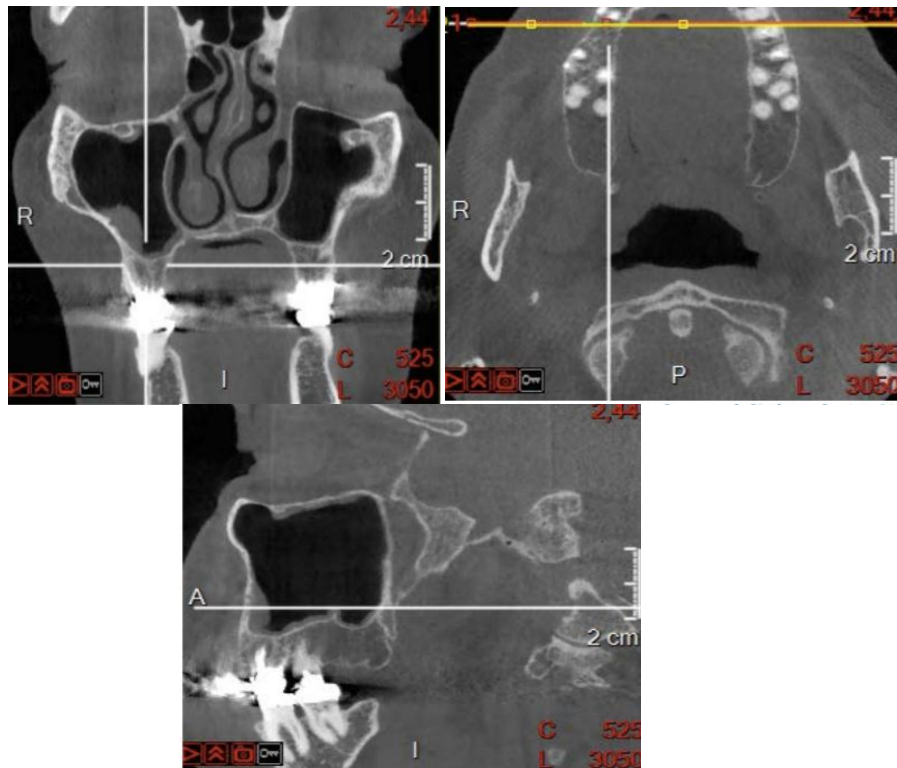


Figure 86 : les différentes coupes issues du *cone beam* réalisés sur la 16 (frontale à gauche, axiale à droite, sagittale au-dessous). [105]

La coupe frontale met en évidence la proximité entre la lésion et la paroi sinusienne, la finesse de la corticale et la localisation en direction palatine de la lésion sur la racine mésio-vestibulaire. Les coupes axiales sont très intéressantes, en effet elles mettent en évidence la finesse de l'os cortical voir même son absence à ce niveau-là, le *cone beam* a un rapport 1/1 par rapport à la réalité, il est donc possible de mesurer la distance entre la corticale et l'apex, ce qui peut être intéressant pour planification opératoire. Le *cone beam* permet aussi d'avoir conscience de la taille et la forme de la lésion. [105.106]

7.2. L'analyse anatomique pré-chirurgicale :

7.2.1. Le foramen mentonnier :

Dans le *cone beam* ci-dessous on peut noter la présence de deux foramina mentonniers accessoires, matérialisés par les flèches, 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. [107]

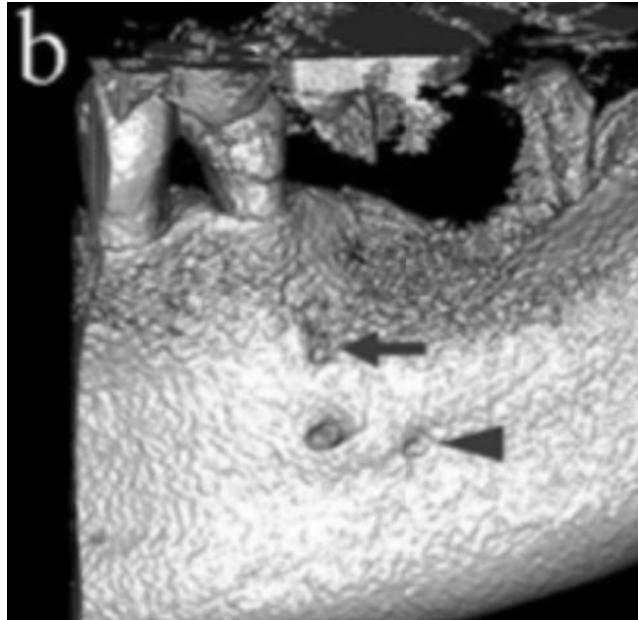


Figure 87 : image issue d'un *cone beam* mettant en évidence la présence de foramens mentonniers accessoires. [107]

7.2.2. Les fosses nasales et 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 à cause de la proximité du sinus. Aussi les fosses nasales sont un élément à prendre en considération lorsque la lésion apicale touche les incisives maxillaires, pour évaluer la distance entre les racines et ces structures anatomiques il faut réaliser des examens complémentaires de bonne précision. [108.109]

7.3. L'utilisation de modèle :

Les données obtenues grâce au *cone beam* peuvent aussi être utilisées pour la réalisation du modèle physique, un modèle à l'échelle réelle de la zone d'intérêt peut être produit par un processus de stéréolithographie permet à l'opérateur de planifier son approche chirurgicale avec plus de confiance. [110]

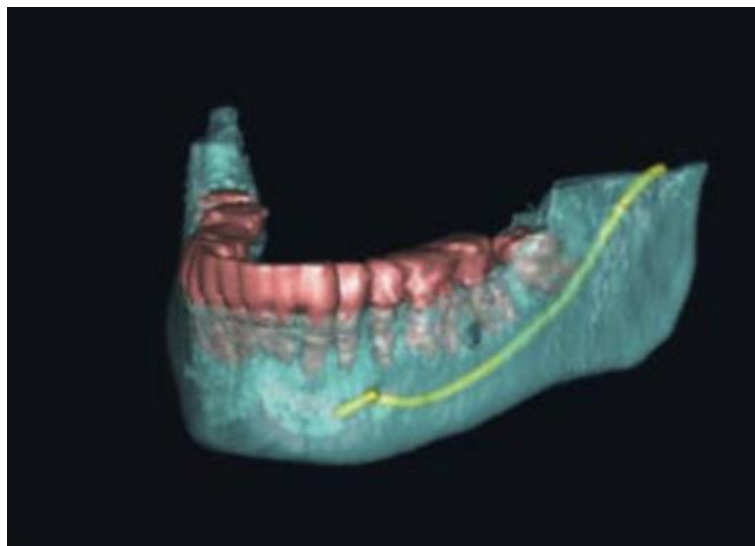


Figure 88 : représentation de la reconstruction 3D du volume à partir du *cone beam*. [110]

8. L'apport du *cone beam* dans le retraitement chirurgical et non chirurgical :

Le traitement endodontique à un taux de réussite élevé. Les méthodes et matériaux contemporains ont permis au traitement canalaire d'obtenir un excellent taux de réussite en maintenant les dents sur la voûte palatine et en assurant leur fonction, Cependant, il n'est pas toujours possible de se remettre du traitement du canal initial et la récurrence de la maladie endodontique nuit au succès de l'intervention. Par exemple, une désinfection insuffisante de la cavité pulpaire peut nuire à la guérison. Les bactéries peuvent persister après le traitement initial car l'équipement et l'irrigation ne peuvent pas être utilisés dans certaines zones. De plus, la réinstallation de l'infection dans le canal radiculaire après le traitement initial peut entraîner une progression de la maladie. La réintroduction de micro-organismes est principalement causée par une fuite coronaire et une récurrence des caries dentaires. En outre, il existe d'autres raisons d'échec, notamment le manque d'isolement du site chirurgical, un nettoyage, un moulage et un remplissage insuffisants. Une obstruction du canal radiculaire telle que la calcification peut également causer des problèmes. L'absence de cicatrisation après le traitement pulpaire initial non chirurgical peut également être liée à des erreurs chirurgicales, à des modifications anatomiques complexes de la cavité pulpaire ou à la présence du biofilms. Les erreurs de procédure comprennent des perforations, des déformations du canal, des fractures instrumentales et la formation de piliers; tous ces éléments peuvent contrecarrer de bonnes attentes. La gestion de l'échec du traitement des canaux radiculaires dépend du mode de défaillance, qui peut être multifactoriel. Les options du traitement de l'échec endodontique comprennent le retraitement endodontique non chirurgical ou chirurgical, l'implantation intentionnelle et l'extraction avec ou sans remplacement de la

dent. La radiographie péri-apicale conventionnelle (PA) est utilisée depuis de nombreuses années comme aide diagnostique en endodontie. Cependant, il est bien établi que les radiographies PA ne sont pas aussi précises que l'imagerie tomographique à faisceau conique (CBCT) pour détecter la présence d'une pathologie péri-apicale. La quantité d'informations obtenues à partir des radiographies PA est limitée par le fait que l'anatomie tridimensionnelle (3D) de la zone radiographiée est compressée en une image bidimensionnelle (2D). Ce problème peut être résolu en utilisant des techniques d'imagerie CBCT à petit volume, qui peuvent générer des images 3D de dents individuelles et des tissus environnants, le CBCT peut fournir des informations supplémentaires par rapport à la radiographie péri-apicale, ce qui peut avoir un impact sur la planification du traitement des cas complexes de retraitement endodontique. [50.106.111]

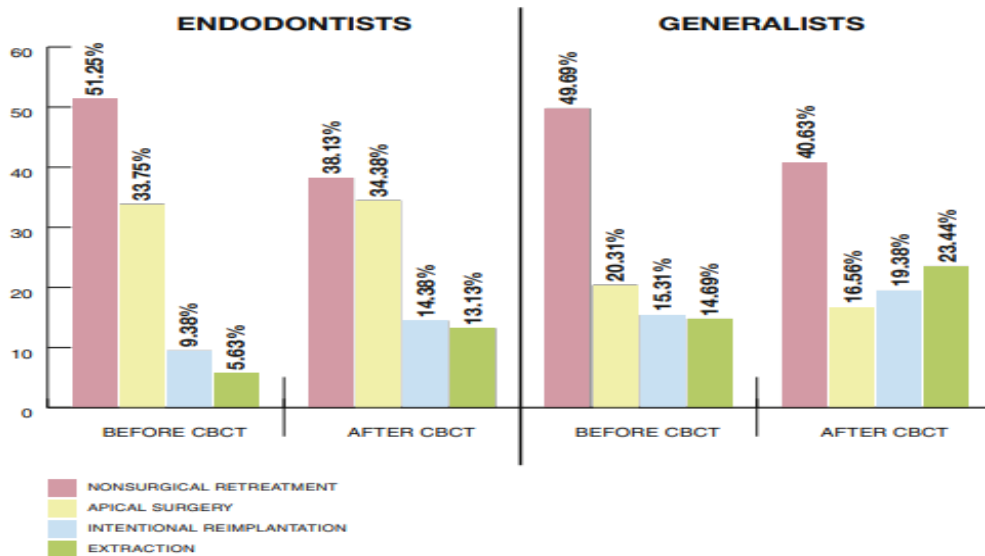


Figure89 : Changements apportés au plan de traitement avant et après l'examen CBCT. [112]

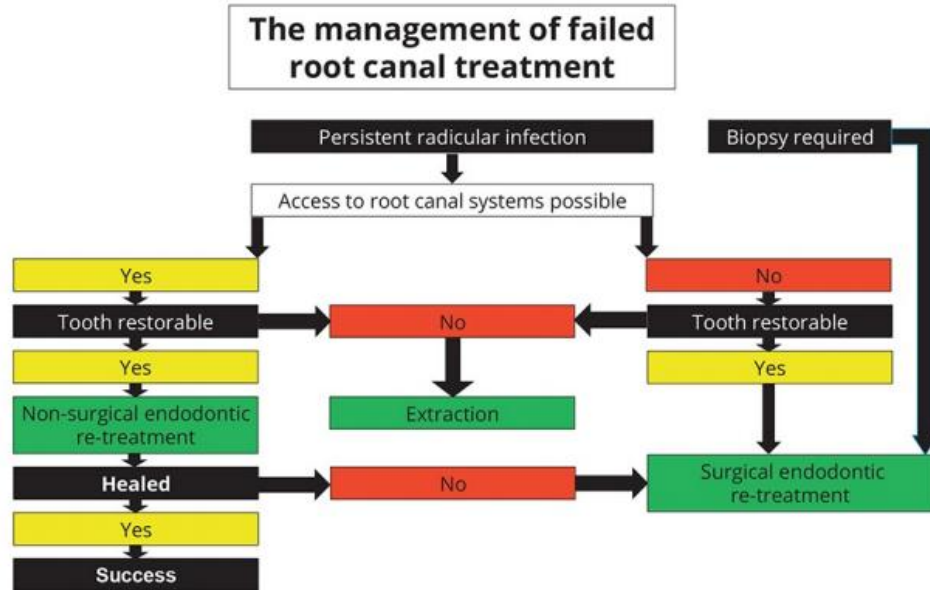


Figure 90 : Facteurs liés à la prise de décisions cliniques relativement à la prise en charge des cas d'échec du traitement radiculaire. Les cases Vert indique le plan de traitement. À noter que la capacité du clinicien d'avoir accès aux systèmes de canal Dans la mesure du possible, le cœur de l'arbre de décision et le traitement endodontique non chirurgical doivent être tentés en premier. Toutefois, à l'occasion, un nouveau traitement endodontique chirurgical peut être indiqué comme première ligne de traitement si une biopsie péri-apicale est nécessaire, ou dans les cas où la récupération du matériau endodontique extrudé est nécessaire. [35]

8.1. Retraitement endodontique non chirurgical :

Il a été démontré que le CBCT est utile dans la gestion des traitements radiculaires échoués et peut fournir des informations concernant la présence, l'emplacement exact (racine) et la nature des lésions péri-apicales qui peuvent ne pas être faciles à détectés sur des radiographies conventionnelles. En outre, des canaux radiculaires supplémentaires, les perforations de fractures verticales des racines, ainsi que la nature et la position des défauts de résorption peuvent être facilement identifié avec CBCT. [35]

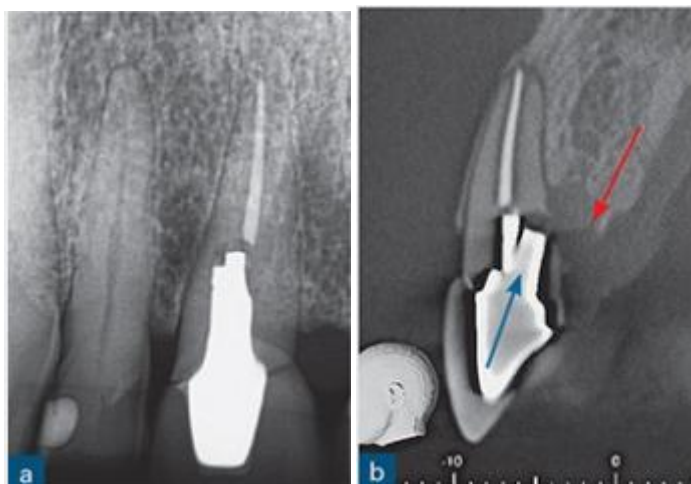


Figure 91 : a) Radiographie péri-apicale d'une incisive centrale supérieure droite traitée à la racine restaurée avec une couronne post-retendue. L'examen clinique a révélé une profondeur de sonde parodontale de 4 mm au niveau du palais, mais l'examen n'a pas révélé de signes distinctifs. Sur la radiographie péri-apicale, le poteau semble avoir dévié distalement, mais la lamina dura est intacte et il n'y a aucun signe de l'élargissement de l'espace du ligament parodontal ou d'une radio op péri-apicale ou péri-radulaire évidente ;le remplissage de la racine semble acceptable en termes de longueur et de densité. (b) La coupe CBCT sagittale a révélé l'angulation palatine de la post-préparation (flèche bleue) et d'une perforation de la troisième racine frontale. La perte osseuse palatine associée est clairement évidente. (Flèche rouge). [35]

8.1.1. La présence d'une lésion péri-apicale :

Il est bien établi que les radiographies conventionnelles peuvent ne pas détecter de lésions péri-apicales, surtout sur les molaires, la présence d'une radio-clarté péri-apicale, non détectée sur une radiographie classique, peut avoir un effet sur la question de savoir si un traitement de canal radulaire existant devrait être laissé seul ou traités de nouveau avant d'offrir une nouvelle restauration coronale. Davies et Al ont évalué le résultat du retraitement radiographique non chirurgical du canal radulaire et ont trouvé un nombre inférieur de résultats favorables avec le CBCT comparativement aux radiographies péri-apicales. L'évaluation avec CBCT a eu une incidence sur la gestion des cas examinés.

