

UNIVERSITE DE NANTES

UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Année 2016

N° 032

**Intérêts et indications du Cone Beam
Computed Tomography en endodontie**

THESE POUR LE DIPLÔME D'ETAT DE DOCTEUR
EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement par

Jérôme GARNIER

Né le 04/11/1991

Le vendredi 17 juin 2016 devant le jury ci-dessous :

Président : Mme. le Professeur Fabienne PEREZ

Assesseur : Mme. le Docteur Valérie ARMENGOL

Assesseur : Mme le Docteur Catherine RICHARD

Directeur de thèse : M. le Docteur Alexis GAUDIN

UNI VERSI T É DE NANTES	
Président	Pr LABOUX Olivier
FACULTÉ DE CHI RURGIE DENTAIRE	
Doyen	Pr AMOURIQ Yves
Assesseurs	Dr BADRAN Zahi Pr SOUEIDAN Assem Pr WEISS Pierre
Professeurs des Universités Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	
Monsieur AMOURIQ Yves Monsieur GIUMELLI Bernard Monsieur LESCLOUS Philippe	Madame LICHT Brigitte Madame PEREZ Fabienne Monsieur SOUEIDAN Assem Monsieur WEISS Pierre
Professeurs des Universités	
Monsieur BOULER Jean-Michel	
Professeurs Em érites	
Monsieur BOHNE Wolf	Monsieur JEAN Alain
Praticiens Hospitaliers	
Madame DUPAS Cécile Madame LEROUXEL Emmanuelle	Madame HYON Isabelle Madame GOEMAERE GALIERE Hélène
Maîtres de Conférences Praticiens hospitaliers des C.S.E.R.D.	Assistants Hospitaliers Universitaires des C.S.E.R.D.
Monsieur AMADOR DEL VALLE Gilles Madame ARMENGOL Valérie Monsieur BADRAN Zahi Madame BLERY Pauline Monsieur BODIC François Madame DAJEAN-TRUTAUD Sylvie Madame ENKEL Bénédicte Monsieur GAUDIN Alexis Monsieur HOORNAERT Alain Madame HOUCHMAND-CUNY Madline Madame JORDANA Fabienne Monsieur KIMAKHE Saïd Monsieur LE BARS Pierre Monsieur LE GUEHENNEC Laurent Madame LOPEZ-CAZAUX Serena Monsieur MARION Dominique Monsieur NIVET Marc-Henri Monsieur RENAUDIN Stéphane Madame ROY Elisabeth Monsieur STRUILLOU Xavier Monsieur VERNER Christian	Monsieur AUBEUX Davy Madame BERNARD Cécile Madame BOEDEC Anne Madame BRAY Estelle Monsieur CLÉE Thibaud Madame CLOITRE Alexandra Monsieur DAUZAT Antoine Madame MAIRE-FROMENT Claire-Hélène Monsieur DRUGEAU Kevin Madame GOUGEON Béatrice Monsieur LE BOURHIS Antoine Monsieur LE GUENNEC Benoît Madame MAÇON Claire Madame MERAMETDJIAN Laure Monsieur PILON Nicolas Monsieur PRUD'HOMME Tony Monsieur ROLOT Morgan
Enseignants Associés	A.T.E.R.
Monsieur KOUADIO Ayepa (Assistant Associé) Madame RAKIC Mia (MC Associé) Madame VINATIER Claire (MC Associé)	Monsieur LAPERINE Olivier

Mise à jour le 26/04/2016

**Par délibération, en date du 6 décembre 1972, le conseil de la
Faculté de Chirurgie Dentaire a arrêté que les opinions émises
dans les dissertations qui lui seront présentées doivent être
considérées comme propre à leurs auteurs et qu'il n'entend leur
donner aucune approbation, ni importance.**

REMERCIEMENTS :

A madame le professeur Fabienne PEREZ

Docteur en chirurgie dentaire

Professeur des universités

Praticien hospitalier des centres de soins d'enseignement et de la recherche dentaires

Docteur de l'université de Toulouse 3

Habilitation à diriger des recherches

Département d'odontologie conservatrice-endodontie

Chef du service d'odontologie conservatrice et pédiatrique

- NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider mon jury de thèse,

Pour votre rigueur et vos compétences qui permettent de chercher à toujours progresser.

Veillez trouver ici mes remerciements et l'expression de mon profond respect.

A Monsieur le Docteur Alexis GAUDIN

Docteur en chirurgie dentaire

Maître de conférences des universités

Praticien hospitalier des centres de soins et d'enseignement et de recherche dentaires

Ancien interne des hôpitaux de Toulouse

Docteur de l'université de Toulouse

Département d'odontologie conservatrice-endodontie

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de diriger ma thèse.

Pour votre gentillesse et vos compétences dans tout les domaines.

Pour votre rapidité de correction et vos conseil avisés.

Veillez recevoir mes sincères remerciements et mon profond respect.

A Madame le Docteur Valérie ARMENGOL

Docteur en chirurgie dentaire

Maître de conférences des universités

Praticien hospitalier des centres de soins d'enseignement et de recherche dentaires

Docteur de l'université de Nantes

Département d'odontologie conservatrice-endodontie

-NANTES-

Pour avoir accepté de siéger au sein de ce jury.

Pour m'avoir appris à faire de l'endodontie et à aimer ça.

Pour la qualité de votre enseignement.

Veillez recevoir mes sincères remerciements.

A Madame le Docteur Catherine RICHARD

Docteur en chirurgie dentaire

Attaché Hospitalier Universitaire des centres de soins, d'enseignement et de recherche dentaires

Département d'odontologie Conservatrice – Endodontie.

-NANTES-

Pour m'avoir fait l'honneur d'accepté de participer à ce jury.

Pour ces agréables moments passé en vacation avec vous.

Veillez recevoir mes sincères remerciements.

SOMMAIRE:

I - Introduction	10
II - L'imagerie en endodontie.	11
2.1 Historique	11
2.2 La radioprotection.....	11
2.2.1 La justification	12
2.2.2 L'optimisation	12
2.2.3 Comparaison des doses d'irradiation	12
2.2.3.1 Les risques stochastiques	13
2.2.3.2 Les effets déterministes	13
2.2.3.3 La dose efficace	14
2.3 Les différents types de radiographies utilisées en endodontie.	15
2.3.1 La rétro-alvéolaire	16
2.3.1.1 Les capteurs intra-buccaux.....	17
2.3.1.2 Les angulateurs	18
2.3.2 La radio panoramique	18
III - Les limitations du système 2D	20
3.1 La compression de l'anatomie tridimensionnelle.....	20
3.2 La distorsion géométrique	22
3.3 Le bruit anatomique.....	23
3.4 La perspective temporelle	24
IV - Le Cone Beam Computed Tomography (CBCT)	25
4.1 Historique	25
4.2 Principes d'acquisition et d'élaboration de l'image.....	25
4.2.1 La configuration du Cone Beam.....	26
4.2.2 La détection de l'image	26
4.2.2.1 Les récepteurs	26
4.2.2.1.1 Le récepteur plan.....	26
4.2.2.1.2 Le récepteur amplificateur de brillance	27
4.2.3 La reconstruction de l'image	28
4.2.3.1 Les reconstructions primaires	28
4.2.3.2 Les reconstructions secondaires.....	28
4.2.3.3 Les reconstructions tridimensionnelles	29
4.2.4 L'affichage de l'image.....	30
4.3 Les différents types de Cone Beam.	30
4.4 Cone Beam versus scanner.	32
4.4.1 La résolution spatiale	32
4.4.2 Le bruit	33
4.4.3 La résolution en densité	33
4.4.4 Les artéfacts.....	34
4.4.4.1 Les artéfacts cinétiques	34
4.4.4.2 Les artéfacts métalliques	35
V - Indications diagnostiques et thérapeutiques.....	38
5.1 Les lésions d'origine endodontique	38
5.1.1 Le Cone Beam Computed Tomography Peri-Apical Index (CBCT-PAI)	41
5.2 L'analyse de la morphologie canalaire.....	44
5.2.1 Les anomalies dentaires	45
5.2.2 L'anatomie canalaire complexe.....	47

5.3 L'évaluation des fractures radiculaires et traumatismes	50
5.3.1 Les fractures radiculaires verticales.	50
5.3.2 Les fractures radiculaires horizontales.....	52
5.3.3 Le traumatisme.	53
5.4 Les résorptions radiculaires.....	54
5.5 L'étude pré-chirurgicale endodontique.....	58
5.5.1 Analyse et planification.....	59
5.5.2 L'analyse des relations avec les structures nobles.....	62
5.5.3 L'utilisation de modèle.....	64
5.5.4 Conclusion.....	65
VI - Conclusion	66
VII - Bibliographie	68
VIII - Table des illustrations.	73

I - Introduction

La radiographie est une composante essentielle de l'endodontie que ce soit pour le diagnostic, le traitement et le suivi. La radiographie a pour but de caractériser, et de mettre en évidence des structures anatomiques. Elle doit aussi permettre de réaliser l'évaluation d'une lésion et le suivi des pathologies liées à l'endodonte et enfin permettre de réaliser la planification et l'exécution de la thérapeutique endodontique.

Pour cela, plusieurs systèmes de radiographies s'offrent à nous :

- La radiographie rétro-alvéolaire
- La radiographie panoramique
- Le Cone Beam Computed Tomography (CBCT)
- Le scanner

L'objectif de cette thèse est de montrer les limitations des systèmes de radiographie en 2 dimensions, que sont la rétro-alvéolaire et la panoramique dans le domaine de l'endodontie, cela pour définir par la suite le Cone Beam, qui est un système de radiographie en 3 dimensions, et ses indications en endodontie.