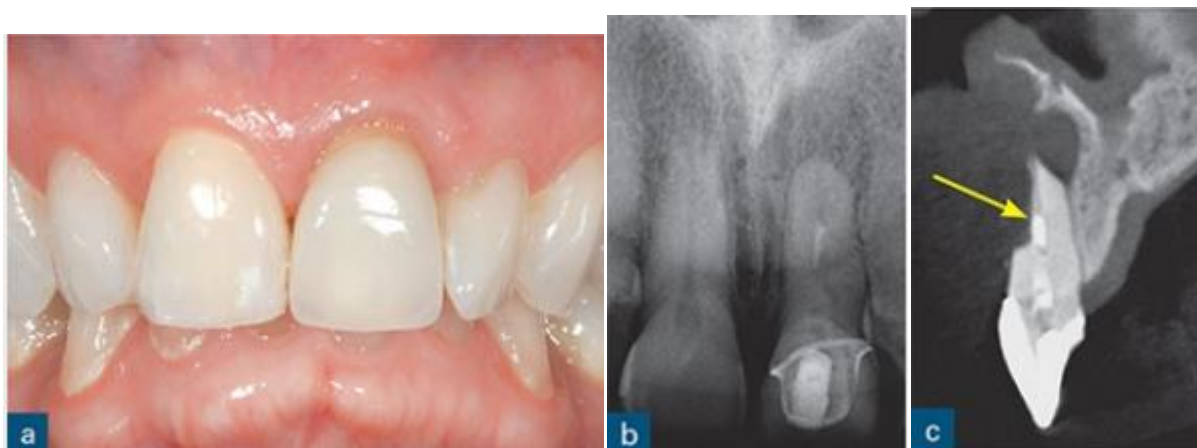


Figure 92 : (a) Une photographie et (b) une radiographie péri-apicale de la dent de l'incisive centrale supérieure gauche. La dent symptomatique a été traitée à la racine et il y a une radio-clarté péri-apicale persistante et bien circonscrite. Le remplissage de la racine manque de longueur et densité adéquates. Pendant le retraitement endodontique non chirurgical, la lecture du localisateur de l'apex était erratique et la lecture zéro et la longueur de travail n'a pas pu être établie de manière fiable. (c) Image CBCT sagittale reconstruite par la même dent révélée perte importante de la structure radicale du tiers coronal au sommet (flèche jaune) et péri-apicale associé perte osseuse. Il n'a pas été possible de traiter de nouveau le canal radiculaire et la dent a été extraite. [35]

8.1.2. Qualité du traitement du canal existant :

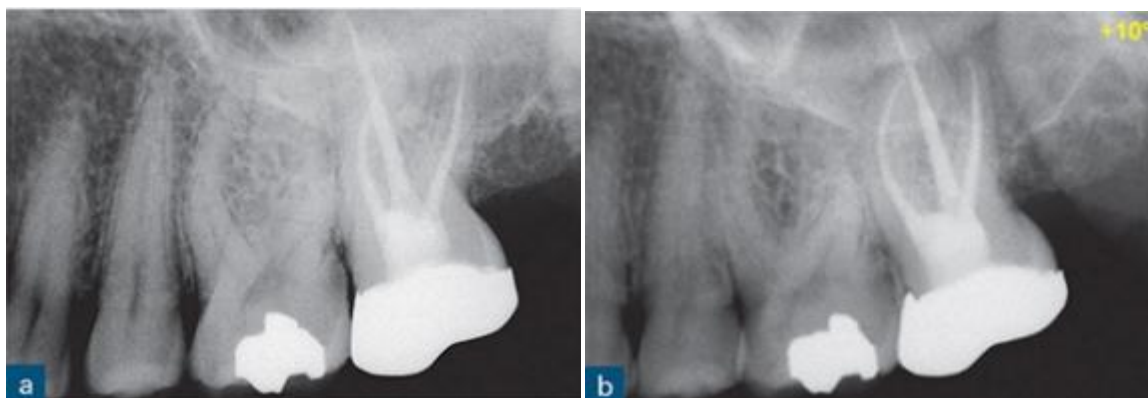
Les études cliniques et de population ont montré une forte corrélation entre la qualité des racines, les obturations du canal et les résultats du traitement. La qualité du remplissage du canal radiculaire est habituellement évaluée par des radiographies péri-apicales et se concentre sur la longueur et la densité du remplissage qui se termine par 0 à 2 mm à partir de l'apex radiographique, il a été démontré qu'il est plus probable que le résultat soit favorable, comparativement aux obturations longues ou courtes, le remplissage de canaux radiculaires sans vide entraîne également un taux de réussite plus élevé.

Laing et al ont démontrés une surestimation de la qualité du remplissage du canal radiculaire en radiographies par rapport au CBCT. Sur les radiographies conventionnelles, lorsque le remplissage de la racine était au ras de l'apex radiographique, il était en fait long on CBCT. De plus, le CBCT s'est révélé supérieur à la radiographie conventionnelle pour la détection des vides de remplissage des racines, particulièrement dans le plan vestibulo-lingual du remplissage radiculaire. Les informations supplémentaires provenant d'une acquisition CBCT peuvent influencer la décision du clinicien d'effectuer des examens non chirurgicaux ou chirurgicaux, traitement endodontique dans les cas réfractaires. Dans certains cas, l'extraction peut être la seule option de traitement fiable.

8.1.3. Canaux radiculaires ratés et caractéristiques anatomiques :

Une désinfection inadéquate du système de canaux radiculaires peut entraîner l'échec du traitement du canal radiculaire. Les raisons de l'infection intra-radriculaire persistante sont l'incapacité d'identifier et de traiter tous les canaux pendant le traitement. La capacité du CBCT pour détecter les canaux supplémentaires et les aberrations anatomiques sont bien établies. Néanmoins, les interprétations erronées des images donnent lieu à de faux positifs. Le diagnostic de canaux supplémentaires peut se produire en raison de la dispersion causée par le remplissage de matériaux dans un canal rempli de racines adjacentes. L'emplacement du canal radiculaire peut être facilement identifié à partir des examens CBCT avant le début du traitement, ce qui permet au clinicien de planifier la conception de la cavité d'accès avec précision et de minimiser le retrait de la dentine saine, la présence d'isthmes et qui n'a peut-être pas été débridée dans les systèmes de canaux radiculaires peuvent également être évalués et par la suite gérés. En outre, une prévalence élevée de l'anatomie du canal radiculaire molaire en forme de C a été également confirmée à l'aide de CBCT d'après Kim et coll. Une appréciation de la divergence ou de la convergence des canaux radiculaires par balayage CBCT peut également influencer la façon dont le système canalaire est préparé et/ou obturé par la suite. Par exemple, ce qui semble être un système bien exécuté, mais qui a échoué en endodontie traitement dans une molaire maxillaire avec un seul canal mésio-vestibulaire identifié peut suggérer une défaillance due à un deuxième canal mésio-vestibulaire non identifié. Par conséquent, un retraitement non chirurgical serait indiqué, le but principal étant pour localiser, désinfecter et sceller le système du canal radiculaire non identifié. Toutefois, une acquisition CBCT peut confirmer l'absence d'un deuxième canal mésio-vestibulaire, indiquant qu'une approche chirurgicale serait plus appropriée.

[35]



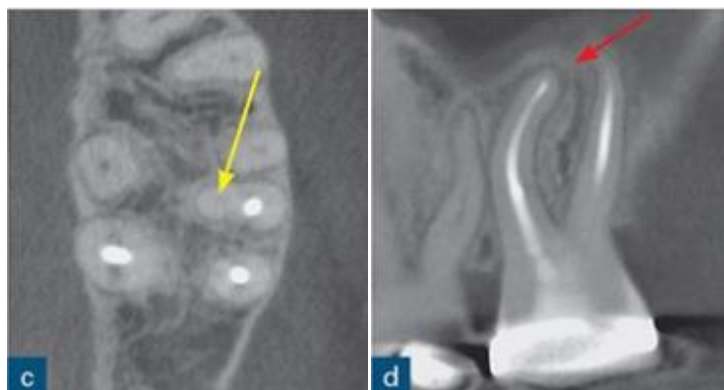


Figure 93 : (a et b) Radiographies péri-apicales parallaxe d'une seconde molaire gauche maxillaire symptomatique traitée à la racine révélant un niveau acceptable le remplissage des racines en termes de longueur et de densité. Les radiographies péri-apicales n'ont révélé la présence d'aucune zone péri-apicale radioclaire.

(c) L'image reconstruite CBCT axiale a révélé un second canal mésio-vestibulaire non rempli (flèche jaune), et (d) CBCT sagittal l'image reconstruite a révélé une radio-clarté péri-apicale (flèche rouge) associée à la racine mésio-vestibulaire. Le traitement actuel du canal radiculaire a été effectué par un endodontiste expérimenté, et il n'était pas certain qu'il pourrait l'être. On ne savait pas non plus si les symptômes du patient étaient dus à une infection endodontique ou à une racine verticale. La scintigraphie CBCT a confirmé que les symptômes du patient étaient de nature endodontique et que le traitement canalaire non chirurgicale était l'option de traitement idéale. [35]

8.2. Retraitement endodontique chirurgical :

Le traitement endodontique chirurgical est indiqué lorsque la parodontite péri-apicale persistante ne guérit pas après le traitement radiculaire et que le retraitement endodontique non chirurgical est soit impossible en raison de la présence d'instruments fracturés irrécupérables ou impraticables, des blocages, ou qui a déjà été tenté mais a échoué suite à une infection extra-radicaire. De plus, la nécessité d'obtenir une biopsie ou d'effectuer une chirurgie exploratrice est les autres facteurs qui nécessitent une intervention chirurgicale. Le CBCT a été recommandé pour la planification du retraitement endodontique chirurgical sur les racines palatines des premières molaires maxillaires. La distance entre la corticale et l'apex de la racine palatine a pu être mesurée. Et la présence ou l'absence du sinus maxillaire entre les racines pourrait être évaluée.

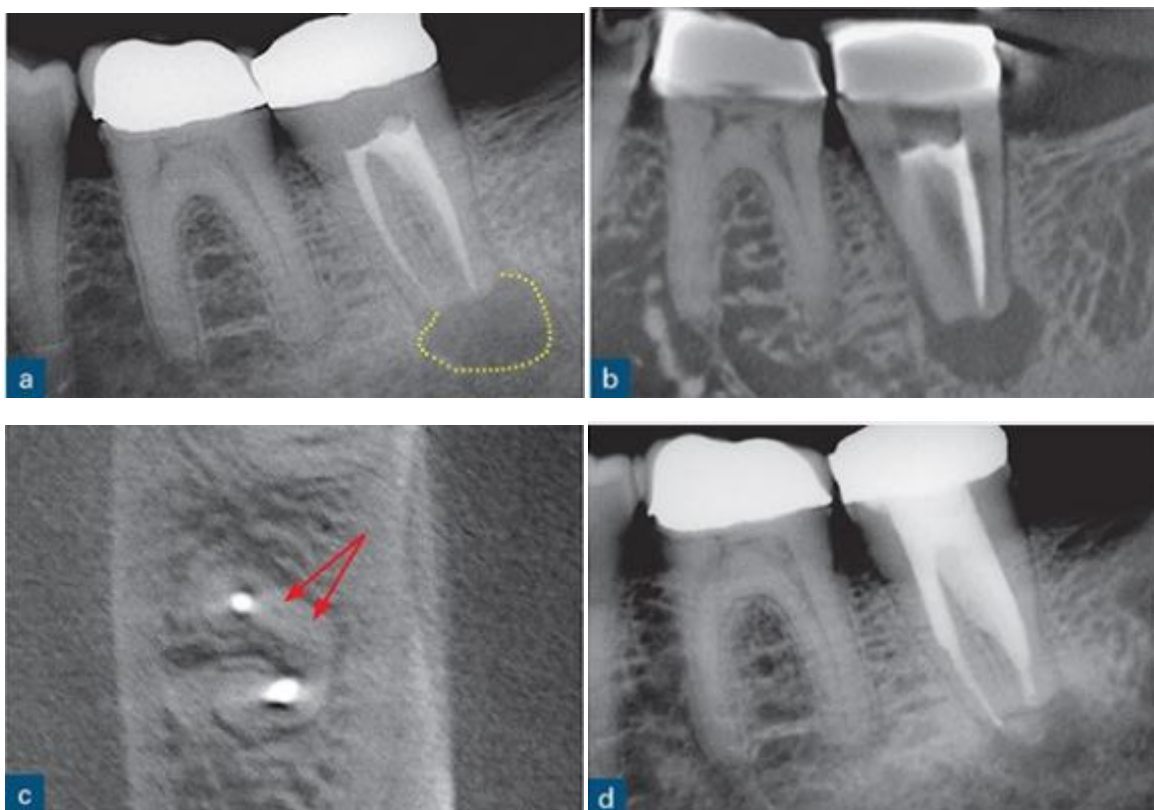


Figure 94 :(a) Radiographie péri-apicale d'une deuxième molaire mandibulaire gauche avec parodontite apicale réfractaire. Le remplissage des racines semble satisfaisant en termes de longueur et de densité. (b) Coupe CBCT sagittale à travers la même dent montrant la taille réelle et le contour de la lésion. (c) Coupe CBCT axiale à travers la même dent révélant une morphologie racine en forme de C et la racine manquante anatomie du canal (flèches rouges). (d) À l'examen d'un an après le retraitement endodontique, la radio-clarté péri-apicale a réduit sa taille ; noter la différence dans la forme du système de canal radiculaire rempli après une bonne exécution préparation chimio-métrique et obturation par rapport à (a). [35]

Le CBCT permet l'analyse des relations anatomiques des apex radiculaires avec les structures anatomiques du voisinage, comme le canal dentaire inférieur, les foramens mentaux et les sinus maxillaires, pour être clairement identifié dans tout plan que le clinicien souhaite voir. Les informations d'une acquisition CBCT peuvent donner une décision par rapport au retraitement endodontique chirurgicale des dents molaires maxillaires où le plancher sinusal a été perforé par une lésion péri-apicale plus grande que prévu, qui n'a peut-être pas été détectée facilement sur les radiographies péri-apicales. En sélectionnant les coupes CBCT appropriées, l'épaisseur de la corticale, la présence et la position des fenestrations, et l'inclinaison des racines des dents prévues pour le retraitement chirurgical endodontique peuvent être déterminées avec précision avant l'intervention. La morphologie des racines et la topographie osseuse peuvent être visualisées dans

les trois dimensions, tout comme le nombre de canaux radiculaires et s'ils convergent ou s'écartent les uns des autres; cette information est essentielle pour améliorer le résultat du traitement. Les canaux radiculaires non identifiés peuvent être identifiés à l'aide des coupes axiales. La taille réelle, l'emplacement et l'étendue de la lésion péri-apicale peut également être appréciée, alors que la racine réelle à laquelle la lésion est associée peut être confirmée. Cette information peut avoir une incidence sur le retraitement endodontique non chirurgical et chirurgical. Par conséquent, les radiographies péri-apicales étaient moins sensibles pour détecter les lésions péri-apicales associées aux dents molaires supérieures. [35]

Cas clinique :

Une femme asiatique de 17 ans présente des antécédents dentaires du traitement endodontique non chirurgical de la première molaire maxillaire droite à un jeune âge, qui a récemment été suivie d'un retraitement endodontique non chirurgical de la même dent. La raison du retraitement de la dent était une infection notée autour des extrémités de la racine de la 1ère molaire maxillaire droite. Une fois le retraitement terminé, le patient a vu un nouveau dentiste généraliste pour faire couronner la dent. Son dentiste craignait que la dent ne soit fracturée parce que le patient était toujours symptomatique. Le patient a ensuite été dirigé vers un autre endodontiste. Le nouveau traitement a été effectué deux semaines avant le rendez-vous du patient avec le nouvel endodontiste. La dent a été évaluée, et la seule constatation importante a été la sensibilité à la percussion. L'occlusion était dans les limites normales. Il n'y avait pas de poche parodontale de plus de 3 MM. La radiographie péri-apicale initiale de la 1ère molaire maxillaire droite a révélé que les canaux mésial-vestibulaire (MV) et distal-vestibulaire (V) étaient remplis de 1 à 1,5 mm avant l'apex radiographique (**Fig.95**). Il a été légèrement difficile de déterminer l'étendue du remplissage du canal radiculaire. La racine palatine (P) en raison de la superposition du zygoma et du sinus maxillaire. On peut discerner qu'il y a quatre canaux traités dans cette dent. **La figure 96** est une radiographie péri-apicale prise sous un angle distal, et les canaux MV1 et MV2 semblent se joindre au tiers apical. **La figure 97** est une radiographie péri-apicale prise à un angle légèrement mésial raccourci. À partir de cet angle, nous avons pu obtenir la séparation des canaux MV1 et MV2. Les obturations des canaux radiculaires pour les canaux MV1, MV2, DV et P sont toutes à 1-2 mm de l'apex radiographique.

Aucune des radiographies péri-apicales n'a révélé de signes évidents de lésions péri-radicaire. La seule radiographie qui peut montrer une légère indication des changements péri-radicaire autour de la racine du MV se trouve à la figure 95. Cependant, il y a une trabéculatation à travers un os légèrement plus clair. Ceci peut être interprété comme une variation anatomique où l'os est mince ou moins dense. La dent avait une accumulation avec un noyau composite. En raison des limites des vues bidimensionnelles des radiographies péri-apicales, un balayage CBCT de la zone a été effectué. Le *Hitachi CB MercuRay* a été utilisé avec un champ de vision de 4in. Et une résolution du voxel de 0,10. La vue sagittale des images de tomodynamométrie (CT) a révélé que la racine MV de la 1^{ère} molaire maxillaire a une lésion péri-radicaire bien définie, et la vue axiale transversal ou oblique de cette racine a révélé que le remplissage du canal radicaire MV1 est légèrement court, environ 0,5 mm, alors que le MV2 présente un écart de 2 mm (**Fig. 98**). La racine DV présente une petite lésion radioclaire (**Fig. 99**), tandis que la racine P présente une lésion radioclaire bien définie (figure 100). Les obturations du canal radicaire pour les racines P et DV sont inférieures à l'apex de la radiographie, ce qui concorde avec les résultats radiographiques. Un utilisateur expérimenté du logiciel CT est conscient que plusieurs coupes des images doivent être examinées pour tirer les conclusions appropriées quant à la qualité des obturations du canal radicaire et à la taille et à l'étendue réelles de la pathologie. Les images sélectionnées ont été choisies pour représenter le mieux la « vraie histoire » de la dent; souvent, la coupe de l'image est habituellement centrée sur la racine d'intérêt. La dent a été retirée en deux fois. Toutes les longueurs du travail (L) ont été atteintes pour tous les canaux. Lorsque le patient est revenu pour compléter la dent, on a observé un drainage. Des canaux MV et P. La patiente devait faire la navette pendant une heure et demie dans chaque sens pour son rendez-vous et voulait minimiser son temps de déplacement. La meilleure option pour s'attaquer immédiatement aux canaux drainants était de sceller le tiers apical des canaux avec du trioxyde minéral gris (MTA). Les canaux ont ensuite été remblayés avec une gutta-percha fluide. Les radiographies finales ont révélé que les obturations du canal radicaire sont à l'apex radiographique. (**Figure .101.102**). [42]

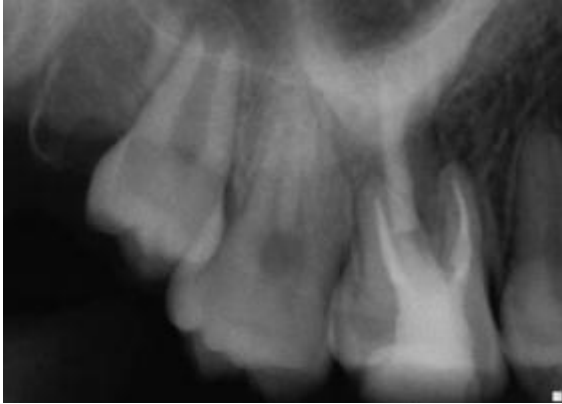


Figure 96 : une radiographie préopératoire de la 1ère M a révélé que quatre canaux ont été traités et que les canaux radiculaires de tous les canaux sont à environ 1 à 2 mm de l'apex radiographique. [42]

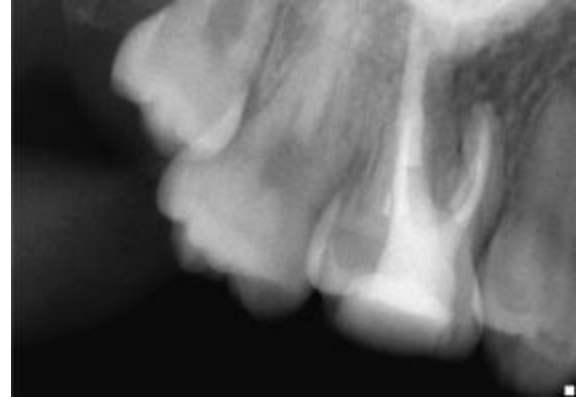


Figure 97: une radiographie préopératoire de la 1ère M pris sous un angle distal. [42]



Figure97 : Une radiographie pré-opératoire de la 1ère M MAX droite prise à un angle légèrement mésial raccourci a révélé deux canaux mésial-vestibulaire (MV) distincts. [42]

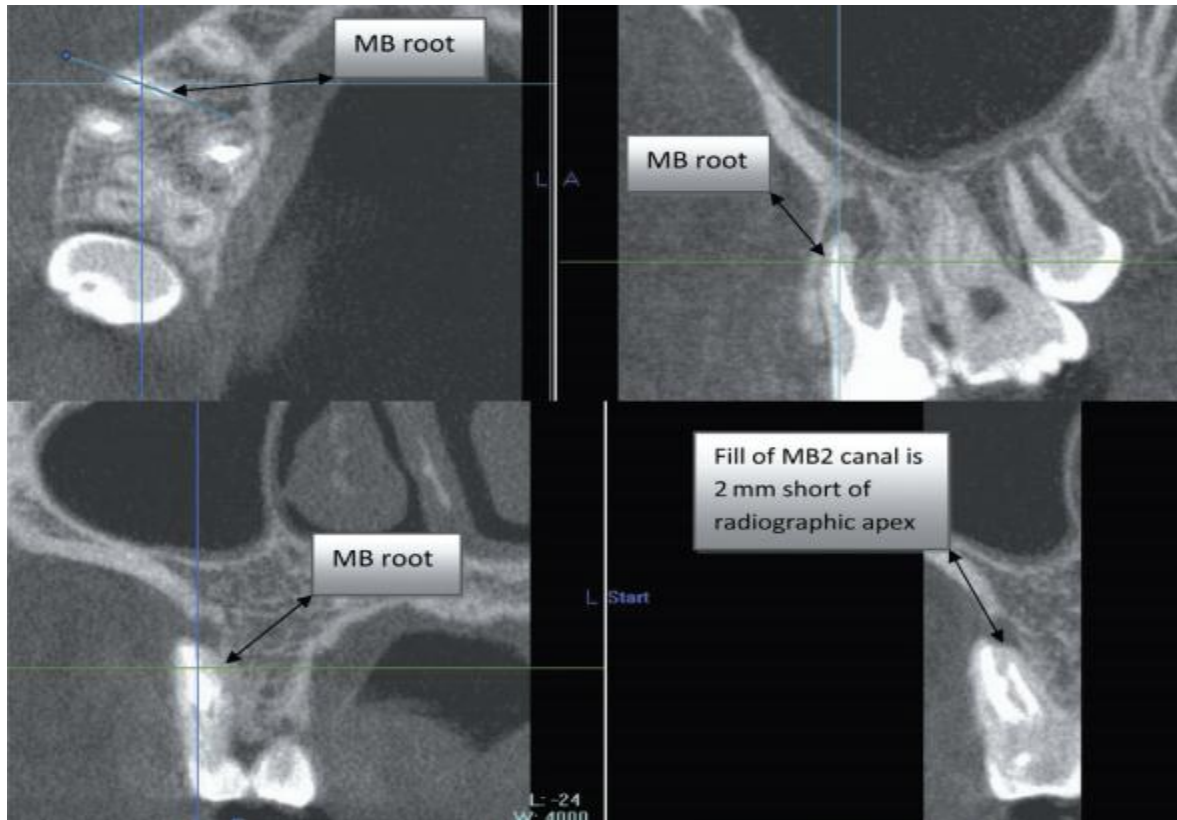
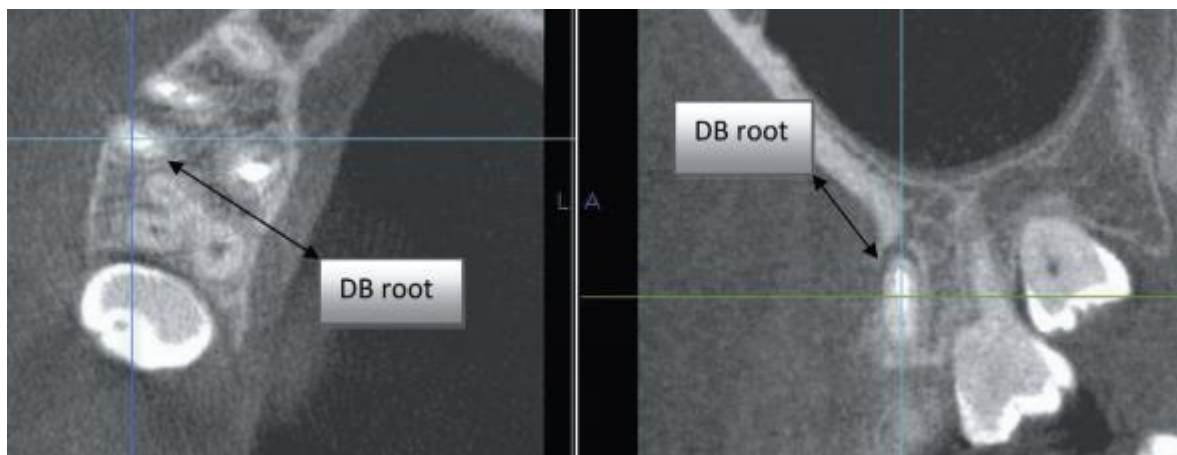


Figure98 : La fenêtre supérieure gauche est la vue axiale 1^{ère}M. La fenêtre supérieure droite est la vue sagittale de la même dent, où une radioclarité bien définie peut être observée autour de la racine mésial-vestibulaire (MV) de cette dent. Une ligne a été tracée sur la racine MV dans la vue axiale pour refléter la vue Trans-axiale ou oblique de la racine MV, qui est affichée dans la fenêtre inférieure droite. Le canal radiculaire du canal MV2 est à 2 mm de l'apex radiographique. La fenêtre inférieure gauche est la vue frontale de la 1^{ère}M où la lésion radioclaire autour de la racine MV a érodé la plaque corticale vestibulaire. [42]



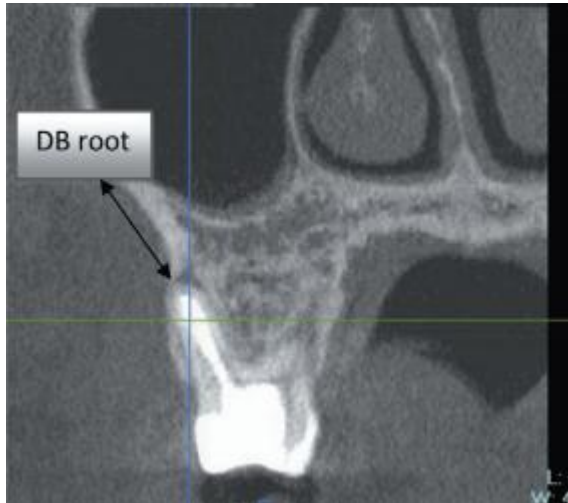


Figure 99 : La fenêtre supérieure gauche est la vue axiale avec les lignes bleues du marqueur au-dessus de la racine distale-vestibulaire (DV) de la 1^{ère}M droite. En plaçant les lignes bleues du marqueur sur la zone d'intérêt dans une fenêtre de vue, les autres fenêtres correspondront à la même zone d'intérêt dans leur vue spécifique. Comme les marqueurs sont au-dessus de la racine DV, les mêmes marqueurs que vous voyez dans la vue sagittale (fenêtre supérieure droite) sont justes au-dessus de la racine DV. Cette image révèle une très petite lésion radioclaire autour de la racine de DV. La fenêtre inférieure gauche est la vue coronale montrant la position de la racine de la dent à la plaque corticale vestibulaire et la présence d'une petite lésion radioclaire. [42]