D'après la Société Européenne d'Endodontie, les indications du Cone Beam en endodontie sont :⁽¹⁾

- Le diagnostic des Lésions Inflammatoire Péri-apicale d'Origine Endodontique (LIPOE) quand les signes cliniques et radiologiques sont contradictoires.
- L'évaluation du système canalaire avant la réalisation d'un traitement endodontique complexe.
- Le diagnostic et la gestion des résorptions.
- L'évaluation et la gestion d'un traumatisme alvéolo-dentaire, ainsi que les fractures radiculaires.
- L'étude pré-chirurgicale.

Voici les principales indications qui seront développées dans cette thèse.

II - L'imagerie en endodontie.

2.1 Historique (2)

L'histoire de la radiographie en odontologie débute en 1895 par Otto Walkhoff. Il réalisa la première radiographie sur lui-même, et la pose dura 25 minutes. Les premières radios étaient intra-buccales, c'était une évolution importante car l'évaluation anatomique non traumatique et non-invasive était rendue possible.

L'imagerie en 3 dimensions apparaît en 1972 grâce à G.N. Hounsfield associé à A.M. Cormack qui inventent un scanner à rayons 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 d'acquisition, la résolution spatiale et temporelle des scanners.

Le Cone Beam est la dernière évolution en date en matière d'imagerie odontostomatologique.

2.2 La radioprotection

Actuellement un tiers des radiographies médicales sont réalisées par des dentistes. Mais cela ne représente que 0,3% de la dose d'irradiation totale de toute l'imagerie par rayon X grâce à une bonne optimisation des pratiques(3).

En odontologie et plus précisément en endodontie, l'examen radiologique doit toujours être précédé d'une anamnèse et d'un examen clinique. L'imagerie a pour but la mise en évidence, la caractérisation et l'évaluation de nombreuses lésions et pathologies(4). Lors d'une pulpectomie par exemple, il est nécessaire de réaliser au moins trois clichés radiographiques. La première, préopératoire pour analyser l'anatomie endocanaire et analyser l'intégrité du periapex. L'estimation de la longueur de travail ne nécessite plus de radiographie systématique et un localisateur d'apex électronique pourra être préféré. La deuxième radiographie sera prise au moment de l'obturation finale pour vérifier le bon ajustement des maitres cônes, une troisième radiographie sera prise pour vérifier la qualité de l'obturation et servira de référence pour le suivi du periapex. Dans de nombreux cas, des clichés rétro-alvéolaires seront suffisants. Mais lorsqu'un traitement endodontique présente des complications particulières, qui seront décrites par la suite, un Cone Beam en seconde intention peut-être prescrit. Comme tout acte radiographique, cela présente des risques pour la santé des patients. C'est pour cela que des règles de radioprotection ont été établies.

L'imagerie est régie par la radioprotection qui définit deux grands principes : la justification et l'optimisation. De plus, avant chaque acte radiographique, le réalisateur de l'acte doit obtenir le consentement verbal du patient.

2.2.1 La justification (5,6)

Toute radiographie doit pouvoir être justifiée pour le diagnostic ou la thérapeutique. La justification de l'acte doit toujours précéder la réalisation. Si ce n'est pas le prescripteur qui réalise le CBCT, une lettre doit être donnée au patient à destination du réalisateur où les informations concernant l'anamnèse médicale et l'examen clinique doivent être notées pour que l'opérateur puisse justifier l'acte. De plus, il faut que le motif et la finalité de l'acte radiographique soient précisément écrits dans le courrier. Cependant, s'il y a un désaccord entre le réalisateur et le prescripteur, la décision appartient au radiologue. Il faut aussi que son bénéfice soit supérieur aux préjudices potentiels qu'une exposition aux rayons X pourrait provoquer. L'examen radiologique doit être en mesure de fournir des informations nouvelles qui aideront à choisir la bonne approche thérapeutique pour le patient. Le CBCT n'est pas un examen de routine, il ne doit pas être répété chez une même personne sauf si nous pouvons prouver que le bénéfice de ce nouveau cliché est supérieur aux risques encourus par cette nouvelle irradiation.

2.2.2 L'optimisation (5,6)

C'est le concept ALARA (As Low As Reasonably Achievable). Cela signifie qu'il faut avoir le meilleur résultat avec la plus petite dose de rayonnement possible. Il faut choisir la résolution la mieux adaptée pour le diagnostic qui utilise la plus petite dose de rayon X. On doit aussi s'assurer qu'aucune autre technique radiographique moins irradiante ne pourrait donner les informations nécessaires au diagnostic et à la prise de décision thérapeutique. L'HAS a d'ailleurs publié un guide de bonnes pratiques pour l'utilisation du Cone Beam. Il doit aussi y avoir un contrôle de la qualité des appareils radiographiques utilisés. La réalisation d'un examen radiographique est soumise à l'obligation de moyens, les radios doivent être de bonne qualité. Il faut aussi que l'examen soit lisible et interprétable ce qui correspondrait plus à une obligation de résultat.

2.2.3 Comparaison des doses d'irradiation

En odontologie il y a quatre grandes familles de radiographies. Pour comparer leur effets potentiels et leur possible nocivité pour le patient une unité de mesure a été créée. Il s'agit de la dose efficace qui s'exprime en microsievert. La dose efficace est une grandeur de radioprotection et non une grandeur physique. Elle mesure l'impact potentiel sur les tissus biologiques d'un rayonnement ionisant. Il y a deux types de risques ou d'effets, les risques stochastiques et les effets déterministes.

2.2.3.1 Les risques stochastiques (7)

Les risques stochastiques : sont tardifs, aléatoires et dépourvus de seuil, ils sont non dose dépendants et ont pour origine une lésion non ou mal réparée d'une molécule d'ADN. Lors d'une exposition aux rayons X, des millions de photons traversent le corps et peuvent être à l'origine de dommages moléculaires par ionisation de la matière. Cela peut aussi entraîner des mutations de l'ADN. Si la mutation a lieu sur une cellule somatique alors les effets concerneront l'individu exposé et pourront être la cause de cancer ou de tumeurs. Si elle concerne une cellule germinale, les effets seront génétiques et ils pourront se transmettre et induire des malformations et/ou pathologies à la descendance. D'après la courbe de la figure 1, le risque ne serait donc jamais nul même pour des doses très faibles, le risque stochastique représente la partie hypothèses dans la courbe.

En odontologie, nous utilisons des doses très faibles, mais il y a toujours un risque, c'est pour cela qu'il y a des règles de radioprotection du patient à respecter.

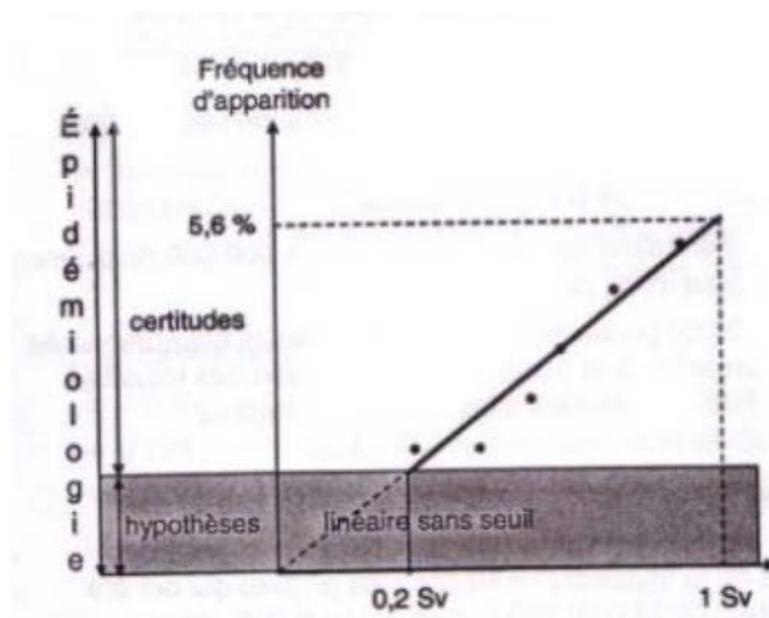


Figure 1: courbe des effets des rayons X (8).

2.2.3.2 Les effets déterministes

Les effets déterministes ou non aléatoires apparaissent à partir d'une dose seuil, ils sont en général précoces mais peuvent aussi être tardifs. Au dessus du seuil tous les individus sont atteints, dans la courbe de la figure 1 cela correspond à la zone certitude. En radiographie diagnostique, ce seuil n'est jamais atteint si on respecte les principes de radioprotection.

2.2.3.3 La dose efficace (7)

Pour obtenir la dose efficace, il faut partir de la source de radioactivité dans notre cas c'est une source de rayon X. Une certaine quantité d'énergie est déposée par unité de masse par le rayonnement ionisant on appelle cela la dose absorbée. Sur cette dose absorbée s'appliquent des facteurs de pondération propre à chaque rayonnement ionisant. En fonction des particules qu'il émet, cela nous donne la dose équivalente notée H. La dose efficace est la somme des doses équivalentes pondérée par des facteurs de sensibilité tissulaire noté W_t , chaque tissu a son propre facteur. Par exemple, dans la zone qui nous intéresse on a les glandes salivaires avec un W_t de 0,01 ou le cerveau pour le scanner par exemple qui a un W_t à 0,01.

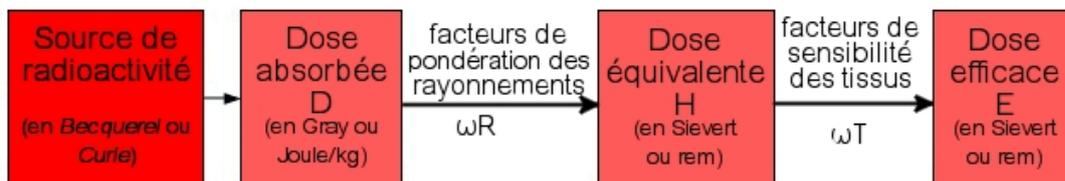


Figure 2: schéma représentant la modification des doses reçues.

La dose efficace est donc la somme de nombreux facteurs. Si on augmente la durée d'exposition aux rayons X on augmente la dose absorbée, donc la dose efficace augmente aussi. Quand le champ de vue augmente, il y a plus de tissus inclus dans le champ, donc plus de facteurs de pondération tissulaire ce qui entraîne une augmentation de la dose efficace. L'irradiation occasionnée varie donc en fonction des appareils, du type de champ et des différents paramétrages choisis c'est à dire l'intensité et le voltage.

La commission internationale de protection radiologique modifie régulièrement les tissus concernés par les rayonnements ionisants et modifie aussi les facteurs de pondération dans un sens toujours plus pessimiste. Les glandes salivaires et le cerveau ont ainsi été rajoutés dans la version "Draft 2005".

Source	Dose efficace μSV (environ)
Panoramique dentaire numerique	15–20
Status long cone 21 poses numerique	100
Dentascanner non optimise	600–1300
Dentascanner optimise	60–210
Cone beam	20–600

Figure 3: tableau représentant les doses efficace des différents système radiographiques utilisé en endodontie, mise à part la rétro-alvéolaire (9).

On peut observer dans le tableau de la figure 3 les différences de dose efficace en fonction du type d'appareil utilisé et les rapports entre eux.

Il existe de nombreux Cone Beam, de nombreux scanners, c'est pourquoi on comparera des valeurs moyennes. D'après de nombreux auteurs il existe un rapport entre 2 et 12 entre la dose efficace du Cone Beam et celle du scanner (9). De plus, en endodontie on aura tendance à privilégier les Cone Beam à petit champ or les petits champs, sont les Cone Beam les moins irradiants. C'est pour cela que le Cone Beam est la technique d'imagerie sectionnelle la plus utilisée en endodontie ce qui répond de plus au principe d'optimisation.

En prenant en compte seulement les résultats du Cone Beam à petit champ, si on compare avec une radiographie panoramique il y a un coefficient multiplicateur compris entre 2 et 27 pour les doses efficaces. En ce qui concerne les radios rétro-alvéolaires le coefficient multiplicateur est compris entre 6 et 130 environ (10). Cependant si on réalise un status long cône avec 14 radiographies rétro-alvéolaires la dose efficace passe alors à 56 μSv , ce qui est semblable à la dose efficace des Cone Beam les moins irradiants. La question de réaliser un cone beam plutôt qu'un status va alors se poser, c'est peut-être l'avenir en parodontologie.

Pour conclure sur les doses efficaces on note que le CBCT est certes plus irradiant que la radio rétro-alvéolaire et la panoramique mais qu'il est nettement inférieur au scanner.

2.3 Les différents types de radiographies utilisées en endodontie.

Deux grandes classes de radiographies se distinguent en odontologie. Il y a les radiographies en 2D types rétro-alvéolaire et orthopantomogramme, et les radios en 3D type CBCT et scanner. Leurs applications sont différentes mais peuvent se compléter. Dans cette partie ne seront développées que les radiographies en 2D, les radiographies en 3D seront développées par la suite.

2.3.1 La rétro-alvéolaire

La radiographie rétro-alvéolaire est un examen complémentaire, elle ne se substitue pas à l'examen clinique. Cependant sa pratique est pluriquotidienne. Elle donne une image à haute résolution et est indispensable dans de nombreux domaines de l'endodontie. Elle est la radiographie de première intention pour les traitements endodontiques. Elle est le plus souvent simple à réaliser et nous apporte de nombreuses informations sur les dents et leur environnement. La rétro-alvéolaire reste cependant la représentation 2D d'une réalité en 3D. On a donc une superposition des structures incluses dans un volume 3D sur un plan.

On la réalise grâce à un tube de Coolidge qui émet des rayons X qui traversent la matière puis sont arrêtés sur un capteur. L'image alors formée sur ce capteur est le résultat des différents niveaux d'atténuation des rayons X par la matière.

Cependant, de nombreux paramètres entrent en jeu pour obtenir une image sans déformation. Pour éviter le grandissement de la réalité, il faut minimiser la distance foyer/objet. Le film ou l'objet doit être perpendiculaire au faisceau pour éviter la déformation de l'objet.

C'est pour cela que la technique des plans parallèles avec angulateur ou porte film est la plus souvent utilisée. Cette technique permet d'éviter les erreurs d'angulation qui peuvent être responsables de chevauchement et donc de perte d'information. Elle permet d'obtenir une image de haute qualité qui est standardisée et reproductible, de plus le ratio couronne/racine est préservé.

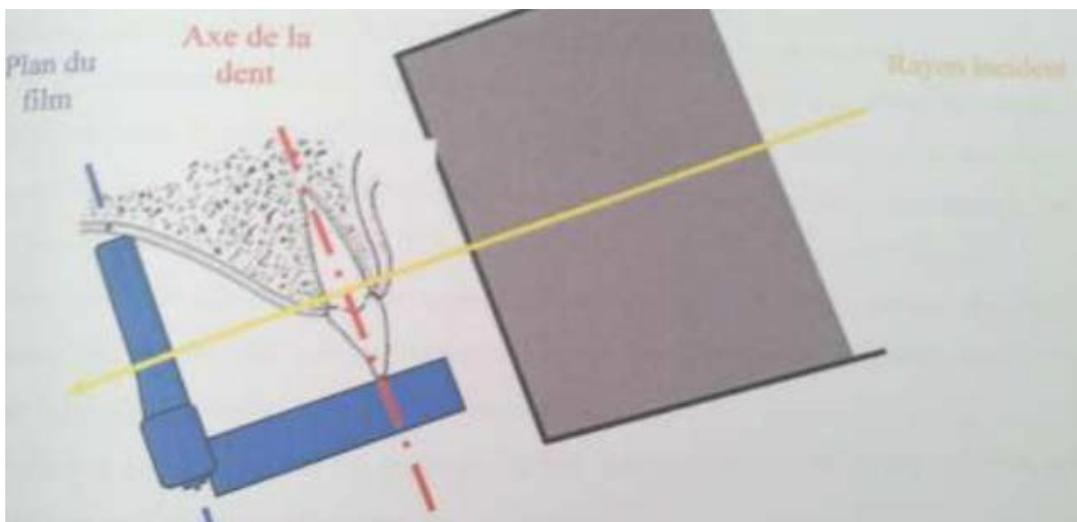


Figure 4: schéma montrant le technique des plans parallèles (11).

Il y a une autre technique qui est celle des plans bissecteurs. Elle est plus complexe à mettre en œuvre, car on ne peut pas s'aider d'angulateur. Il existe cependant des portes films mais sa reproductibilité est moins évidente. Elle est indiquée dans les cas où la technique des plans parallèles n'est pas réalisable, par exemple si le patient a un palais plat. Cependant le processus zygomatique est projeté sur la zone apicale à étudier si on utilise la technique des plans bissecteurs, ce qui complique l'analyse de la zone apicale qui est essentielle en endodontie(12).

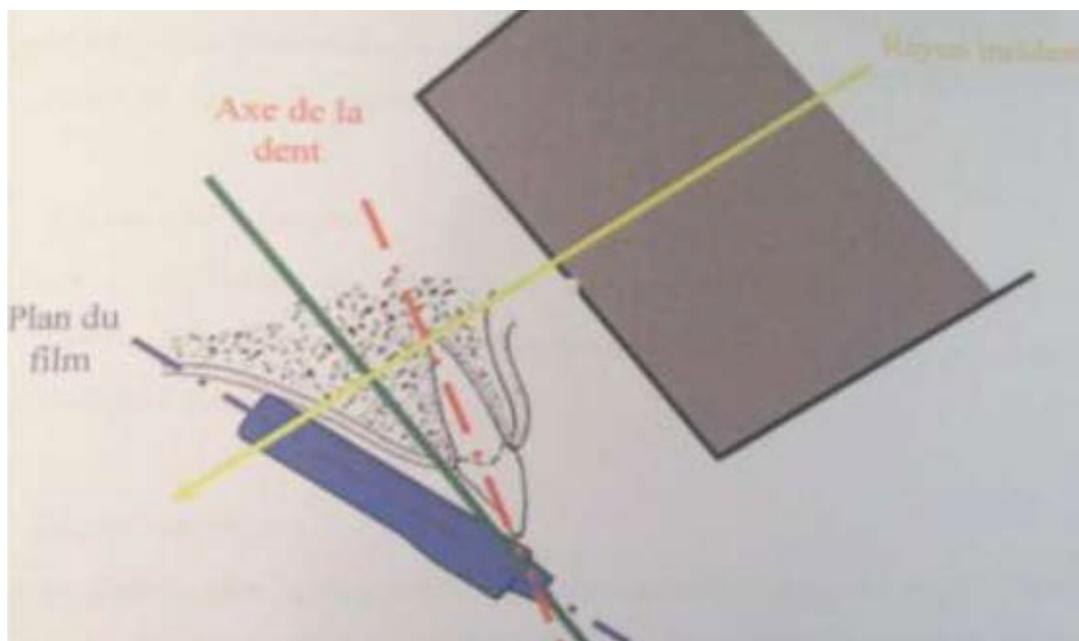


Figure 5: schéma montrant la technique de Dieck dite de " la bissectrice" (11).