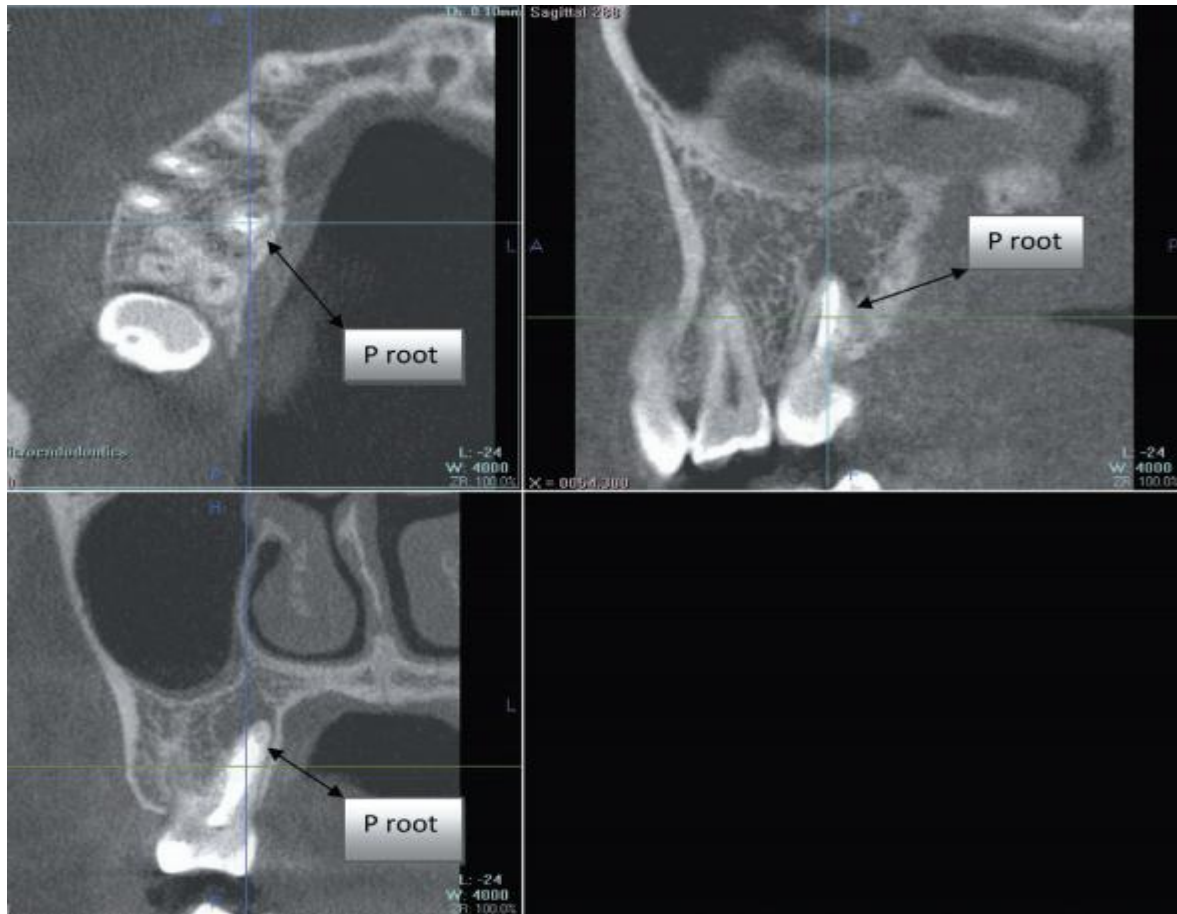


Figure 100 : La fenêtre supérieure gauche est la vue axiale de la 1^{ère} M et les lignes de repère bleues sont au-dessus de la racine palatine (P). Cela correspond à la position de la 1^{ère} M dans la vue sagittale telle que vue dans la fenêtre supérieure droite, et une radioclarité bien définie est présente autour de l'extrémité racine de la racine P. La fenêtre inférieure gauche est la vue frontale qui révèle que la lésion se trouve dans le boîtier osseux. [42]



Figure 101: Radiographie postopératoire de la 1ère Molaire MAX retirée. [42]



Figure 102 : Radiographie postopératoire de la 1ère M prise sous un angle distal. [42]

9.3. L'intérêt du *cone beam* dans la thérapeutique des dents immatures :

Dans les diverses procédures thérapeutiques des dents immatures comprennent l'apexogénèse, l'apexification et la revascularisation, des clichés rétro-alvéolaires sont réalisés car les changements radiculaires sont plus facilement visualisés sur ces derniers que sur un Cliché orthopantomogramme. Cependant, la radiographie rétro-alvéolaire 2D présente des limites. Il est prouvé que celle-ci ne permettait pas d'objectiver certaines lésions apicales. Ces lésions sont donc invisibles sur les radiographies 2D mais apparaissent sur les clichés 3D (CBCT). Ainsi, il faut rester prudent face au faible risque du « faux positif » dans la disparition de lésions péri-apicales. Similairement, un apex radiculaire peut apparaître fermé à la radiographie rétro-alvéolaire alors qu'il ne l'est pas. Une étude de Becerra et al a comparé un suivi radiologique rétro-alvéolaire avec les informations données par un CBCT sur une même dent. Ainsi, le suivi à 24 mois montre un épaississement des parois canalaire, une fermeture apicale et des 45 conditions péri-apicales normales sur la rétro-alvéolaire. Les coupes CBCT mettent en évidence un apex ouvert. L'extraction de la dent, pour des raisons orthodontiques, prouvera que l'apex était encore largement ouvert et que seul un pan radiculaire s'était développé. [113.114]

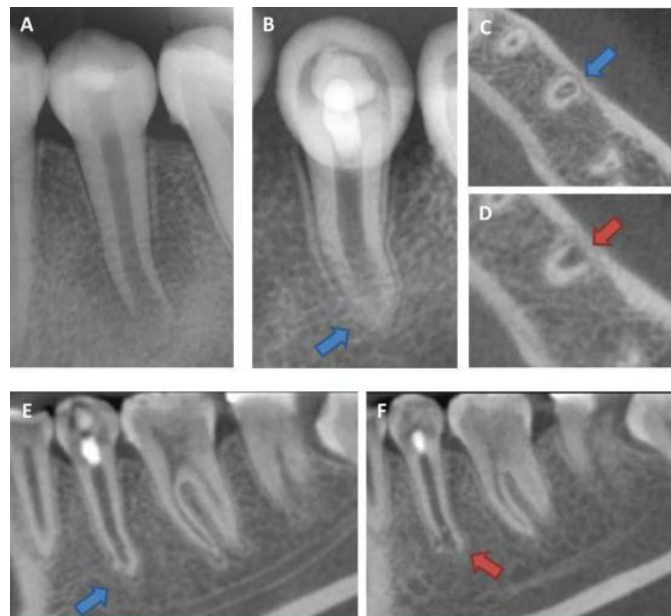
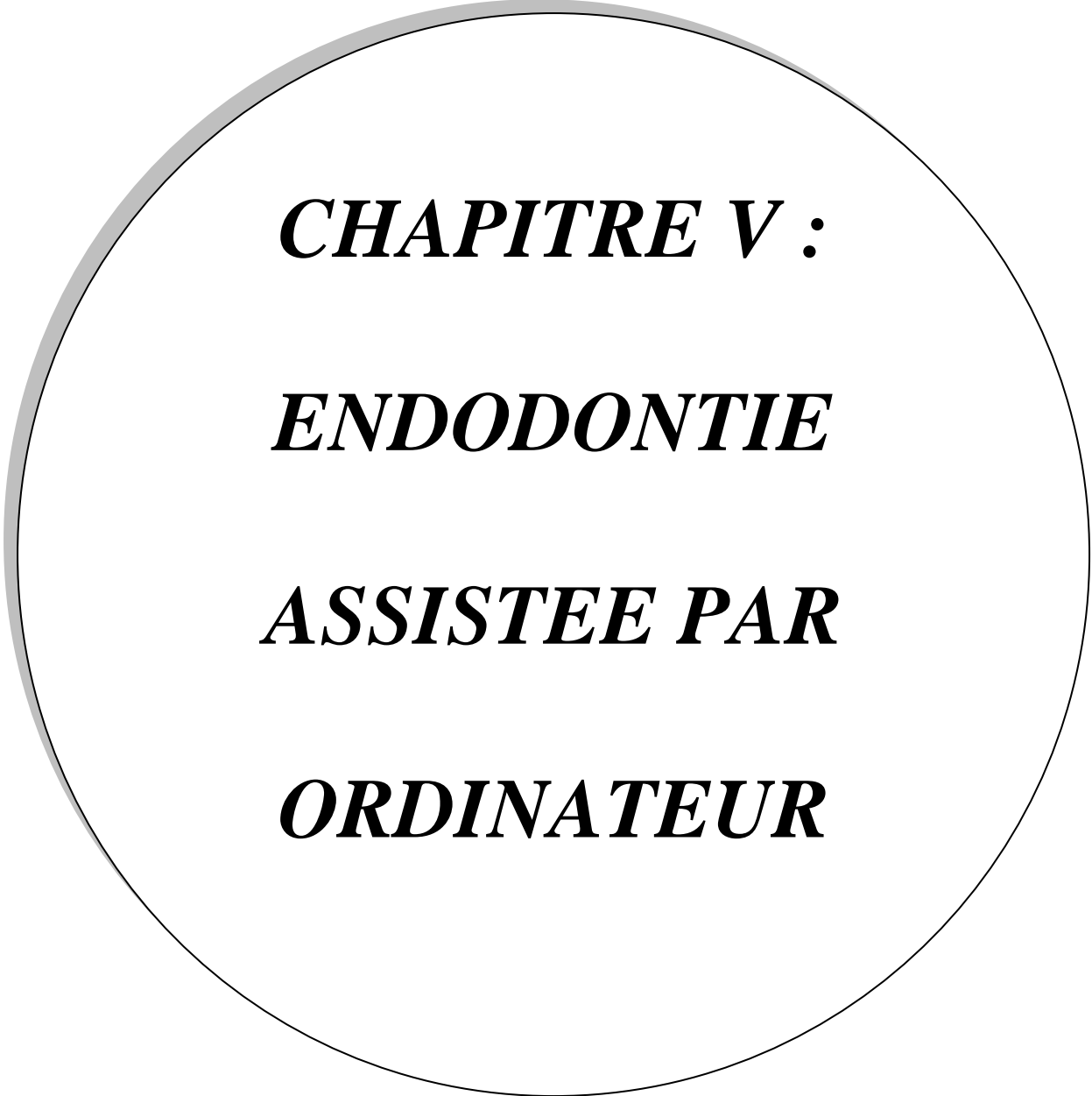


Figure103 : Clichés radiologiques rétro-alvéolaires (A et B) et coupes CBCT (C, D, E et F) d'une dent n°35 lors d'une procédure de revitalisation. La radio initiale (A) montre un apex largement ouvert alors que la radiographie à 24 mois semble montrer une fermeture apicale (B). Celle-ci semble complète sur certaines radios ou coupes CBCT (flèches bleues) alors que d'autres coupes CBCT montrent un apex ouvert (flèches rouges). [114]



CHAPITRE V :
ENDODONTIE
ASSISTEE PAR
ORDINATEUR

1. Définition :

Grace à de nombreuses avancées technologiques dans le domaine de l'art dentaire, on peut distinguer un ensemble de techniques dite C.F.A.O : Conception et Fabrication assistée par ordinateur. Avec les procédés de C.F.A.O, il faut intégrer des équipements de numérisations tridimensionnels (3D). On peut distinguer au sein de la C.F.A.O deux entités souvent réunies mais bien distinctes : l'association d'un système de captage des informations et de création des données, ainsi qu'un système d'exécution.

C.A.O : Conception Assistée par Ordinateur (ou C.A.D. : *Computer Aided Design*), à l'aide de l'outil informatique interactif (dialogue utilisateur-machine), l'opérateur conçoit le modèle virtuel concernant toutes les références technologiques relatives au futur objet. Une maquette numérique est ainsi obtenue à l'écran, le prothésiste ou le dentiste modèle la pièce en trois dimensions de façon analogue à ce qui est fait en laboratoire avec de la cire et une spatule chaude, la maquette numérique est donc l'ensemble des coordonnées de tous les points constituant l'objet à réaliser.

F.A.O : Fabrication assistée par ordinateur (ou C.A.M. : *Computer Aided Manufacturing*), la machine-outil automatisée usinée (fabrication soustractive) ou crée (fabrication additive), suivant les références techniques obtenues par la CAO, l'objet précédemment conçu sous forme virtuelle. Les machines à commandes numériques peuvent produire toutes sortes de pièces prothétiques et peuvent faire appel à différents matériaux : résine, céramiques, métaux...

Les étapes de CAO et FAO sont commandées par des logiciels propres à chaque système, certains systèmes sont ouverts à d'autres systèmes, d'autres sont fermés et ne peuvent pas communiquer avec des systèmes différents. [115.116.117.118.119.120.121]

2. Historique :

La CFAO n'a pas démenti à cette citation du philosophe Arthur Schopenhauer. Comme toute nouvelle invention scientifique, la CFAO trouve ses bases dans les sciences existantes et l'imagination de grands hommes. C'est ainsi qu'au début du XXème siècle, la nécessité d'une production de masse oblige les grandes industries telles que celle de l'automobile à s'intéresser

davantage aux phases de préparation et de conception des produits. Dès 1945, Renault met en place les premières machines-outils automatisées permettant la production à grande échelle des moteurs de 4CV. [122.123]

En odontologie, En 1973. François Duret soutient sa thèse d'exercice intitulée *Empreinte Optique*, dans laquelle il signe l'acte de naissance de la CFAO dentaire. C'est ce document qui la valide aux yeux des scientifiques du monde et permet à la dentisterie française d'être reconnue comme pionnière dans le domaine. Contrairement à la CFAO utilisée dans l'industrie il ne s'agit pas de reproduire à l'identique un grand nombre de pièces mais réussir à réaliser en fin de chaîne une prothèse unique, à l'image de chaque patient.

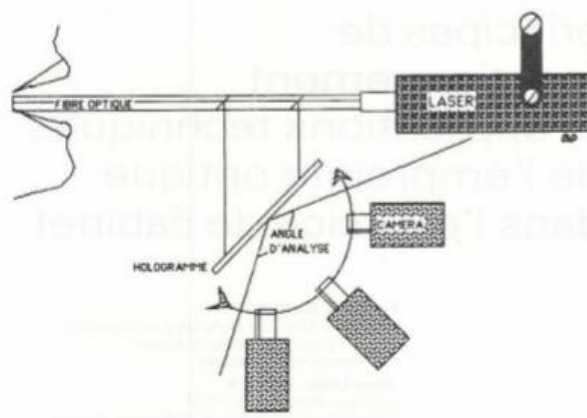


Figure 104 : Premier prototype de caméra pièces réussir. [124]

Simultanément, aux Etats Unis Altschuler et Swinson se lancent dans des travaux sur une technique de lecture holographique tandis qu'au Japon, ce n'est qu'à partir de 1980 que le pays se lance dans cet axe de recherche. Duret va alors imaginer un système alliant une lecture optique des empreintes, une conception assistée par ordinateur et un usinage des prothèses : système qui est celui que nous utilisons actuellement. Dix ans plus tard, en 1983, le premier prototype de CFAO conçu par Duret est présenté aux Entretiens de Garancières. Puis deux ans plus tard, en 1985, au congrès de l'ADF à Paris à eu lieu la réalisation de la première couronne usinée, une première prémolaire mandibulaire qui sera scellée une heure après la prise de l'empreinte optique.



Figure 105 : Première couronne réalisée par François Duret lors de l'ADF en 1985. [125]

Son but n'est autre que de simplifier les tâches répétitives nécessaires à la conception des prothèses en odontologie. Dans les années 80, la Société Henson, pour laquelle François Duret travaille, lance la première machine de CFAO, nécessitant une prise d'empreinte optique en bouche. Cependant, en 1993, la société fait faillite. A la même époque, les travaux de Moërmann au sein de la société SIEMENS, permettent la mise au point du CEREC Mark 1(R), capable de faire les empreintes en bouche et d'usiner des inlays en céramique en quelques minutes. Puis dans les années 90, en Suède le système Procera (R) est lancé par Anderson. C'est dans les années 2000 que la CFAO prend véritablement son envol, et même si en 2012 seuls 15% des laboratoires français étaient équipés, en 2017, certains auteurs pensent que ce pourcentage pourrait s'élever à 50%. François DURET prévoit même une disparition future de l'empreinte classique. Le numérique, et notamment l'empreinte optique, sont l'avenir de la dentisterie. [126]

3. Les bases fondamentales de la CFAO :

On peut décomposer la CFAO en trois étapes distinctes : La saisie des informations, la conception assistée par ordinateur de la pièce et la fabrication assistée par ordinateur cette pièce. Ces trois étapes nécessitent donc la présence de trois unités:

-Un scanner qui permet l'acquisition des données physiques et les transforme en données numériques exploitables.

-Un logiciel de conception au sein d'un ordinateur qui permet de traiter les données numériques acquises préalablement et d'élaborer numériquement la future prothèse.

-Une machine-outil avec son logiciel qui permet la production d'une pièce prothétique analogique réelle, à partir des données numériques virtuelles.