2.3.1.1 Les capteurs intra-buccaux (13,14)

Il existe deux types de capteurs à notre disposition, les capteurs dit de technique indirecte souvent appelés plaques au phosphore et les capteurs numériques dit de technique directe plus souvent nommés CCD et/ou CMOS.

Les capteurs numériques : Ils permettent l'obtention directe du cliché sur un écran d'ordinateur, c'est pour cela qu'ils sont dit de technique directe. Le capteur est placé dans la bouche du patient, les facteurs d'acquisition sont sélectionnés puis le rayonnement est déclenché. Grâce à sa constitution CDD et/ou CMOS le rayonnement X est transformé en un signal lumineux qui est quantifiable par le CCD. Auparavant les capteurs étaient reliés à un ordinateur à l'aide d'un fil, maintenant le capteur peut être connecté en wifi à l'ordinateur ce qui limite la présence du fil. Cela permet l'obtention de l'image sur l'écran.

Les plaques au phosphore : elles sont dites de technique indirecte car la visualisation du cliché nécessite une étape intermédiaire. Les plaques au phosphore sont placées en bouche après sélection des paramètres d'exposition puis le rayonnement est déclenché. Elles doivent ensuite passer dans une unité de lecture qui révèle le cliché sur un écran.

Les deux systèmes ont chacun leurs avantages et leurs inconvénients. Les capteurs directs sont plus rigides et plus petits, ce qui peut compliquer leur manipulation et ainsi augmenter le nombre de radios nécessaires au diagnostic. Cependant la chaîne de formation de l'image est beaucoup plus rapide et les images semblent être de meilleure qualité. Les capteurs

indirects, eux, ont l'avantage de ressembler aux films argentiques dans la technique de réalisation. Ils sont aussi plus grands et peuvent se plier légèrement ce qui facilite la prise de la radiographie. Cependant ils semblent être moins précis que les capteurs CCD.

2.3.1.2 Les angulateurs

Ce sont des dispositifs quasi obligatoires en endodontie. Il existe des angulateurs adaptés à la technique numérique directe et d'autre adaptés à la technique numérique indirecte.

Ils ont de nombreux avantages :

- Ils permettent un positionnement exact du film par rapport à la dent, il n'y a plus de torsion du film et pas de distorsion de l'image.
- Il n'y a plus besoin d'évaluer visuellement l'alignement entre le tube applicateur de faisceau, la dent et le capteur.
- On a une radiographie qui peut quasiment être standardisée.

L'angulateur permet d'utiliser la technique des plans parallèles de manière simple. Un porte-film est relié à un anneau de collimation par une tige guide, ce qui permet de paralléliser l'ensemble tube applicateur de faisceau-capteur. Il est cependant plus compliqué d'utiliser des angulateurs avec les capteurs RVG, de part leur manque de souplesse et la présence du câble.

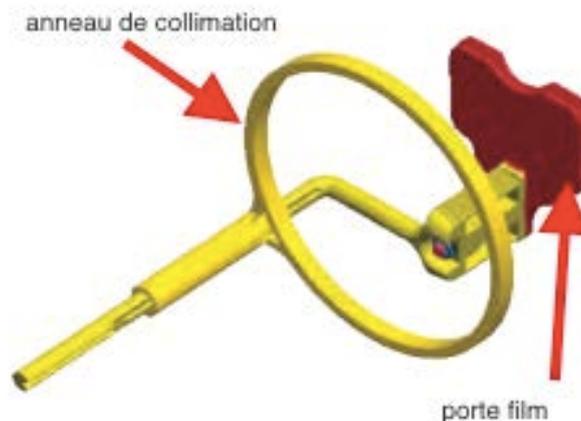


Figure 6: exemple d'un angulateur (Kerr).

2.3.2 La radio panoramique

Elle est aussi nommée orthopantomogramme. C'est une radiographie de première intention, elle sert de « débrouillage » car on peut observer toutes les structures et ne pas se focaliser uniquement sur les dents. On peut ainsi comparer le côté gauche avec le droit, vérifier l'intégrité des articulations temporo-mandibulaires par exemple. Un des inconvénients de la radiographie panoramique est la présence d'artéfact cinétique souvent nombreux, du fait de la non immobilisation totale du patient lors de la radio. Si le patient

bouge lors du cliché on a la présence d'un flou cinétique au moment du mouvement mais la netteté de l'image n'est pas modifiée avant et après cet endroit (3). C'est une radio qui n'est donc pas adaptée aux enfants ou aux personnes avec des problèmes neurologiques tels que la maladie de Parkinson par exemple. De plus, la définition de la radiographie panoramique est nettement inférieure à un cliché rétro-alvéolaire, ce qui ne lui permet pas d'être utilisée en endodontie, et on a comme pour la rétro-alvéolaire, une compression de l'anatomie dans le plan vestibulo-lingual qui empêche la bonne visualisation des deux racines mésiales d'une 36 par exemple.



Figure 7: radiographie panoramique

Voici une radiographie panoramique, elle peut mettre en évidence certaines lésions osseuses, ou la présence de lésions carieuses par exemple mais ne peut pas être utilisée pour des suivis de traitement ou pour la réalisation de pulpectomie.

Sa résolution n'est pas suffisante et sa dose efficace est supérieure à celle d'une rétro-alvéolaire, d'après les principes de radioprotection elle n'est donc pas justifiée pour la réalisation d'acte endodontique.

III - Les limitations du système 2D (15).

3.1 La 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 le sens vestibulo-lingual ou vestibulo-palatin, cela implique une moins bonne caractérisation des dents ou des structures avoisinantes dans ce plan. Les caractéristiques des dents ou des tissus alentours ne sont observables que dans le plan mésio-distal.



Figure 8: exemple d'une radiographie rétro-alvéolaire prise avec un angulateur.

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.

On a cependant la possibilité d'excentrer nos clichés radiographiques, ce qui permet, certes dans une moindre mesure que le CBCT, de dissocier certaines superpositions de structures et ainsi de faciliter l'analyse et l'interprétation des images obtenues. Par exemple, pour dissocier les deux canaux mésiaux sur la figure 8, on peut anguler le faisceau de rayon X en mésial ou en distal par rapport au grand axe de la dent. La règle de Clark si on place le tube en distal, et celle de Walton si on le place en mésial, nous explique pourquoi, en suivant la règle de l'objet vestibulaire. (Figure 9)

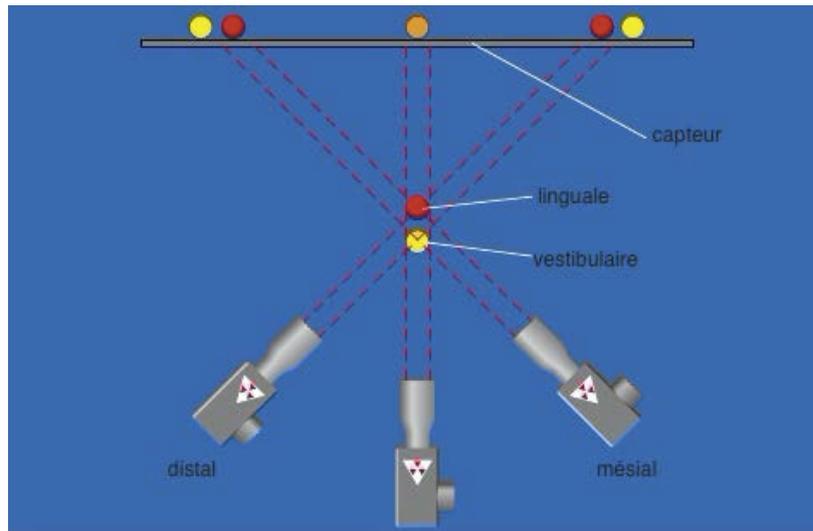


Figure 9: schéma représentant la règle de l'objet vestibulaire (12).

Grâce à la règle de l'objet vestibulaire, si on place le tube de manière orthogonale à la dent et au capteur alors il y a une superposition des structures et des racines par exemple. Si on réalise une autre radiographie excentrée en mésial, on a alors une dissociation des deux racines et on peut alors observer les deux canaux distinctement. Les canaux se déplacent dans le même sens que les rayons X, le canal vestibulaire se retrouve en distal sur la radiographie et le canal lingual est en mésial.



Figure 10: radiographie orthocentre et excentré localisé sur une 24 mettant en évidence les 2 canaux (12).

Cela reste toujours de la 2D mais cela peut permettre d'objectiver certain cas. Une connaissance fine des structures traversées s'avère cependant nécessaire (12).

3.2 La distorsion géométrique

A cause de la complexité du squelette maxillo-facial, les radiographies forment une reproduction de l'anatomie qui n'est pas assez fiable pour être évaluée. Comme vu précédemment, il existe deux méthodes pour prendre des rétro-alvéolaires, la technique des plans parallèles est plus précise que la technique des plans bissecteurs pour reproduire de manière consciencieuse l'anatomie apicale. Cependant, cette technique où le capteur doit être parallèle au grand axe de la dent et où les rayons X doivent être perpendiculaires à celle-ci et au capteur comme montré dans la figure 11 est possible dans la région molaire inférieure, mais elle est plus complexe dans certaines situations.

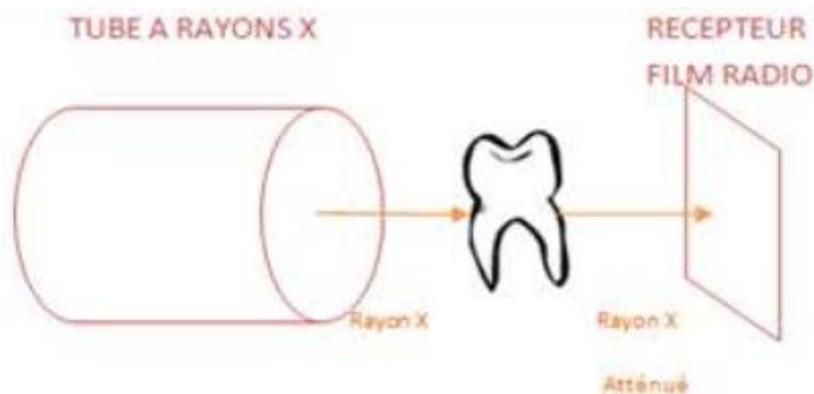


Figure 11: schéma expliquant la position idéale des différents éléments (11).

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. C'est ce manque de parallélisme qui créera de la distorsion ou aberration géométrique.



Figure 12: exemple d'une rétro-alvéolaire prise chez un patient qui a une voûte palatine peu profonde (15).

De plus pour les molaires maxillaires qui ont des racines divergentes, la plupart du temps, il est souvent impossible que les rayons X soient parfaitement perpendiculaires à chaque racine et que chaque racine soit parallèle au capteur. Dans ces cas, il est quasiment impossible d'éliminer le phénomène de distorsion géométrique.

Le phénomène de distorsion géométrique peut créer une sur-évaluation ou sous-évaluation des lésions apicales par exemple à cause du non parallélisme.

3.3 Le bruit anatomique

Certaines caractéristiques anatomiques peuvent masquer la zone à étudier et ainsi entraîner une difficulté dans l'interprétation des radiographies, c'est le bruit anatomique.

On peut avoir des images radio-opaques, à cause de l'os zygomatique par exemple dans la zone maxillaire postérieure, mais aussi des images radio-claires dues au sinus maxillaire dans la région molaire maxillaire, ou à cause des foramens par exemple le foramen nasopalatin dans la région incisive maxillaire.

Le bruit anatomique dépend de plusieurs facteurs :

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

La région molaire maxillaire est la région la plus complexe à analyser du fait de l'os zygomatique, du sinus maxillaire, des racines divergentes qui combinées peuvent entraîner beaucoup de bruit anatomique. Goldman et *al* (1972) ont d'ailleurs trouvé dans une étude que cette zone était la zone où il y avait le plus de désaccord sur la présence ou non de lésion péri-apicale entre examinateurs.(16)



Figure 13: radiographie rétro-alvéolaire d'une molaire maxillaire droite (15).

La flèche désigne t'elle le sinus maxillaire ou une image apicale ? Voici un exemple de bruit anatomique.

3.4 La perspective temporelle

La radiographie représente une situation à un moment précis. Si on veut suivre le résultat et la cicatrisation d'une LIPOE par exemple, il faudra reprendre des radios à 1 ans et 4 ans d'après l'arbre décisionnel de Reit. Dans ce cas la reproductibilité de la radiographie est indispensable pour pouvoir comparer les radio pré-traitements et post-traitements. C'est pour cela que les radiographies doivent être standardisées et acquises dans des conditions similaires, respect de la même dose d'irradiation, du même contraste. Une radiographie mal standardisée peut montrer une sur ou sous estimation de la guérison.

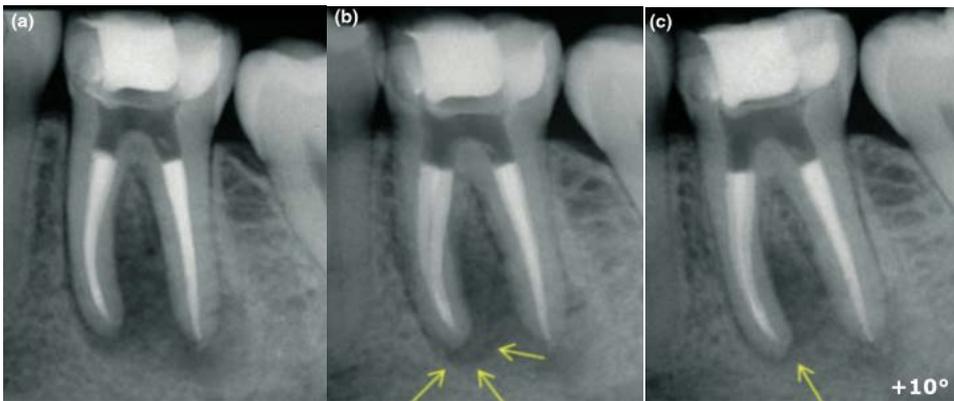


Figure 14: radiographie mettant en évidence la perspective temporelle (15).

Voici ci-dessus une illustration, l'image a est une radiographie prise au moment de l'obturation radiculaire. La b représente la même dent 6 mois après l'obturation prise dans les mêmes conditions que la précédente. La c quand à elle a été prise avec une angulation de 10° du tube radiogène par rapport aux conditions standardisées de la a et b.

On peut noter que sur la radio b il n'y a pas de signe de guérison, la lésion apicale est stable alors que sur la radio c, la lésion semble régresser.

Pour remédier à cela, une technique de radiographie avec la mise en place d'un élastomère pour réaliser un mordure de repositionnement peut être réalisé. Ce même bloc ainsi formé avec l'élastomère et le porte film sera utilisé à chaque radiographie. Cependant, même avec ce procédé quelques radiographies présentent des défauts, de plus celui-ci ne peut être utilisé sur des enfants ou des adolescents dont la dentition est en évolution.

IV - Le Cone Beam Computed Tomography (CBCT)

4.1 Historique

Le Cone Beam Computed Tomography aussi appelé tomographie volumique à faisceaux coniques (TVFC) en français, a été introduit sur le marché européen en 1996, il s'agissait du NewTom QRDTV 9000 (QR, Verone, Italie). À l'origine il était destiné à l'implantologie et à la détection des anomalies positionnelles. Depuis, il a subi de nombreuses évolutions qui lui permettent maintenant d'être utilisé dans d'autres domaines de l'odontologie dont l'endodontie (17).

4.2 Principes d'acquisition et d'élaboration de l'image(18,19)

Le Cone Beam est un système de radiographie spécifique au système maxillo-facial qui permet l'obtention d'images dans les 3 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, opposés et alignés entre eux. Ils effectuent une rotation unique qui est de 180° ou de 360° autour de la tête du patient qui forme un axe de rotation. À chaque degré de rotation, le tube émetteur de rayon X envoie une impulsion de rayon X qui traverse le volume à étudier et ressort atténué, 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.

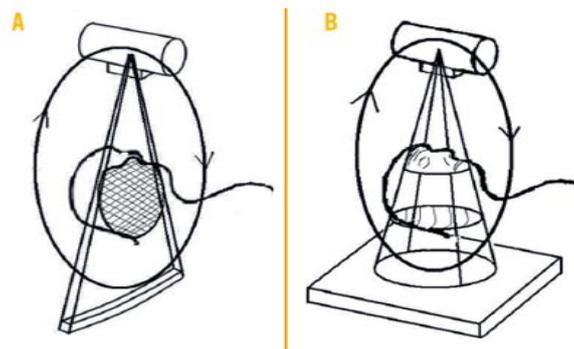


Figure 15: schéma représentant les différentes forme de faisceau de rayon X

*La figure A représente le faisceau de rayon X émis par un scanner.
La figure B représente le faisceau de rayon X émis par un Cone Beam*

Ces données brutes sont ensuite transmises à un ordinateur, cela permet la reconstruction volumique de l'objet étudié grâce à des algorithmes mathématiques. On peut ensuite observer l'image reconstruite sur un ordinateur.

Il y a donc 4 étapes clés lors de la réalisation d'un Cone Beam.

4.2.1 La configuration du Cone Beam

Il s'agit de la partie la plus importante, la résolution de l'image est dépendante de cette configuration. La qualité du rayonnement est déterminée par la tension qui s'exprime en Kv et par l'intensité du signal qui s'exprime en mA. Ces deux paramètres peuvent être modifiés indépendamment l'un de l'autre sur de nombreux appareils (3).

Il faut aussi choisir la taille du champ, elle doit couvrir la zone cible pour obtenir l'information souhaitée mais ne pas être trop grande dans un souci d'optimisation de la radiographie et de perte d'informations.

4.2.2 La détection de l'image

La détection de l'image se fait grâce à un récepteur ou capteur qui est la somme de nombreux détecteurs disposés de façon matricielle ($N \times N$ ou $N \times M$). Chaque détecteur enregistre les incidences des photons reçus. Il reçoit une certaine charge et transmet un signal à l'ordinateur. L'image est obtenue grâce à la transformation des valeurs numériques de chaque voxel en niveaux de gris. À chaque degré de rotation, les rayons X sont recueillis sur le détecteur, on appelle ce phénomène : la projection. L'ensemble des projections recueillies forme ainsi les données brutes (Raw data). Ces données brutes sont stockées et transformées par la suite en volume exploitable grâce à la reconstruction des images (20).

4.2.2.1 Les récepteurs

Actuellement, il existe deux types de récepteurs différents sur les CBCT. Les récepteurs amplificateurs de brillance et les récepteurs plans qui sont apparus plus récemment, ils permettent ainsi d'obtenir une meilleure résolution spatiale.