3.1. La saisie des informations :

C'est l'acquisition numérique de l'image. Son but est d'enregistrer le maximum d'informations sur la situation présente. L'unité d'acquisition comprend deux parties :

-Un récepteur : il est au contact de l'objet et permet la prise d'information.

-Un centre de numérisation : il transforme les données analogiques collectées par le récepteur en données numériques, à la fin de cette étape de numérisation, on obtient un modèle de travail virtuel sur lequel on pourra travailler la future pièce à réaliser.

Cette acquisition peut être soit intra-orale donc directe, soit extra-orale donc indirecte. L'acquisition intra-orale ne peut être que non tactile (il n'y a pas de contact physique entre le capteur et l'objet à analyser) en comparaison de la numérisation extra orale qui peut être tactile (il y'a un contact entre la surface de l'objet à analyser et le palpeur) ou non tactile.

[127.128.129.130.131.132.133]

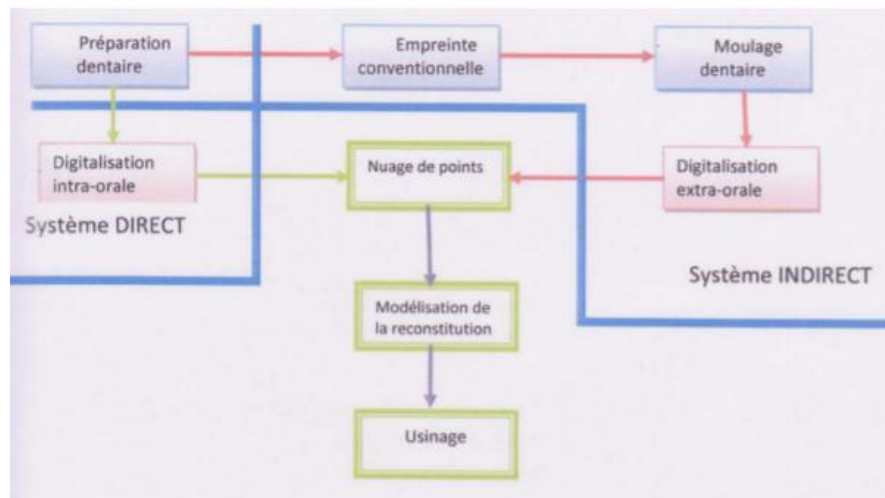


Figure106 : Marche à suivre en fonction du type d'acquisition des données. [134]

3.2. La conception assistée par ordinateur :

Cette phase correspond à l'élaboration numérique de la prothèse, c'est-à-dire virtuelle. Elle peut se subdiviser en deux phases :

3.2.1. Phase de traitement des données :

La phase de saisie des informations génère un flot trop important de données. Un logiciel doit donc réduire ces données pour pouvoir être traitées par un ordinateur sans pour autant nuire à la qualité de l'information enregistrée. L'ensemble de données de l'acquisition génère un ensemble de points. L'ensemble des points sont reliés pour constituer un modèle en trois dimensions par triangulation. Ce modèle 3D est un ensemble de polygones qui différencie l'intérieur du modèle de l'extérieur par une orientation différente de ces polygones. L'ensemble peut alors être transféré vers un logiciel de modélisation 3D sous le nom du format du fichier STL pour concevoir la prothèse. [116]

3.2.2. Phase de conception :

Il apparaît sur l'écran un modèle de travail numérique virtuel en trois dimensions. Ce modèle peut être vu sous tous les angles et toutes les tailles. Il peut être retravaillé (détouré, corrigé, etc....) et l'opérateur va élaborer la future prothèse. Une fois la prothèse élaborée virtuellement, il reste la réalisation physique de la prothèse rendue possible grâce aux machines de F.A.O. [118.135]

4. L'endodontie assistée par ordinateur :

L'endodontie est une discipline majeure de l'odontologie. L'anatomie parfois complexe, l'accès visuel et instrumental et/ou la proximité d'éléments anatomiques représentent des difficultés susceptibles de conduire à des échecs. L'essor du flux numérique (tomographie volumique à faisceau conique, les empreintes optiques, les imprimantes 3D ...) ouvre des perspectives pour planifier ces cas complexes, et permettent l'avènement de l'endodontie dite « guidée ». Ce concept large regroupe la planification endodontique, la réalisation de guides pour les dents présentant des minéralisations canalaires, des tenons fibrés, dents avec une anatomie interne complexe et la conception de guides pour la chirurgie ou le traitement endodontique. [136]

4.1. Les étapes du traitement endodontique guidé :

Ce concept qui porte sur la réalisation d'un guide permet, en premier lieu, la réalisation d'une cavité d'accès, qui est une étape clé de la réussite du traitement endodontique, dite « à minima », les cavités d'accès conventionnelles stéréotypées conduisent à l'élimination de dentine saine dans des zones stratégiques pour la résistance mécanique de la dent et donc sa pérennité, et dans un deuxième temps la réalisation d'un trajet de forage guidé pour trépaner la dent à l'endroit exact voulu, et ce dans les trois plans de l'espace. [136.137]



Figure 107 : Comparaison entre la taille de la cavité d'accès et trajectoire de forage avec endodontie conventionnelle (a, c) et endodontie guidée (b, d). [138]

4.1.1. Acquisition des fichiers DICOM et STL :

Ces protocoles, inspirés directement de ceux établis en chirurgie implantaire, permettent la conception de ce guide grâce à des logiciels de planification qui permettent de charger et d'aligner deux fichiers numériques : le DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*) et le STL (*Standard Tessellation Language ou STereoLithography*). Le DICOM est le fichier d'imagerie contenant l'information issue du CBCT qui va permettre de réaliser la planification, le STL correspond au modèle numérique de l'arcade en 3D donc une empreinte de l'arcade qui va assurer un support fiable reproduisant les structures dentaires. Cette empreinte numérisée peut être obtenue par trois procédés : soit en réalisant une empreinte numérique intra-orale, soit en numérisant à la caméra optique le modèle en plâtre issu d'une empreinte au silicone, soit en faisant passer un CBCT à ce modèle en plâtre. [139]

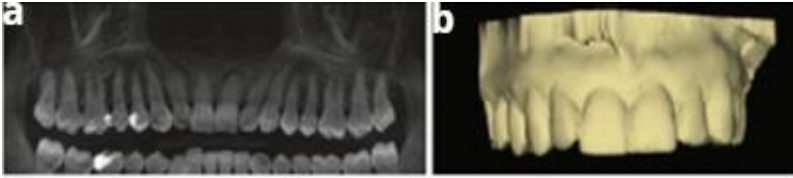


Figure 108 : Fichier DICOM (a) et fichier STL (b). [137]

4.1.2 Alignement des fichiers :

Une fois les fichiers DICOM et STL chargés, des repères doivent être placés sur la radiographie et sur l’empreinte 3D sur les mêmes structures pour que le logiciel réalise la correspondance entre ces structures et enfin aboutir à l’alignement des fichiers. [140]

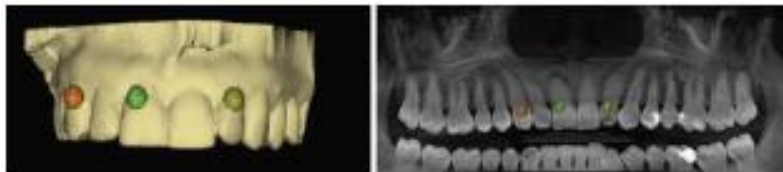


Figure 109 : Alignement des fichiers STL et DICOM. [140]

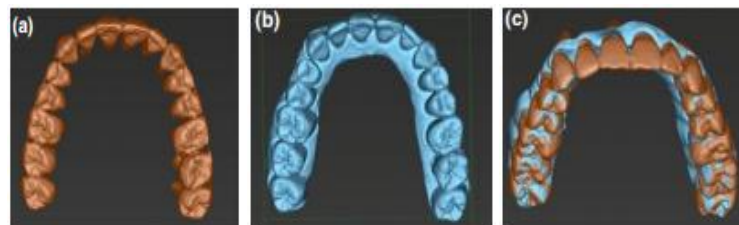


Figure 110 : Modèle DICOM (a) et STL (b) alignés (c). [140]

4.1.3 Matérialisation et planification du trajet du forage :

Après alignement, les caractéristiques du foret sont paramétrées et son trajet est matérialisé et planifié à l’aide d’un logiciel, comme la majorité de ces logiciels sont à l’origine dédiés à l’implantologie guidée, le foret est traité comme un implant que l’on viendrait placer dans la dent. L’apex de l’implant correspond ici à l’extrémité apicale du foret qui doit atteindre la lumière canalaire repérée sur le CBCT. Le trajet du forage doit se superposer avec le trajet du canal, doit s’étaler de la cavité d’accès ou point d’émergence, passer par le point cible ou la cible endodontique jusqu’à l’apex. Le point cible doit se situer dans la première partie visible de l’espace canalaire, l’angle idéal de ce trajet virtuel est celui qui garantit que ce dernier reste

dans l'axe de la racine, du point d'émergence au point cible et que le forage atteint ainsi l'espace canalaire. [138.140]

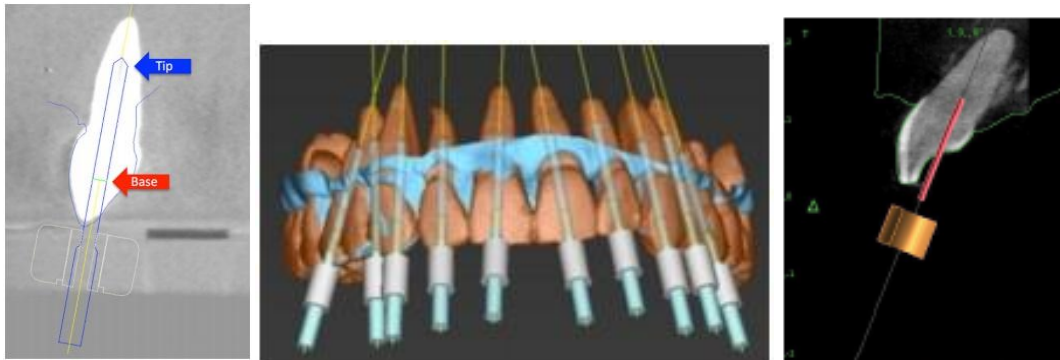


Figure 111 : Matérialisation du tube de guidage, du foret et son trajet. [140]

Le diamètre du foret doit être assez gros pour assurer la rigidité de ce dernier et assez fin pour pratiquer un forage le plus mutilant possible en gardant le maximum de dentine, pour cela plusieurs logiciels offrent la possibilité de produire des images de différentes coupes autour de l'axe virtuel du forage. [138.140]

4.1.4 Fabrication du guide :

Le guide, dento-porté, imprimé en résine grâce à une imprimante 3D est composé d'un tube de guidage qui est le fut où est inséré le foret et qui lui permet d'atteindre la cible endodontique établie par la planification avec l'angle de trépanation adéquat, d'une douille qui garantira aussi la parfaite orientation du foret et d'une fenêtre du guide qui permet de vérifier la parfaite insertion du guide sur les structures dentaires qui le supporte. [139]



Figure 112 : Guides endodontiques en résine avec douille en place. [141]



Figure 113 : Guide et foret en place, forage en cours. [140]

Toutes ces données permettent une anticipation et une meilleure sécurité des gestes, minimisant ainsi le risque de perforation et tout acte iatrogène, et permettent de diminuer le temps opératoire et surtout le cout tissulaire. [136]

4.2. Les limites de l'endodontie guidée :

De nombreux problèmes anatomiques, matériels et l'impératif de radioprotection peuvent rendre difficile la mise en place de l'endodontie guidée au cabinet dentaire. La mise en place du protocole est plus complexe dans les secteurs postérieurs où la limitation de l'ouverture buccale ne permet pas toujours d'avoir l'espace suffisant pour placer à la fois le guide de forage et le foret. [142.143.144]

Le foret n'est utilisable que dans un axe strictement droit donc utile uniquement dans des portions droites ou des racines droites : si la lumière canalaire est visible au CBCT au-delà d'une courbure, le forage ne sera pas possible dans cette configuration et le traitement rétrograde seul pourra être envisagé. [144]

L'empreinte et l'insertion du guide exigent une stabilité des dents supports, en cas de mobilité dentaire pathologique le protocole d'endodontie guidée ne sera pas adapté à moins de prévoir un système de contention pour la dent mobile. [145]

Le foret surtout s'il est de gros diamètre, et en particulier sa pointe, peut induire des micros fêlures qui peuvent fragiliser la dent : contrairement aux instruments de préparation canalaire pour inlay-core qui sont surtout en contact avec le matériau d'obturation canalaire, le foret pour retrouver la lumière canalaire est uniquement en contact avec de la dentine et lui fait subir des contraintes. De plus, la finesse du foret peut être problématique car au contact de la dentine les contraintes peuvent déformer le foret qui se courbe et ceci peut expliquer les déviations constatées, même minimales. [144.146]

La présence de matériaux de restauration hautement radio-opaques peut entraver l'alignement correct des fichiers DICOM et STL. Cet alignement peut être faussé également par l'imprécision de l'empreinte, par le manque de précision du CBCT ou la réalisation de celui-ci dans une position ou une ouverture buccale non-adéquate. [147]

La tomographie volumique à faisceau conique est un examen complémentaire et très informatif dans l'arsenal de la pratique endodontique. Elle est aujourd'hui une technologie essentielle en endodontie qui doit être utilisée à bon escient. Le but de ce mémoire était l'explication des outils puissants aux appareils *cone beam* pour aider le diagnostic endodontique, et fournir une complète compréhension pour la planification du thérapeutique et le suivi.

L'utilisation du *cone beam* est certainement recommandé pour le succès des traitements endodontiques, car il est le seul examen complémentaire capable de réaliser une analyse tridimensionnelle dès les premiers stades d'évolution, et l'identification de tous les canaux radiculaires, Cependant, le CBCT ne doit pas être un outil d'utilisation systématique ; il s'agit d'un examen additionnel qui doit être utilisé lorsque la radiographie conventionnelle ne peut pas fournir des informations suffisantes pour le diagnostic dans laquelle la superposition des structures anatomiques empêche la détection de petits composants.

Ses principaux avantages sont la précision diagnostique augmentant la probabilité d'une meilleure prise en charge et d'un meilleur pronostic, sélectionner uniquement la zone voulue du complexe facial a un volume de quelques dents, la diminution de la dose d'irradiation et de son cout par rapport au scanner.

Comparativement à la radiographie conventionnelle le *cone beam* fournit des informations supplémentaires cliniquement pertinentes. Il existe des situations cliniques où la TVFC peut être envisagée en première intention, car les limites de la radiographie conventionnelle sont réellement démontrées et le bénéfice attendu est considéré comme supérieure au risque potentiel.

Actuellement, les perspectives de recherche visent à réduire la dosimétrie et limiter les artefacts, afin que le CBCT devienne plus accessible en cabinet dentaire. Alors comme tout examen, la réalisation d'une TVFC nécessite un compte rendu, le rapport bénéfice / risque doit toujours être bénéfique pour le patient, et pour être justifié, le CBCT doit fournir des informations complémentaires utiles pour l'établissement du diagnostic, la décision thérapeutique ou l'acte lui-même. Enfin, les questions à se poser lorsque l'on envisage d'effectuer un CBCT devraient être :

- « Puis-je poser un diagnostic sans CBCT ? »
- « Puis-je réaliser mon traitement sans CBCT, sans compromettre le pronostic ? »

Si la réponse est non, le CBCT est justifié. Si c'est oui, effectuer une CBCT s'apparente à une sur-prescription. De toute évidence, la réponse à ces questions doit être honnête et non motivée par un autre intérêt.