4.2.2.1.1 Le récepteur plan

Le récepteur plan ou « flat panel » en anglais, se compose de deux éléments. Il y a tout d'abord une couche de détection composée de Césium de Thallium puis un tableau photo-senseur qui est composé de photodiodes. La couche de détection est un scintillateur qui convertit les rayons X en un signal optique. Ensuite les photodiodes vont convertir ce signal optique en un signal électrique qui sera à son tour lu par l'ensemble du dispositif de communication. Ce récepteur est le plus rapide, il permet l'obtention d'une image presque en temps réel. Il limite aussi le phénomène de distorsion géométrique. Son inconvénient est qu'il coûte cher (21).

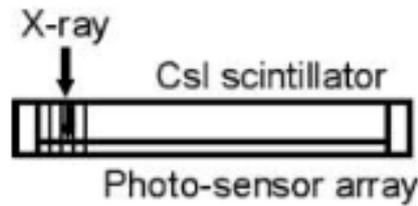


Figure 16: schéma représentant le fonctionnement d'un récepteur plat (21).

4.2.2.1.2 Le récepteur amplificateur de brillance

Le récepteur amplificateur de brillance se compose d'un système d'intensification des images de rayon X produites qui est un écran en phosphore, puis d'éléments optiques telles que 2 lentilles séparées par un iris et pour finir un capteur CCD. Les rayons X sont transformés en un signal optique par la plaque au phosphore, ce signal optique est ensuite transformé en électrons par la photocathode. Les électrons sont alors accélérés par un champ électrique dans l'intensificateur d'images et ainsi reconvertis en signal optique par l'écran au phosphore de sortie. Les éléments optiques permettent d'ajuster l'intensité du signal optique qui peut alors être détecté par le capteur CCD et transformé en image optique. Ce système sera préféré en cas de faible dose d'irradiation car il aura une meilleure efficacité quantique de détection. Cependant, le risque de distorsion géométrique est plus élevé pour ce récepteur, la chaîne d'acquisition de l'image est aussi plus complexe et il nécessite beaucoup de réglages analogiques (21).

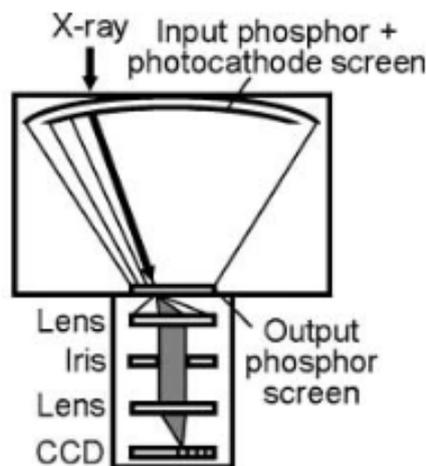


Figure 17: schéma représentant le fonctionnement d'un récepteur amplificateur de brillance (21).

Pour conclure sur les récepteurs, on peut noter que l'image obtenue avec les récepteurs plans contient moins de bruit que les images obtenues avec le récepteur à amplification de brillance. Leur efficacité quantique est ainsi environ 2 à 3 fois supérieures. En endodontie, on préférera utiliser des Cone Beam qui ont un récepteur plan.

4.2.3 La reconstruction de l'image (18,22)

Les données recueillies par le détecteur sont dites « brutes », elles ne sont pas exploitables dans l'état. Elles sont transmises à un système informatique qui grâce à des algorithmes reconstruit une image analysable. Il existe de nombreuses possibilités de reconstruction, elles peuvent être primaires, secondaires ou tridimensionnelles.

4.2.3.1 Les reconstructions primaires

Les reconstructions primaires se divisent en deux catégories, les reconstructions bidimensionnelles « directes » et les reconstructions DICOM (Digital Imaging COmmunications in Medicine).

Les reconstructions « directes » sont obtenues à partir des données brutes. Elles permettent la visualisation d'une image en 2D dans les trois plans de l'espace, axiales, frontales et sagittales.

Les reconstructions DICOM sont des images reconstruites à partir du plan axial, cela permet par la suite de réaliser des reconstructions secondaires grâce à l'utilisation de logiciels spécialisés.

Le DICOM est aussi un format d'imagerie standardisé, il a été créé en 1985. Toutes les machines d'imagerie sont au format DICOM. Cela permet à n'importe quel utilisateur ou à toute personne possédant un DICOMviewer de lire les images de la radiographie sans forcément posséder une machine d'imagerie 3D. Cela permet un échange facile des données.

4.2.3.2 Les reconstructions secondaires

Elles sont donc obtenues grâce aux reconstructions DICOM, elles sont de deux types : multiplanaires ou dentascanner.

- Les reconstructions multiplanaires (ou MPR):

Elles sont bidimensionnelles comme pour les reconstructions directes, mais elles sont aussi en 3D. Elles consistent en une reconstruction de coupe dans des plans choisis.

- Les reconstructions dentascanner (ou curved MPR) :

Elles sont réalisées selon les plans axiaux, panoramiques et orthogonaux à la crête alvéolaire, cette dernière nous permet d'obtenir des sections de la mandibule et est surtout intéressante en implantologie. Ces reconstructions peuvent aussi nous permettre d'obtenir des reconstructions 3D à la demande.

En endodontie, on préférera utiliser des reconstructions secondaires ou « rétroreconstructions ». Elles sont obtenues à partir des reconstructions primaires axiales. La rétro-reconstructions permet l'obtention d'images en ultra-haute résolution, avec des voxels de 70 micromètres d'arête. Cependant, ces images ainsi obtenues nécessitent des outils de filtrage du bruit plus perfectionnés. On peut voir sur les figures ci-dessous l'importance que cela peut avoir en endodontie pour objectiver la présence du canal ou pour la détection de fracture par exemple.

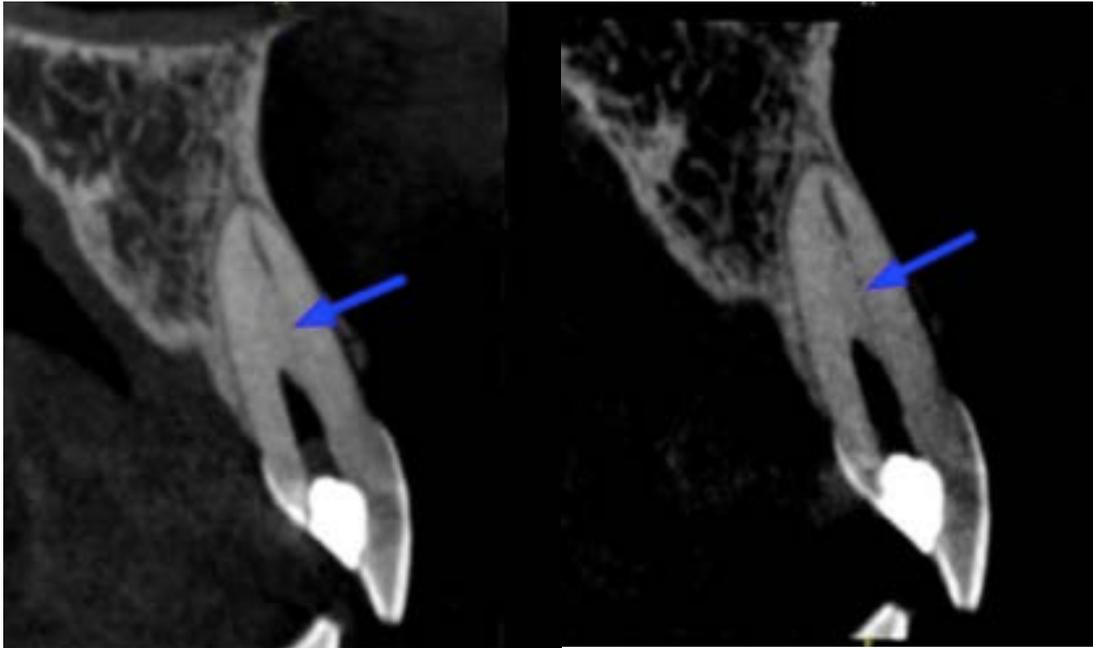


Figure 18: radiographie mettant en évidence les différences entre deux résolutions de Cone Beam (18).

*La première figure est en haute résolution à 125 micromètres.
La deuxième figure est elle en ultra haute résolution à 80 micromètres.*

4.2.3.3 Les reconstructions tridimensionnelles

Elles sont surtout exploitées en implantologie, cette reconstruction a une visée chirurgicale pré et per-opératoire. Elle permet de visualiser les rapports entre les dents et les structures anatomiques comme le nerf alvéolaire inférieur par exemple et permet la planification implantaire.



Figure 19: représentation d'une reconstruction tridimensionnelle (18).

4.2.4 L'affichage de l'image

Les images ainsi obtenues seront visualisables sur un ordinateur et exportables au format DICOM. Cela permet un échange entre confrère à partir de n'importe quel type d'appareil vers n'importe quel ordinateur.

On obtient des images au format 1/1 c'est à dire que 1 sur l'image représente 1 dans la réalité.

4.3 Les différents types de Cone Beam.

Il existe de nombreux appareils Cone Beam, ils peuvent varier par la position du patient. Le patient peut être assis, il peut être debout comme pour le Cone Beam de la figure 20. Le Cone Beam ressemble alors à une panoramique et ne prend pas plus de place, ce qui a facilité son expansion dans les cabinets d'omnipraticiens. Le patient peut aussi être allongé comme pour le Newtom 5G, il se présente alors 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.