Références bibliographiques :

- [1] RezaArbab-Chirani Franck Diemer, « Imagerie Radiologique », L'information dentaire n° 22 Paris, juin 2010.
- [2] XavierRiaud, « Première radiographie dentaire 1896 », histoire de la médecine.
- [3] Catherine Simand, « La radiographie II. Qu'est-ce qu'un rayon X ? Comment en produire ? Quel mécanisme permet d'obtenir une radiographie ? Culture science physique, Paris, 1^{er} novembre 2007.
- [4] R. Cavézian, G. Pasquet, « l'imagerie dento-maxillaire : approche radio clinique », Masson 2eme édition, Paris, 2006.
- [5] Pramod John "Textbook of Dental Radiology" 2nd edition, Dental education, august 1, 2013.
- [6] Norbert Bellaiche, « Le Cône Beam en endodontie », Lettre de la Stomatologie 61, Paris, Mars 2014.
- [7] Dominique Le Denmat, Fancesca Mangione, « Imagerie médicale», Réf. Internet : 42607 3édition, Ti597- technologie biomédicales, biomédical-pharma, Techniques de l'ingénieur.
- [8] Teman.G, Lacan.A, Sarazin.L, « Imagerie maxillo-faciale pratique », Quintessence international, Decembre 2001.
- [9] Sajitha M Kalathingal, André Mol, Donald A Tyndall, Daniel J Caplan "In vitro assessment of cone beam local computed tomography for proximal caries detection", Endod, 104: 699-704, USA, 2007.
- [10] F.A .Pasler, « Manuel de radiologie dentaire et maxillo-faciale », Doin, Suisse, 1987.
- [11] Haute autorité de santé, « Guide des indications et des procédures des examens radiologiques en odontostomatologie ». Recommandations pour les professionnels de santé, page (41-109). Alfortville, 2006.
- [12] Agence nationale pour le développement de l'évaluation médicale, « Le retraitement endodontique des dents permanentes matures », Recommandations et références dentaires; page (67-167), Paris, 1996.

- [13] S. Patel A. Dawood E. Whaites T. Pitt Ford, “New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems”, International endodontic journal, London, 2009.
- [14] Ateksha Bhardwaj Khanna, “Applications of cone beam computed tomography in endodontics” Evidence-based endodontics, 01, India, 2020.
- [15] Gil Teman, Alain Lacan; Laurent Sarazin, « Imagerie Maxillo-Faciale Pratique », Quintessence International, France, Decembre 2001.
- [16] Friedrich A. Pasler, « Atlas de médecine dentaire radiologie », Médecine-Science Flammarion, France, Mars 1994.
- [17] F.A. Pasler et H. visser « Atlas de poche de radiologie dentaire », Médecine-Science Flammarion, France, 7 août 2006.
- [18] Miracle, Mukherji, « Cone beam CT of the head and neck, Part 1: Physical Principles», American Journal of Neuro radiology, 30 (6) 1088-1095, USA, Juin 2009.
- [19] C. Hodez, P. Bravetti, « Imagerie dento-maxillo-faciale par faisceau conique » Sauramps Médical, Montpellier, 2010.
- [20] Bellaiche N, « Cone beam pratique en odontostomatologie généralités: principes, technique, qualité d’image, artéfacts, types d’appareil, indications », Dent Tribune, 10–1, Paris, 2014.
- [21] Scarfe WC, Farman AG, “ what is Cone-Beam CT and How Does it Work? ”, Dent Clin NorthAm, 52(4):707_30, USA, Oct 2008.
- [22] Pauwels et al, «Technical aspects of dental CBCT: state of the art», Dentomaxilofac-radiology, n44(1): 20140224, Jan 2015
- [23] Autorité de sureté nucléaire, « Les principes de la radioprotection », fiche d’information n 2, France, Mai 2013.
- [24] Willy De Roovere, « Utilisation des rayons x en médecine dentaire », agence fédérale de contrôle nucléaire ; 9001:2000, Bruxelles, février 2009.

- [25] « Le cone beam : un outil incontournable en implantologie », 3D CELO, Paris, 25 Avril 2019.
- [26] Norbert Bel laiche, « Guide pratique du cone beam en imagerie dento-maxillaire », Edition scdp, Paris, Novembre 2016.
- [27] William c. Scarfe, Christos Angeloupouls, “Maxillo facial cone beam computed tomography, principles, techniques and clinical application”, USA, 2018.
- [28] Joachim E zoller, Jorgneugebauer, “Cone beam volumetric imaging in dental ,oral and, maxillo facial medicine, fundamentals diagnostics and treatment planning”, Quintessence International, London, 2008.
- [29] Robert Cavésian, Gérard Pasquet, « Cone beam Imagerie diagnostique en odontostomatologie principes, résultats et perspectives », Elsevier Masson, Paris, Aout 2011.
- [30] Baba R, Ueda K, okab M, “Using a flat panel detector in high resolution cone beam, CT for dental imaging”, Dento-maxillo facial radiol, USA, 2004.
- [31] Laila Benjelloune, Karima El Harti, Wafa El Wady, « Place de la tomographie volumique à faisceau conique en imagerie dento-maxillofaciale », Imagerie, Actualités Odonto-Stomatologiques, n° 258, Maroc, juin 2012.
- [32] Neugebauer J, Zöller JE, Fougeront N, Khoury F, « Cone beam: imagerie dentaire et maxillo-faciale : principes, diagnostic et plan de traitement », Quintessence International, Paris, 2014.
- [33] Vanden berghe. B, Jacobs. R, Bosmans. H, “Modern dental imaging à review of the current technology and clinical applications in dental practice”, Modern dental imaging European radiology,20 , (11):2637-55, London, 2010.
- [34] Norbert Bellaiche, « Place de la technologie cone beam en imagerie odontostomatologique », Lettre de la Stomatologie 42, Paris, Juin 2009.
- [35] Shanon patel, Simon Harvey, Hagay Shemesh, Conor Durack, “Camputed tomography in endodontics”, Quintessence Publishing, UK London, 2016.

- **[36]** Tomasz Kulczyk, "Computed Tomography versus Optical Scanning: A Comparison of Different Methods of 3D Data Acquisition for Tooth Replication", BioMed Research International, 4985121, 2019.
- **[37]** Dawood A, Patel S, Brown J, "Cone beam CT in dental practice", British dental journal, 207, UK, 2009.
- **[38]** Haute autorité de santé, « Tomographie volumique à faisceau conique de la face (conebeam computed tomography) », Evaluation des technologies de santé, France 29 déc 2009
- **[39]** Vandenberghe B, « Le Cone beam CT: évolution et révolution », Lettre de la Stomatologie 57, Paris, Mars 2013.
- **[40]** Tomographie volumique a faisceau conique de la face (cone beam computerized tomography) apport d'évaluation technologique HAS. (2009).
- **[41]** Giacomo Garlaschi, Pietro Caruso, Enzo Silvestri, Luca Maria Sconfienza, "CONE BEAM CT and 3D IMAGING a practical guide", Springer, Verlag Italia, 2014.
- **[42]** Bettina Basrani, "Endodontic Radiology", Second Edition, USA, 2012.
- **[43]** Mohamed Fayad, Bradford R. Johnson, "3D Imaging in Endodontics, A New Era in Diagnosis and Treatment", © Springer International Publishing, Switzerland, 2016.
- **[44]** S. Patel, C. Durack, F. Abella, H. Shemesh, M. Roig & K. Lemberg, "Cone beam computed tomography in Endodontics", international endodontic journal, USA, February 2014.
- **[45]** Françoise Tillota, « Anatomie dentaire », 1ère édition, Elsevier masson, Paris, 2018.
- **[46]** A lautrou, « Anatomie dentaire », 2ème édition, Elsevier masson, Paris, 2002.
- **[47]** Stanly J, Nelson, Major M, Ash, « Memo-fiches d'anatomie dentaire », Elsevier masson, Paris, 2012.
- **[48]** Maurice Crétot, « L'arcade dentaire humaine, morphologie », huitième édition Cdp, Paris, avril 2013.
- **[49]** J.B. Woelfel, R.C. Scheid, « Anatomie dentaire, application à la pratique de la chirurgie dentaire », 6ème édition, Maloine, Paris, Déc 2007.
- **[50]** Mahmoud Torabinejad, Richard E. Walton, Ashraf F. Fouad, « Endodontie PRINCIPES ET PRATIQUE », Elsevier Masson, Paris, 2016.

- **[51]** Sashi Nallapati, « Anatomie canalaire et traitement endodontique, A Review of Root Canal Anatomy & Clinical Management », Revue d'odonto-Stomatologie, 39:239-262 , USA, Novembre 2010.
- **[52]** Bing Fan, Yihuai Pan, Yali Gao, Fang Fang, “Three-dimensional Morphologic Analysis of Isthmuses in the Mesial Roots of Mandibular Molars”, Basic research-Technology, Journal of Endodontics, 36(11):1866-9, USA, November 2009.
- **[53]** Estrela et al, “Frequency of Root Canal Isthmi in Human Permanent Teeth Determined by Cone-beam Computed Tomography”, JOE. Endod, USA, 2015.
- **[54]** Gustavo De-Deus, Erick Miranda Souza, Bianca Barino, Janaina Maia, Renata Quintella Zamolyi, Claudia Reis, Anda Kfir, “The Self-Adjusting File Optimizes Debridement Quality in Oval-shaped Root Canals”, Basic Research-Technology, JOE, Volume 37, Number 5, USA, May 2011.
- **[55]** Aqeel Al-Saedi, Bahaa Al-Bakhakh, Riad G AL-Taee, “Using Cone-Beam Computed Tomography to Determine the Prevalence of the Second Mesio Buccal Canal in Maxillary First Molar Teeth in a Sample of an Iraqi Population”, Clin cosmet investing dent, 12: 505–514, USA, Nov 2020.
- **[56]** Heeresh Shetty, Subodh Sontakke, FrenyKarjodkar, Pankaj Gupta, Ashish Mandwe, K.S Banga, “A Cone Beam Computed Tomography (CBCT) evaluation of MB2 canals in endodontically treated permanent maxillary molars. A retrospective study in Indian population”, J Clin Exp Dentv, 9(1), USA, Jan 2017.
- **[57]** Valentin Marchi, « Vers une prescription raisonnée de CBCT en endodontie », Endodontie, Paris, 21 JUIN 2018.
- **[58]** Nehal Nabil Roshdy, Sherif Adel El Khodary, “Prevalence of middle mesial canals in the mesial root of first permanent mandibular molars in Egyptian populations: An In vivo cohort retrospective Cone beam Computed Tomographic Study”, Egyptian dental journal, Vol. 64, 1757:1761, Egypte, Avril 2018.
- **[59]** Akbarzadeh N, Aminoshariae A, Khalighinejad N, Palomo JM, Syed A, Kulild JC, et al “The Association between the Anatomic Landmarks of the Pulp Chamber Floor and the

Prevalence of Middle Mesial Canals in Mandibular First Molars: An In Vivo Analysis”, Journal of Endodontics, 43(11):1797-1801, USA, Nov 2017.

- **[60]** Q. Zheng, L. Zhang, X. Zhou, Q. Wang, Y. Wang, L. Tang, F. Song, D. Huang, “C-shaped root canal system in mandibular second molars in a Chinese population evaluated by cone-beam computed tomography”, International Endodontic Journal, 44, 857–862, Chine, 2011.
- **[61]** Evan A Lynn, “Conventional root canal therapy of C-shaped mandibular second molar. A case report”, N Y State Dent J, 72(6):32-4, USA, Nov 2006.
- **[62]** Avi Shemesh, Vered Katzenell, Joe Ben Itzhak, Michael Solomonov, “C-shaped canal in a mandibular first molar: A case report”, ENDO. 8(1):47–52, London, 2014.
- **[63]** Hamid Jafarzadeh, You-Nong Wu, “The C-shaped Root Canal Configuration: A Review”, JOE- Volume 33, Number5, USA, Mai 2007.
- **[64]** Si-Saleh Hammoudi, « Le cours d’anatomie descriptive, topographique et fonctionnelle XII tête et cou », HSS édition, Alger, 2017.
- **[65]** Norbert Bellaïche, « cone beam et sinusites odontogènes », LS 72 , Imagerie, Paris, Novembre 2016
- **[66]** I. Castillo, Ludovic, J.F Papon, « Dents et sinus », Elsevier Masson, France, 2017.
- **[67]** Eric Bonnet, « Imagerie 2D ou 3D ? », Ergonomie matériel, Paris, janvier 2017.
- **[68]** R. Drake, A. Wayne Vogl, A. Mitchell, “Gray’s anatomy for students”, 2nd edition, Elsevier, London, 2009.
- **[69]** Eric Bonnet, “ Approche de l’imagerie 3D en endodontie”, endodontie, Paris, octobre 2016.
- **[70]** Alexis Thomas, Rufino Felizardo, Pierre Carpentier, “Le canal incisif mandibulaire : risque anatomique ? Étude tomodensitométrique et applications cliniques.”, Implantologie, RevOdontStomat ,41:139-152, Septembre 2012.
- **[71]** Delphine Maret, Franck Diemer, «Apport de l’imagerie cone beam en endodontie», Réalités Cliniques, n°2, Paris, 15 juin 2014
- **[72]** Stéphane Simon, « Quelques considerations sur les relations endo-parodontales », Paris, 2010 .

- **[73]** Gold, S. I, Moskow B. S, "Periodontal repair of periapical lesions: the borderland between pulpal and periodontal disease", Journal of Clinical Periodontology, New York, 1987.
- **[74]** Jean-Jacques Lasfargues, « Le diagnostic clinique des parodontites apicales », ID Editions, France, 2001.
- **[75]** Stéphane Simon, « Endodontie volume 1 », Editions CdP ,Paris ,2008.
- **[76]** Uraba. S, Ebihara. A, Komatsu. K, Ohbayashi. N, Okiji. T, "Ability of Cone-beam Computed Tomography to Detect Periapical Lesions That Were Not Detected by Periapical Radiography: A Retrospective Assessment According to Tooth Group", Journal of Endodontics, Japan, 2016.
- **[77]** Eric Whaites, Nicolas Drage, " Radiographie et radiologie dentaire", Elsevier Massson, Paris, 2019 .
- **[78]** Estrela. C, Bueno. M. R, Leles. C. R, Azevedo. B, Azevedo. J. R,"Accuracy of Cone Beam Computed Tomography and Panoramic and Periapical Radiography for Detection of Apical Periodontitis", Journal of Endodontics , USA, 2008.
- **[79]** Khademi, John A., with contributions by Carr, Gary B, Schwartz, Richard STRudeau, Michael "Advanced CBCT for endodontics : Technical considerations, perceptions and decision-making" , Quintessence publishing, UK, 2017.
- **[80]** S Patel, A Dawood, "The use of cone beam computed tomography in the management of external cervical resorption lesions", United Kingdom, 2007.
- **[81]** K. VALLAEYS, V. CHEVALIER, R. ARBAB-CHIRANI, « Traumatisme dentaire, Chapitre 44, Urgences », SfmU, France, 2013.
- **[82]** Brooke Blicher et Rebekah Lucier Pryles, « Uses for Cone Beam Computed Tomography In Endodontic »,Le 10 janvier 2020.
- **[83]** Cases Leena Palomo, J. Martin Palomo, «Cone Beam CT for Diagnosis and Treatment Planning in Trauma», 0011-8532/09, Elsevier Inc ,USA, 2009.
- **[84]** ERIC BONNET « Applications cliniques du Cone Beam », Le fil dentaire, Lyon, 20 FÉVRIER 2013.