Dans l'ordre, c'est la position allongée qui génère le moins d'artefacts cependant les patients claustrophobes peuvent ressentir un sentiment de malaise dans ce Cone Beam. Ensuite c'est le cone beam réalisé assis et pour finir le Cone Beam réalisé debout.

Une des contre indications du Cone Beam est donc qu'il ne peut pas être réalisé sur des jeunes enfants qui ne pourraient pas rester immobiles plus de 15 secondes. Il y a aussi les personnes souffrant de problèmes neurologiques, tels que la maladie de Parkinson par exemple ou le fin tremblement de repos entrainerait des artefacts cinétiques. Il en est de même pour les patients stressés ou angoissés, leur nervosité pourrait entraîner des

mouvements qui parasiteraient la bonne acquisition des données. De plus, certains Cone Beam debout ne sont pas accessibles aux personnes en fauteuil roulant, l'ensemble générateur détecteur ne descend pas assez bas pour permettre la mise en place du patient (3).



Figure 20: exemple de réalisation d'un Cone Beam grâce au Orthophos SL 3D. (Sirona.fr)



Figure 21: photo du Newton 5G (Newtom.it)

Voici l'exemple d'un Cone Beam allongé.

Les Cone Beam varient aussi par leur champ d'exploration, on peut les classer en trois catégories (23).

- les petits champs, qui sont compris entre 4 et 8 cm d'arêtes, leur résolution spatiale est comprise entre 76 et 150 micromètres.
- Les moyens champs, qui ont une arête comprise entre 9 et 14 cm, leur résolution spatiale est comprise entre 150 et 250 micromètres.
- Les grand champs, qui ont une arête supérieure à 15 cm, cependant ils ont la plus mauvaise résolution spatiale, elle est supérieure à 250 micromètres.

En endodontie on utilisera des Cone Beam à petits champs tels que :

-Le MORITA 3D Accuitomo 170, ces voxels font 80 μm et il propose 9 possibilités de champs de vue à partir de 40*40mm.(24)

-Le CS 8100 3D de chez Carestream Dental qui propose un mode endo HD de 50*50 mm avec une résolution de 75 micromètres.(25)

- Le NewTom VGi evo qui a cependant une moins bonne résolution spatiale que les deux précédents, elle est de 100 micromètres, son petit champ est de 60*60mm (26).

4.4 Cone Beam versus scanner.

Actuellement il existe deux systèmes de radiographie en 3 Dimensions, le Cone Beam et le scanner. L'objectif de cette partie est de comparer les deux pour savoir lequel est le plus susceptible d'être indiqué en endodontie. Il y a de nombreuses différences entre le Cone Beam et le scanner, leurs principes d'acquisition de l'image sont différents.

4.4.1 La résolution spatiale (18,19)

La résolution spatiale est la notion qui désigne la précision de l'image. Le paramètre important à prendre en compte est la taille du voxel, qui est la contraction de volume et pixels. Le voxel est l'unité de base permettant de mesurer la définition d'une image en 3D.

La résolution spatiale d'une image ne dépend que de la taille des voxels et est indépendante de l'orientation des coupes. La résolution spatiale varie donc de manière proportionnelle avec le nombre de voxels. Plus il y a de voxels et plus la résolution spatiale est élevée et inversement. La taille et la forme des voxels a aussi une importance, plus la taille des voxels est petite plus la résolution est importante. La taille du champ à analyser est aussi un facteur à prendre en compte, la résolution est plus importante sur un petit champ que sur un grand champ. En effet la dimension des voxels est plus grande sur un grand champ que sur un petit.

Le Cone Beam est dit isotropique car les 3 arêtes du voxels sont identiques, le voxel est donc un cube. Le scanner quant à lui est dit anisotropique, une des trois arêtes n'a pas la même dimension que les deux autres, le volume formé est donc un parallélépipède rectangle. Cela 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.



Figure 22: isotropie vs anisotropie

Pour conclure sur la résolution spatiale, on peut noter que le Cone Beam a une meilleure résolution spatiale que le scanner de par son isotropie et la taille de ses arrêtes qui est nettement inférieure à celle du scanner.

En endodontie on préférera donc utiliser le Cone Beam.

4.4.2 Le bruit (11,27)

Le bruit est la présence d'information parasite qui viennent perturber l'image et ainsi créer un flou sur l'image. Il s'oppose au signal, on a ainsi des voxels qui fournissent des informations et d'autres qui sont des voxels parasites cela nous donne un rapport, le rapport signal (voxels qui donne les information)/ bruit (voxels parasites). Cette relation entre le signal et le bruit se nomme, le rendement quantique. L'efficacité de la détection quantique se définit ainsi $DQE = S/B$

Le bruit a plusieurs origines, c'est en général la somme de différents bruits créés lors de la formation des images. Il existe deux types de bruits, le bruit photonique ou quantique et le bruit du système.

Le rapport signal/bruit est influencé par plusieurs facteurs :

- La taille des voxels, pour réduire le bruit on peut augmenter le taille des voxels cependant on a une reconstruction qui nous donne moins de détails.
- On peut aussi réduire le bruit en améliorant la qualité des capteurs, et en améliorant la qualité de la chaine de transmission.
- L'intensité et l'ampérage, si on augmente l'intensité du signal on a ainsi un meilleur rapport signal/bruit mais en contrepartie on augmente la dose d'irradiation délivrée au patient. Le rapport est inversement proportionnel aux constantes radiologiques.

4.4.3 La résolution en densité(22,27)

La résolution en densité est aussi appelée contraste, il s'agit de la capacité d'un système à distinguer deux structures de densité proche.

Le Cone Beam consiste en une simple modulation du noircissement et du contraste, on n'a pas une véritable échelle d'atténuation des niveaux de 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, cela va donc créer une diminution du rapport signal/bruit.

Le Cone Beam est indiqué pour l'étude des tissus durs tels que l'os ou la dent, ce qui nous intéresse en endodontie. Mais il n'est pas indiqué pour l'étude des tissus mous qui reste, elle, plutôt le domaine de l'IRM. Cela pourrait peut être changer, actuellement Actéon tente de calibrer les radios densités du Cone Beam en échelle de densité comme pour le scanner, ce qui pourrait élargir le champ d'action des Cone Beam (18).

La résolution en densité pourrait être un désavantage pour le Cone Beam comparativement au scanner mais en endodontie l'étude ne porte que sur des structures bien contrastées. En effet la dent, l'os ou le ligament par exemple auront des niveaux de densité différents qui sont facilement visibles en différents niveaux de gris, cela ne pose donc pas de problème.

4.4.4 Les artéfacts

Les artéfacts peuvent avoir plusieurs origines, ils peuvent être créés par un mouvement du patient et sont alors dit cinétiques. Ils peuvent aussi être dus à des éléments métalliques, tel que les implants, les couronnes métalliques et les inlay-cores ou tout tenon métallique. Ces artéfacts peuvent nuire à l'interprétation de l'image, il faut savoir les repérer pour ne pas les confondre avec des lésions (28).

4.4.4.1 Les artéfacts cinétiques (22,27)

Ces artéfacts sont dus à des mouvements du patient lors de l'acquisition des données par le Cone Beam. Ils sont mis en évidence sur l'image par un dédoublement des structures, on a alors une image qui paraît floue, la définition de l'image est ainsi de moins bonne qualité. Plus le champ est petit et donc plus la résolution spatiale est élevée, plus le mouvement nécessaire pour créer un artéfact cinétique est petit. Ce qui signifie que plus la résolution est élevée, plus la stabilité du patient est importante.

Pour lutter contre ces mouvements parasites il existe des solutions, il y a sur les Cone Beam des moyens de contentions. Le but étant de limiter au maximum les mouvements de la tête du patient. Il existe ainsi des appuis frontaux ou des système d'ailettes qui vont venir s'appuyer sur le crâne du patient pour le maintenir. Il peut aussi exister un embout à mordre pour limiter les mouvements de la mandibule, de plus il y a aussi des poignées pour que le patient puisse stabiliser tout son corps. Cependant, comme écrit précédemment, la position allongée reste la meilleure position pour que le patient soit immobile et ainsi limiter la présence d'artéfacts cinétiques.

Dans le but de limiter les artéfacts cinétiques, il faut aussi essayer de réduire le temps d'acquisition. Il est compréhensible que plus la durée est longue plus le risque de micromouvements est élevé. Le scanner de part son temps d'acquisition limité de 1 à 4

secondes environ est plus intéressant que le Cone Beam sur ce point là, qui lui a un temps d'acquisition plutôt aux alentours de 15 secondes.

On peut aussi demander la coopération du patient, on peut lui demander d'essayer de ne pas bouger, de ne pas déglutir, voire même d'essayer de ne pas respirer pendant la réalisation du cone beam, afin de limiter au maximum les micromouvements du corps et ainsi de la zone à étudier.

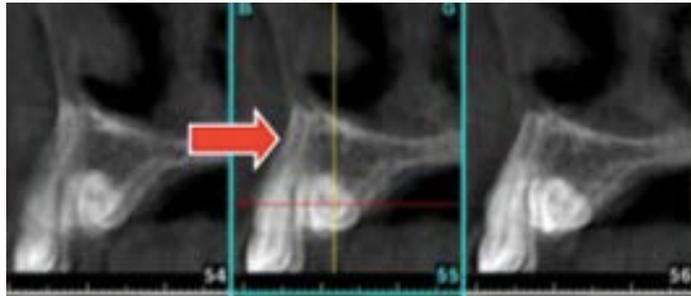


Figure 23: radiographie mettant en évidence la présence d'artefact cinétique (22).

La flèche rouge montre les doubles contours.