- **[85]** Randolph Todd, « Cone Beam Computed Tomography Updated Technology for Endodontic Diagnosis», Cross Mark, 58523–54, USA, 2014.
- **[86]** Yaser Safi, Sepanta Hosseinpour , Alireza Aziz , Masoud Bamedi , MahsaMalekashtari , Zahra Vasegh, «Effect of Amperage and Field of View on Detection of Vertical Root Fracture in Teeth with Intracanal Posts», IEG,10.7508/iej, Iran, 2016.
- **[87]** Martha Ann Keels, «Management of Dental Trauma in a Primary Care Setting», The section of oral health Pediatrics, American Academy of Pediatrics, USA, January 27,2014.
- **[88]** J. Darcey, and A. Qualtrough, “Resorption: part 1. Pathology, classification and etiology”, British Dental Journal, Macmillan Publishers Limited, 214: 439-451, 2013
- **[89]** A. Omer, S. Abela, G. Gray, N. Atack, and P. Crawford, “Disappearing roots. A case of widespread apical root resorption”, ©British Dental Journal, 206: 525–527, VOLUME 206 NO. 10, MAY 23 2009.
- **[90]** J. Darcey and A. Qualtrough, “Resorption: part 2. Diagnosis and management”, ©British Dental Journal, Macmillan Publishers Limited, 214: 493-509, VOLUME 214 NO10, MAY 25 2013.
- **[91]** Shanon Patel, Domenico Ricucci, Conor Durak, and Franklin Tay, Internal Root “Resorption: A Review 2010 American Association of Endodontists”, J Endod, 36(7):1107-21, 2010.03.14.
- **[92]** R I Bartok, T Văideanu, Bogdan Dimitriu, Carol Davila, C M Vârlan, “External radicular resorption: Selected cases and review of the literature”, Journal of Medicine and Life Vol. 5, Issue 2, 5(2):145-8, June 2012.
- **[93]** Marielle Olijnyk, « Apport du CBCT dans la prise en charge des résorptions radiculaires », Endodontie, OdontStomat, 43:149-161, Paris, 2014.
- **[94]** Caroline Felipe MagalhãesGirelli, Amanda Pereira dos Santos, Mariana Carvalho Marianelli, MarianeFloriano Lopes Santos Lacerda, Carolina Oliveira de Lima, « CBCT in the management of internal root resorption, A Case Report », Quintessence Publishing Partner, 22795-216, Brazil, 2014.
- **[95]** AliFatemi, Yosef Nahmias, « CBCT in treatment planning of external cervical resorption: A case series », Oral Health, Mexico, August 8, 2017.

- **[96]** ZahrasadatMadani, Ehsan Moudi, Ali Bijani, Elham Mahmoudia, « Diagnostic Accuracy of Cone-Beam Computed Tomography and Periapical Radiography in Internal Root Resorption », Iran Endod J, 11(1): 51–56, Iran, 2015.
- **[97]** Ana Caroline Ramos Brito, Francielle Silvestre Verner, Rafael BinatoJunqueira, Mayra Cristina Yamasaki, MsC, PolyaneMazucato Queiroz, MsC, Deborah Queiroz Freitas ,Christiano Oliveira-Santos, "Detection of Fractured Endodontic Instruments in Root Canals: Comparison between Different Digital Radiography Systems and Cone-beam Computed Tomography", Clinical Research, 101016, USA, 2016
- **[98]** NO Varghese, Rajesh Pillai, U-Nu Sujathen, Shan Sainudeen, Abe Antony, Sinju Paul, "Resistance to torsional failure and cyclic fatigue resistance of ProTaper Next, WaveOne, and Mtwo files in continuous and reciprocating motion: An in vitro study", Journal of conservative dentistry, 10.4103, India, 2016
- **[99]** Eugenio Pedulla, Nicola M. Grande, Gianluca Plotino, AlfioPappalardo, Ernesto Rapisarda, "Cyclic Fatigue Resistance of Three Different Nickel-Titanium Instruments after Immersion in Sodium Hypochlorite", Basic Research-Technology", 10.1016, USA, aout 2011
- **[100]** Nigel J Souter, Harold H Messer, "Complications associated with fractured file removal using an ultrasonic technique", Journal of endodontics, 10.1097,USA, juin 2005
- **[101]** D.A. Tyndall H. Kohltfarber, "Application of Cone Beam Volumetric Tomography in Endodontics", Texas Dental Journal,10.1111, Texas, novembre 2012
- **[102]** Aji Markose, "Management of Separated Instruments from the root canal", Journal of Dental and Medical Sciences, 10.9790, India, Septembre 2016
- **[103]** M. B. McGuigan, C. Louca and H. F. Duncan, "Clinical decision-making after endodontic instrument fracture", British Dental Journal, num 08, Angleterre, avril 2013
- **[104]** Stéphane Simone, " L'endodontie de A à Z traitement et retraitement " , Editions CdP, Paris , 2018
- **[105]** Randy L. Ball, Joao V. Barbizam, and Nestor Cuenca, "Intraoperative Endodontic Applications of Cone-Beam Computed Tomography", JOE, num 04, USA, Avril 2013

- **[106]** Patel S, Durack C, Abella F, Shemesh H, Riog M, Lemberg K. Cone beam computed tomography in endodontics- a review. *Int Endod J*, 48(1): 3-15, 2015
- **[107]** Todd R, “Dental imaging-2D to 3D: a historic, current and future view of projection radiography”, *Endod top*, 31(1):36-52, 2014
- **[108]** Katakami K, Mishima A, Shiozaki K, Shimoda S, Hamada Y, Kobayashi K, “Characteristics of accessory mental foramina observed on limited cone beam computed tomography images”, *J Endod*, 34(12):1441–5, 2008.
- **[109]** Rigolone M, Pasqualini D, Bianchi L, Berutti E, Bianchi SD, « Vestibular surgical access to the palatine root of the superior first molar: “low-dose cone-beam” CT analysis of the pathway and its anatomic variations”, *J Endod*, 29(11):773–5, 2003.
- **[110]** Arens DE, Adams WR, DeCastro RA, “Chirurgie endodontique”, Cdp, Paris, 1984.
- **[111]** Patel S, “New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography”, *Int Endod J*, 42(6):463–75, 2009.
- **[112]** Gustavo Rodriguez, Shanon Patel, Fernando Duran-Sindreu, Miguel Roig, Francesca bella, “Influence of Cone-beam Computed Tomography on Endodontic Retreatment Strategies among General Dental Practitioners and Endodontists”, *JOE*, 0099-2399, USA, 2017.
- **[113]** Jerin Jose, Shoba K, Faizal C, Nithya Tomy, Shibu Aman, « One Step Apexification with Two Bioactive Materials – A CBCT Evaluation », *International Journal of Oral Health and Medical Research*, 2(3):46-49, India, octobre 2015.
- **[114]** Patricia Becerra, Domenico Ricucci, Simona Loghin, Jennifer L. Gibbs, Louis M. Lin, «Histologic Study of a Human Immature Permanent Premolar with Chronic Apical Abscess after Revascularization/Revitalization », *JOE*, volume 40, numero 1, janvier 2014.
- **[115]** Andersson M, Carlson L, P M, “Accuracy of machine milling andspark erosion with a CAD/CAM system”, *v Journal of prosthetic dentistry*, 76 (2); p 187-193, Aug 1996.
- **[116]** Bennasar B, Fages M, MargeritJ, « La CFAO pour la réalisation des maquettes de fonderie en prothèse fixée », *Les cahiers de prothèse N° 146*, Juin 2009 : p 23-31.

- **[117]** Duret F, « La CFAO dentaire, 6 ans après la première présentation au congrès de l'ADF de 1985 », Actualités odonto-stomatologiques , n°175, Septembre 1991 : p431-454
- **[118]** Fages M, Raynal J, Margerit J, « La CFAO directe aujourd'hui, principes généraux. Information dentaire », N°38, Novembre 2008 : p 2273-2279
- **[119]** Ghrenassia C, Guyonnet J, Auther A, Lucas, Charbreron O, Sagne B, N'Guyen C, Farre P, Guignes P, Eclassan R, Sixou M, « LesystèmeCerec enquête de satisfaction patients/praticiens », Les cahiers de prothèse, N°141, Mars 2008: p 65-72.
- **[120]** Rekow D, "Dental CAD/CAM: a 20 year success story", The Journal of the American Dental Association, vol 137, September 2006: p55-6S.
- **[121]** Unger F, « La CFAO en question ». Le fil dentaire, N°33, Mai 2008 : p 16-18
- **[122]** Duret F, Duret B, Pellissier B, « CFAO Histoire vécue, le temps des pionniers », L'information dentaire, 5 sept 2007;89(29):1659- 62.
- **[123]** Descamp F, Fages M « La CFAO: toute une histoire! In: La CFAO en odontologie Les bases, les principes et les systèmes ». CdP. p. 1- 16. (Guide Clinique).
- **[124]** Duret F, Blouin JL, Nahmani L, « Principes de fonctionnement et applications techniques de l'empreinte optique dans l'exercice de cabinet », Les cahiers de prothèse, ;(50):73 110, Juin 1985.
- **[125]** Attention les dents. Le Figaro. avril 1985
- **[126]** Descamp F, « L'empreinte en CFAO. In: Pratique de l'empreinte en prothèse fixée », CdP. p. 105- 26. (Guide Clinique).
- **[127]** Duret F, Pellissier B, « Les différentes méthodes de prise d'empreintes pour la CFAO », Stratégie prothétique, Volume 3, n°5, Novembre 2003, p343-349.
- **[128]** Duret F, Pellissier B, Duret B, « Peut-on envisager de faire des empreintes optiques en bouche ? », Stratégie prothétique Volume 5, n° 1, Février 2005, p 67-74
- **[129]** Duret F, Pellissier B, Fages M, « Empreintes optiques et perspectives d'avenir », Stratégie prothétique, 10 (4)Septembre-Octobre 2010 : p 239-247.
- **[130]** Rudolph H, Quaas S, Luthardt G, « Matching point clouds limits and possibilities», International Journal Comp. dent, 5 (2-3) Apr-Jul 2002: p 155-164.

- **[131]** Tinschert J, Natt G, Hassenpflug S, SpiekermannH, “Status of current CAD/CAM technology in dental medicine”, International Journal Comp. dent. Jan 2004, 7 (1): p 25-45.
- **[132]** Trevelo F, « La couronne Procera All-ceram », Le fil dentaire, N°23, Juin 2004 : p 1505-1513.
- **[133]** Unger F, « La CFAO dentaire », Stratégie prothétique, Novembre 2003, 5 (3) : p 327-341.
- **[134]** Ismael-Daoud Hassen, « La CFAO en odontostomatologie : conséquences sur la pratique et la formation » en 2009.
- **[135]** Blondeels. « Bridge zircone : du scannage à la stratification », Technologie dentaire, N°263, 10/08 : p 28-38.
- **[136]** F.Pereze, “Realties cliniques”, volume 30 N 4, Editions CdP, 2019
- **[137]** F.Kernen, Al, “Accuracy of Three-Dimensional Printed Templates for Guided Implant Placement Based on Matching a Surface Scan with CBCT: Accuracy of Printed Templates”, Clin. Implant Dent. Relat, Switzerland, 2016.
- **[138]** N. Kinariwala, L. Samaranayake, “Guided Endodontics”, Springer, USA, 2020.
- **[139]** Buchgreitz, J, Buchgreitz.M, Mortensen.D, Bjørndal.L, “Guided access cavity preparation using cone-beam computed tomography and optical surface scans – annex vivo study”, International Endodontic Journal, Denmark, 2015.
- **[140]** M.Zehnder, T. Connert, R.Weiger, G.Krastl, S. Kühl, S, “Guided endodontics: accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location”, International Endodontic Journal, Switzerland, 2015.
- **[141]** A. Zubizarreta Mach, A.AFerreiroa, C.Rico-Romano, L.Alonso-Ezpeleta, J. Mena-Álvarez, “Diagnosis and endodontic treatment of type II dens invaginatus by using cone-beam computed tomography and splint guides for cavity access”, The Journal of the American Dental Association, Spain, 2015.
- **[142]** Krastl, G, Zehnder, M. S, Connert, T, Weiger, R. & Kühl, S. “Guided Endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology”. Dent. Traumatol. 32, 240–246 (2016).

- **[143]** VanDer Meer W. J, Vissink, A, Ng, Y. L. & Gulabivala, K. “3D Computer aided treatment planning in endodontics”, *J. Dent.* 45, 67–72 (2016).
- **[144]** Connert T. et al, “Microguided Endodontics: a method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer-guided technique”, *Int.Endod. J.* 51, 247–255 (2018).
- **[145]** Buchgreitz J, Buchgreitz M. & Bjørndal L, “ Guided root canal preparation using cone beam computed tomography and optical surface scans – an observational study of pulp space obliteration and drill path depth in 50 patients”, *Int. Endod. J.* 52, 559–568 (2019).
- **[146]** Çaparlı. D, Uysal B E, & Arslan H, “Effect of the Size of the Apical Enlargement with Rotary Instruments, Single-cone Filling, Post Space Preparation with Drills, Fiber Post Removal, and Root Canal Filling Removal on Apical Crack Initiation and Propagation”. *J. Endod.* 41, 253–256 (2015)
- **[147]** Connert, T. *et al.* “Guided Endodontics versus Conventional Access Cavity Preparation: A Comparative Study on Substance Loss Using 3-dimensional–printed Teeth”, *J. Endod.* 45, 327–331 (2019).

Liste d'abréviations

A.D.F	Association Dentaire Française
CBCT	Cone Beam Computed Tomography
CBCTPAI	Cone beam Computed Tomography Peri-Apical Index
C.F.A.O	Conception Et Fabrication Assistées Par Ordinateur
C.A.O/C.A.D	Conception Assistée Par Ordinateur
CSI	Iodure de césium
DB	Disto-Buccal
DICOM	Digital Imaging And Communication In Medicine
F.A.O/C.A.M	Fabrication Assistée Par Ordinateur
FDP	Flat Panel Detector
FOV	Field Of View
LIPOE	Lésion Inflammatoire Péri-Apicale D'origine Endodontique
MP	Mésio-Buccal
ML	Mésio-Lingual
MPR	Multiplanar Reconstruction
MTF	Fonction-Modulation-Transfert
MV2	Racine Mésio-Vestibulaire De La Première Molaire Maxillaire
NITI	Nickel-Titane
OPT	Orthopantomogramme
PA	Parodontite Apicale
PAA	Parodontite Apicale Aigue
PID	Dispositif Indicateur De Position
RA	Rétro-Alvéolaire
RVG	Radiovisiographie
STL	Stéréolitographie
TDM	Tomodensitométrie
TVFC	Tomographie Volumique à Faisceau Conique
UHR	Ultra Haute Résolution
VRF	Fracture Verticale De La Racine
2D	Deux Dimensions
3D	Trois Dimensions

Liste des tableaux

tableau	Titre	N° de page
01	Paramètre du détecteur.	35
02	Montrant les caractéristiques des appareils CBCT à petit champs.	41
03	Montrant les caractéristiques des appareils CBCT à grand champs.	42
04	Montrant les variations et abréviations anatomiques rencontrées dans des racines dentaires	71
05	Comparaison des images radiologiques des deux lésions inflammatoires fréquemment rencontrées	99

Listes des figures

Figure 1: Tube de Crookes.....	2
Figure 2: Wilhelm Conrad Roentgen et la première radiographie de la main de sa femme (1895).....	3
Figure 3: Dr Otto Walkhoff, dentiste allemand, et sa première radiographie dentaire 1896.....	4
Figure 4: tube de Coolidge.....	5
Figure 5: Exemple d'une radiographie panoramique.....	7
Figure 6: Représentation diagrammatique de la technique de parallélisme.....	8
Figure 7: Angulateurs de Rinn.....	8
Figure 8: Représentation diagrammatique de la technique bissectrice.....	9
Figure 9: Radiographie bite Wing typique d'une denture définitive.....	10
Figure 10: Image de la région molaire mandibulaire droite par capteur CCD (document RVG, Trophy-Kodak).....	11
Figure 11: exemple d'une radiographie rétro-alvéolaire prise avec un angulateur de Rinn.....	12

Figure 12: exemple d'une rétro-alvéolaire prise chez un patient qui a une voûte palatine peu profonde].....	13
Figure 13: (a) L'arc zygomatique obscurcit l'anatomie apicale des dents molaires supérieures (b) la lésion radioclaire (flèche jaune) sur l'aspect mésial de la racine mésio vestibulaire.....	13
Figure 14: Faisceau plat du scanner.....	14
Figure 15: Faisceau conique du CBCT.....	16
Figure 16: Exemple d'un appareil <i>cone beam</i> 3D.....	19
Figure 18: <i>computed tomography</i>	20
Figure 19: principe d'acquisition de l'imagerie <i>cône beam</i>	21
Figure 20: Représentation diagrammatique.....	21
Figure 21: Les détecteurs.....	25
Figure 22: (a) Résorption interne de 36. Reconstruction sagittale (b) Résorption interne de 36. Reconstruction frontale.....	26
Figure 23: 4ème Canal MV2 16. Reconstruction axiale/ 4ème Canal MV2 16. Reconstruction frontale.....	27
Figure 24: Reconstruction 3D montrant les implants virtuels et leurs rapports avec le canal mandibulaire.....	27
Figure 25: Montrant les types d'appareil <i>cone beam</i> Morita accutomo assis (à gauche) /Newtom 5G couché (à droite).....	28
Figure 26: Montrant un <i>cône beam</i> qui travaille à position debout.....	29
Figure 27: Champs de vue proposés par le cone beam Scanora 3Dx couvrant l'ensemble des besoins en exploration 3D.....	29
Figure 28: Montrant les différents champs d'exploration.....	30
Figure 29: « Bruit » accru sur reconstructions très fines, à voxels de 80µm, Montrant plus de détails cependant que sur les reconstructions à 125µm.....	33
Figure 30: Stries radiaires dues au durcissement du faisceau.....	34
Figure 31: Effet de bord autour d'un implant de 36 bien ostéo-intégré.....	35
Figure 32 : Artéfacts métalliques de couronne (région de 16) peu ou pas gênants car à distance	

de la crête édentée.....	35
Figure 33: « Echo de bord » : effet de bord implantaire (implants en 14 et 16) répétés sur les reconstructions adjacentes de la région de 15.....	36
Figure 34: artefact d'implant aiguille.....	37
Figure 35: Boucles d'oreilles : artefacts sur tous les plans et même en 3D.....	37
Figure 36: Pseudo-carie due à une fausse image lacunaire artéfactuelle.....	38
Figure 37: <i>cone beam</i> réalisé sans MARS (à gauche) et <i>cone beam</i> réalisé avec MARS (à droite).....	38
Figure 38 : Artefacts cinétiques avec double contours : interprétation impossible.....	40
Figure 39: Artefacts de cible sur coupes axiale (a) et orthogonale (b).....	41
Figure 40: Artefact de contraste dû à un capteur mal calibré.....	41
Figure 41: Principes comparés du scanner et du cone beam.....	42
Figure 42: (A) schéma de la tomographie conventionnelle bidimensionnelle (B) schéma de la tomographie volumique à faisceau conique tridimensionnelle.....	42
Figure 43 : Comparaison des ensembles de données de volume obtenus isotropiquement (à gauche) et anisotropiquement (à droite).....	43
Figure 44: comparaison de la configuration géométrique du <i>conebeam</i> et scanner.....	43
Figure 45: CBCT montrant la reconstruction et l'illustration anatomique des dents.....	49
Figure 46: Anatomie tridimensionnelle des dents.....	55
Figure 47: classification de weine.....	57
Figure 48: classification de vertucci.....	58
Figure 49: Classification de Carames et de Aprile.....	58
Figure 50: schéma en trois-dimensions des quatre types d'isthmes selon Fan et Coll.....	61
Figure 51: reconstruction en trois dimensions de la morphologie canalaire apicale des racines mésiales des molaires mandibulaires contenant des isthmes d'après Fan et coll (vue mésio-distale ; structures vertes : canaux avec isthmes ; structures rouges : canaux sans isthme).....	61

Figure 52: coupe transversale d'un canal pulpaire possédant une extension vue au microscope x 4,5 d'après De Deus et coll.....	61
Figure 53 : a) Rétro-alvéolaire de 26 présentant un traitement endodontique paraissant correct.b) CBCT, montrant un second canal mésio-vestibulaire qui n'a pas été traité lors du traitement endodontique.....	62
Figure 54: CBCT montrant un canal mésial moyen sur la première molaire mandibula.....	63
Figure 55: CBCT montrant deux canaux bilatéraux en forme de C dans la seconde molaire mandibulaire.....	64
Figure 56: Granulome en communication Franche avec le sinus.....	65
Figure 57: Lésion endo-parodontale soulevant le plancher sinusien, et lysant la corticale vestibulaire (flèche).....	66
Figure 58: Reconstitution en 3D de l'aspect de la face linguale de la mandibule montrant en flèche bleue le foramen lingual.....	66
Figure 59: Lésion endo-parodontale de 46, fistulisant vers le canal mandibulaire.....	67
Figure 60: Les coupes coronales, espacées d'un millimètre, montrent parfaitement l'émergence du nerf et ses rapports avec la 45.....	68
Figure 61: coupes d'acquisition illustrant les différentes localisations possibles du canal incisif.....	69
Figure 62: Schématisation des différents résultats du sondage parodontal.....	71
Figure 63 : Hypodensité autour de la racine distale, signe d'une parodontite apicale.....	72
Figure 64: (A) Radiographie panoramique ne suggérant pas une parodontite apicale sur la 11. (B)Radiographie rétro-alvéolaire ne montrant pas une parodontite apicale sur la 11.(C) Image obtenue en Cone Beam mettant en évidence la parodontite apicale sur la 11.....	73
Figure 65: Hypodensité constitutionnelle de la mandibule pouvant simuler une réaction péri-apicale (reconstitution frontale).....	74
Figure 66: Echelle de CBCTPAI sur une incisive maxillaire.....	75

Figure 67: PAA primaire débutante sur molaire (reconstitution frontale).....	76
Figure 68: PAA primaire avancée sur incisive sup (reconstitution sagittale).....	76
Figure 69: Granulome débutant sur molaire (reconstitution frontale).....	77
Figure 70: Granulome apical sur molaire (Reconstitution frontale).....	77
Figure 71: Granulome latéro-radulaire (reconstitution frontale).....	77
Figure 72: volumineux kyste radiculo-dentaire développé dans la région de la 36 (reconstitution frontale Sagittale et axiale).....	78
Figure 73: Vue sagittale 3D CBCT de la fracture horizontale de la racine.....	81
Figure 74: fêlure verticale de la racine résiduelle de 37, pilier distal de bridge.....	82
Figure 75: Radiographie péri apicale montrant une lésion radioclaire autour de l'apex de la racine mésio-buccale.....	84
Figure 76: Radiographie péri apicale montrant atteinte de la furcation de la 1 ^{ère} molaire maxillaire droite.....	84
Figure 77: Fracture horizontale constatée dans la vue sagittale (fenêtre supérieure droite) et la vue frontale (fenêtre inférieure gauche).....	84
Figure 78: a. Radiographie ortho-centrée révélant une résorption atypique en croissant, aux contours mal définis, non symétrique par rapport à l'axe du canal sur la dent 12 b. Radiographie excentrée en distale, l'image reste centrée sur le canal c.....	88
Figure 79: a. Illustration d'un <i>Pink spot</i> visible sur la vue vestibulaire de la dent 11. b. La radiographie pré opératoire indique une image de résorption difficile à interpréter sur l'étendue dans le sens mésio distal et vestibulo palatin. C. Le CBCT permet de confirmer le diagnostic de résorption cervicale invasive qui s'étend sur la face vestibulaire jusqu'au canal au stade perforant.....	89
Figure 80: Radiographie péri-apicale des 1er, 2e et 3e molaires maxillaires droites.....	92
Figure 81: La vue axiale (fenêtre supérieure gauche) des images CT a révélé une résorption externe de la racine DB, s'étendant jusqu'à la racine P. L'image sagittale (fenêtre supérieure	

droite) montre que la résorption de la racine DB a commencé dans le tiers coronal de la structure racine.....	92
Figure 82: Une autre vue des images CT a révélé que la résorption externe est étendue, s'étendant vers la zone de furcation de la dent, comme on le voit dans les vues axiale (fenêtre supérieure gauche) et sagittale (fenêtre supérieure droite).....	93
Figure 83: Images CBCT d'une molaire inférieure (reconstructions coronales, sagittales et axiales). Les lignes d'orientation sont sur le canal distal avec un instrument endodontique fracturé.....	95
Figure 84: Les étapes du <i>by-pass</i>	96
Figure 85: Dépose d'un fragment instrumental à l'aide d'ultrasons.....	97
Figure 86: les différentes coupes issues du <i>cone beam</i> réalisés sur la 16 (frontale à gauche, axiale à droite, sagittale au-dessous).....	98
Figure 87: image issue d'un <i>cone beam</i> mettant en évidence la présence de foramens mentonniers accessoires.....	99
Figure 88: représentation de la reconstruction 3D du volume à partir du <i>cone beam</i>	100
Figure 89: Changements apportés au plan de traitement avant et après l'examen CBCT.....	101
Figure 90: Facteurs liés à la prise de décisions cliniques relativement à la prise en charge des cas d'échec du traitement radiculaire.....	102
Figure 91: a) Radiographie péri-apicale d'une incisive centrale supérieure droite traitée à la racine restaurée avec une couronne post-retendue. (b) La coupe CBCT sagittale a révélé l'angulation palatine de la post-préparation (flèche bleue) et d'une perforation de la troisième racine frontale. La perte osseuse palatine associée est clairement évidente. (Flèche rouge).....	103

Figure 92: (a) Une photographie et (b) une radiographie péri-apicale de la dent de l'incisive centrale supérieure gauche. (c) Image CBCT sagittale reconstruite par la même dent révélée perte importante de la structure radiale du tiers coronal au sommet (flèche jaune) et péri-apicale associé perte osseuse.....104

Figure 93: (a et b) Radiographies péri-apicales parallaxe d'une seconde molaire gauche maxillaire symptomatique traitée à la racine révélant un niveau acceptable le remplissage des racines en termes de longueur et de densité. (c) L'image reconstruite CBCT axiale a révélé un second canal mésio-buccal non rempli (flèche jaune), et (d) CBCT sagittal l'image reconstruite a révélé une radio-clarté péri-apicale (flèche rouge) associée à la racine mésio-buccale.....106

Figure 94: (a) Radiographie péri-apicale d'une deuxième molaire mandibulaire gauche avec parodontite apicale réfractaire. (b) Coupe CBCT sagittale à travers la même dent. (c) Coupe CBCT axiale à travers la même dent révélant une morphologie racine en forme de C et la racine manquée anatomie du canal (flèches rouges). (d) À l'examen d'un an après le retraitement endodontique.....107

Figure 95: Une radiographie préopératoire de la 1^{ère} M a révélé que quatre canaux ont été traités et que les Canaux radiculaires de tous les canaux sont à environ 1 à 2 mm de l'apex radiographique.....110

Figure 96: Radiographie préopératoire de la 1^{ère} M prise sous un angle distal.....110

Figure 97: Une radiographie pré-opératoire de la 1^{ère} M MAX droite prise à un angle légèrement mésial raccourci a révélé deux canaux mésial-buccal (MB) distincts.....110

Figure 98: La fenêtre supérieure gauche est la vue axiale 1^{ère} M.....111

Figure 99: La fenêtre supérieure gauche est la vue axiale avec les lignes bleues du marqueur au-dessus de la racine distale-buccale (DB) de la 1^{ère} M droite.....112

Figure 100: La fenêtre supérieure gauche est la vue axiale de la 1^{ère} M et les lignes de repère bleues sont au-dessus de la racine palatine (P).....113

Figure 101: Radiographie postopératoire de la 1ère Molaire MAX retraitée.....	113
Figure 102: Radiographie postopératoire de la 1ère M prise sous un angle distal.....	113
Figure103 : Clichés radiologiques rétro-alvéolaires (A et B) et coupes CBCT (C, D, E et F) d'une dent n°35 lors d'une procédure de revitalisation. La radio initiale (A) montre un apex largement ouvert alors que la radiographie à 24 mois semble montrer une fermeture apicale (B). Celle-ci semble complète sur certaines radios ou coupes CBCT (flèches bleues) alors que d'autres coupes CBCT montrent un apex ouvert (flèches rouges).....	114
Figure 104: Premier prototype de caméra endo-buccale.....	116
Figure 105: Première couronne réalisée par François Duret lors de l'ADF en 1985.....	117
Figure106: Marche à suivre en fonction du type d'acquisition des données.....	118
Figure 107: Comparaison entre la taille de la cavité d'accès et trajectoire de forage avec endodontie conventionnelle (a, c) et endodontie guidée (b, d).....	120
Figure 108: Fichier DICOM (a) et fichier STL (b).....	121
Figure 109: Alignement des fichiers STL et DICOM.....	121
Figure 110: Modèle DICOM (a) et STL (b) alignés (c).....	121
Figure 111: Matérialisation du tube de guidage, du foret et son trajet.....	122
Figure112: Guides endodontiques en résine avec douille en place.....	122
Figure 113: Guide et foret en place, forage en cours.....	122

Résumé

La radiographie est une composante capitale de l'endodontie que ce soit pour le diagnostic, le traitement ou pour le suivi post-thérapeutique. Pour cela, plusieurs systèmes radiographiques sont présents sur le marché. Les radiographies conventionnelles ont été appréciées comme étant la modalité de première intention utilisée dans la pratique odontologique pour différentes indications. Néanmoins, ce type de radiographies a ses limitations dont la plupart sont surmontées par l'avènement du Cone Beam Computed Tomography (CBCT). Ce dernier représente une technologie émergente fournissant une représentation tridimensionnelle de haute qualité des structures avec une dose d'irradiation réduite par rapport au scanner traditionnel. Les applications cliniques de cet atout révolutionnaire se sont développées pour englober la pratique endodontique améliorant ainsi le diagnostic et la gestion de nombreux cas dans ce domaine.

Mots-clés : CBCT, diagnostic, radiographie conventionnelle, lésion péri-apicale, résorption, fracture, chirurgie péri-apicale

Abstract

Radiographic imaging is essential in diagnosis, treatment planning and follow-up in endodontics. For this, several X-ray systems are present on the market. Conventional radiographs were considered to be the first-line modality used in odontological practice for various purposes. However, this type of Xray has its limitations. Most of them are overcome with the advent of the Cone Beam Computed Tomography (CBCT) which is an emerging technology that provides high-quality, accurate three-dimensional (3D) representation of structures with a reduced irradiation dose compared to the traditional scanner. Clinical applications of this revolutionary asset have expanded to encompass endodontic practice, thus improving the diagnosis and management of many cases in this field

Keywords: CBCT, diagnostic, conventional radiography, periapical lesion, resorption, fracture, periapical surgery

Promotrice : Dr GHRIBALLAH. M

Auteurs :

- Cherief Marwa : marwacherief34@gmail.com
- Latrouci Aya : ayaverse25@gmail.com
- Ouazene Amira : ouazenea39@gmail.com
- Rebiai Fatima Zahra : rebiaisoumia7@gmail.com
- Si Saber Asma : birceesma@gmail.com
- Tadjerouni Sara : sarsoura0106@gmail.com