4.4.4.2 Les artefacts métalliques (18,22,28)

Ils peuvent être causés par tout élément métallique se trouvant dans la bouche du patient ou même à l'extérieur, on pensera aux boucles d'oreilles par exemple. Les artefacts métalliques sont le résultat de la rencontre entre les rayons X avec des zones de transition de densité trop rapide.

Le faisceau de rayons X est dit poly énergétique, il contient des rayons de basses énergies et des rayons à hautes énergies. Lorsque les rayons de basses énergies rencontrent un objet de forte densité tel que le métal, ils sont atténués en priorité, les rayons X sont donc filtrés. On appelle cela le durcissement du rayon X, les artefacts métalliques sont le plus souvent causés par ce phénomène. Cela se traduit par la présence de stries noires ou blanches, de zones hypo-denses ou plus ou moins intenses qui sont centrées sur les éléments métalliques.

Dans le domaine de l'endodontie, il y a deux types d'artefacts métalliques qui peuvent nous poser problème, ceux dus aux couronnes métalliques et ceux dus aux tenons métalliques ou inlay-cores.

- artefacts dus aux couronnes métalliques :

On note pour ces artefacts la présence de bandes noires ou blanches et parfois mixtes voire « en feu d'herbe ». Ces bandes sont essentiellement dues au phénomène de durcissement du faisceau. Elles sont situées au niveau de la couronne car les faisceaux de rayons X traversent la matière de manière orthogonale.

- artéfacts dus aux tenons métalliques :

Les artéfacts se manifestent par la présence de bandes sombres au niveau du tenon, cela nous pose problème pour la détection des fractures radiculaire horizontales par exemple. Sur la deuxième figure, il est compliqué de poser un diagnostic positif de fracture radiculaire à l'aide de cette image. Cependant, on peut noter la différence avec le scanner qui a une zone noire beaucoup plus grande et où on ne peut pas objectiver la moindre lésion. Il a été montré que le Cone Beam avait un avantage par rapport au scanner en ce qui concerne la réduction des artéfacts métalliques.

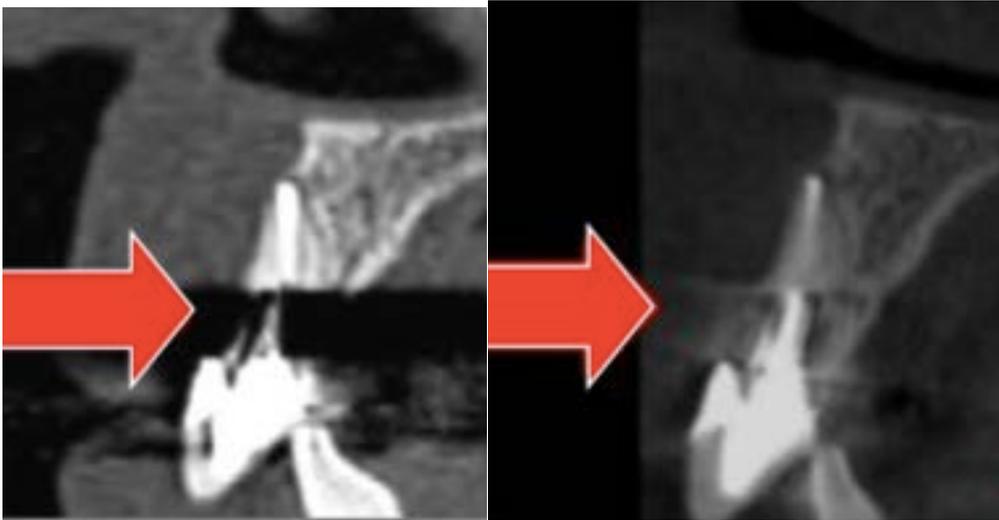


Figure 24: différence entre le scanner et le Cone Beam concernant les artéfacts métalliques (22).

La première figure est réalisée à l'aide d'un scanner, la seconde avec un Cone Beam chez le même patient.

Cependant, pour lutter contre les artéfacts métalliques un algorithme du nom de MARS (Metallic Artefacts Reduction 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 (28).

Seules quelques marques de Cone Beam le proposent dont Sirona et Vatech. D'autres marques ont des systèmes de réduction des artéfacts, mais il s'agit là d'un lissage de l'image formé pour supprimer les bandes sombres, on a donc une diminution de la résolution spatiale et donc de la qualité du diagnostic.

Sur les figures 25 et 26 on peut objectiver cela, la deuxième figure présente beaucoup moins de stries et de bandes sombres que la première.

Le système MARS ne semble cependant pas encore être optimal, en effet Bechara et coll ont montré dans leur étude qu'il pouvait être responsable d'une augmentation du bruit et d'une augmentation du temps de reconstruction de l'image (29).

Il semble nécessaire d'approfondir les études sur cet algorithme, qui peut cependant nous aider dans le diagnostic.



Figure 25: Cone Beam réalisé sans MARS. (Sirona.fr)



Figure 26: Cone Beam réalisé avec MARS. (Sirona.fr)

V - Indications diagnostiques et thérapeutiques.

5.1 Les lésions d'origine endodontique

Les lésions d'origine endodontique sont aussi nommées LIPOE, ce qui signifie Lésion inflammatoire péri radiculaire d'origine endodontique. Cette inflammation peut être aiguë ou chronique et est située autour de l'apex d'une ou plusieurs racines. Elle est la conséquence d'un ensemencement du réseau endodontique par des bactéries. Elle engendre la suppression du ligament alvéolo-dentaire ainsi qu'une destruction de l'os en regard de la lésion (17).

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

Voici d'après une étude réalisée par Estrela et coll la prévalence des découvertes de LIPOE en fonction du type de radiographie utilisé (30). Le CBCT est considéré comme le gold standard de l'étude de par son image en 3D. Dans cette étude, 1508 dents ont été étudiées (523 molaires, 597 prémolaires et 388 canines et incisives) trois observateurs ont analysés les radiographies obtenues et ont utilisé le PAI de Orstavik pour définir le statut péri apical de chaque dent. Les résultats de cette étude montrent que seulement 54,5 % des LIPOE sont correctement identifiées grâce à la rétro-alvéolaire et 27,8% avec la radio panoramique par rapport au Cone Beam.

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

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

AP, apical periodontitis; CBCT, cone beam computed tomography.

* χ^2 test.

Figure 27: tableau montrant la prévalence des LIPOE en fonction du système radiographique utilisé (30).

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

De nombreuses études portant sur le sujet ont été publiées, dont celle de Lofthag-Hansen et coll et celle de Low et coll. Ces deux études aboutissent quasiment au même résultat, c'est à dire respectivement 38% et 34% de différence de détection des LIPOE entre la rétro-alvéolaire et le cone beam en faveur du Cone Beam (31,32).

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

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

- La superposition des différentes structures osseuses telle que l'arcade zygomatique, une corticale osseuse épaisse, peuvent rendre l'identification des lésions complexes au niveau de la racine palatine d'une molaire maxillaire par exemple. Le Cone Beam permet, lui, grâce à ces images dans les 3 plans de l'espace de supprimer cette superposition (17).
- La taille de la lésion est aussi un facteur clé. Les lésions débutantes ne seront pas souvent mises en évidence à l'aide d'une rétro-alvéolaire.
- La localisation de la lésion est aussi un facteur important, qu'elle soit contenue seulement dans l'os spongieux ou qu'elle touche aussi la corticale, elle aura un impact sur sa visualisation radiographique. Les lésions confinées dans l'os spongieux sont plus difficilement mises en évidence par rapport aux lésions qui affectent une partie de la corticale. L'épaisseur de la corticale a aussi une importance. Une lésion d'une taille prédéfinie est visible si la corticale est fine, alors que pour la même lésion la présence d'une corticale épaisse la rend indétectable.
- Le type de dents, les molaires de par leur anatomie, leur nombre important de racines vont compliquer l'analyse. Pour les molaires maxillaires, la présence du sinus peut nous amener à confondre une LIPOE avec le sinus ou laisser passer une LIPOE en pensant que c'est le sinus.

D'après Furhmann et coll, dans une étude *in vitro* qu'ils ont réalisée, seulement une lésion inter-radiculaire qu'ils ont créés artificiellement sur 14 a été détectée par la rétro-alvéolaire alors qu'avec le Cone Beam elles ont toutes été mises en évidence. Cela peut s'expliquer par les chevauchements radiculaires (33).



Figure 28: rétro-alvéolaire d'une incisive centrale maxillaire droite (30).

Voici l'exemple sur la figure 28 d'une rétro-alvéolaire prise avec les techniques des plans parallèles. Sur cette radiographie on peut voir que la 11 est dépulpée et qu'il ne semble pas y avoir de LIPOE, le ligament alvéolo-dentaire semble être en continuité.

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

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

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



Figure 29: Cone Beam de l'incisive centrale maxillaire droite (30).

5.1.1 Le Cone Beam Computed Tomography Peri-Apical Index (CBCT-PAI).

Avant que le Cone Beam n'existe, un index pour caractériser et évaluer la sévérité des LIPOE existait déjà, il s'agissait du Peri-Apical Index (PAI). Cet index a été créé par Brynolf en 1967 et modifié par la suite en 1986 par Orstavik (34).

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

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

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

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

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

Cet indice peut se définir de la manière suivante : il y a un score en 6 points, de 0 à 6 pour définir le diamètre de la lésion et deux facteurs associés qui sont l'expansion à l'os cortical ou sa destruction (35).

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

Figure 30: tableau résumant le CBCTPAI (d'après Estrela et coll)

Voici l'exemple de cette classification pour les prémolaires.

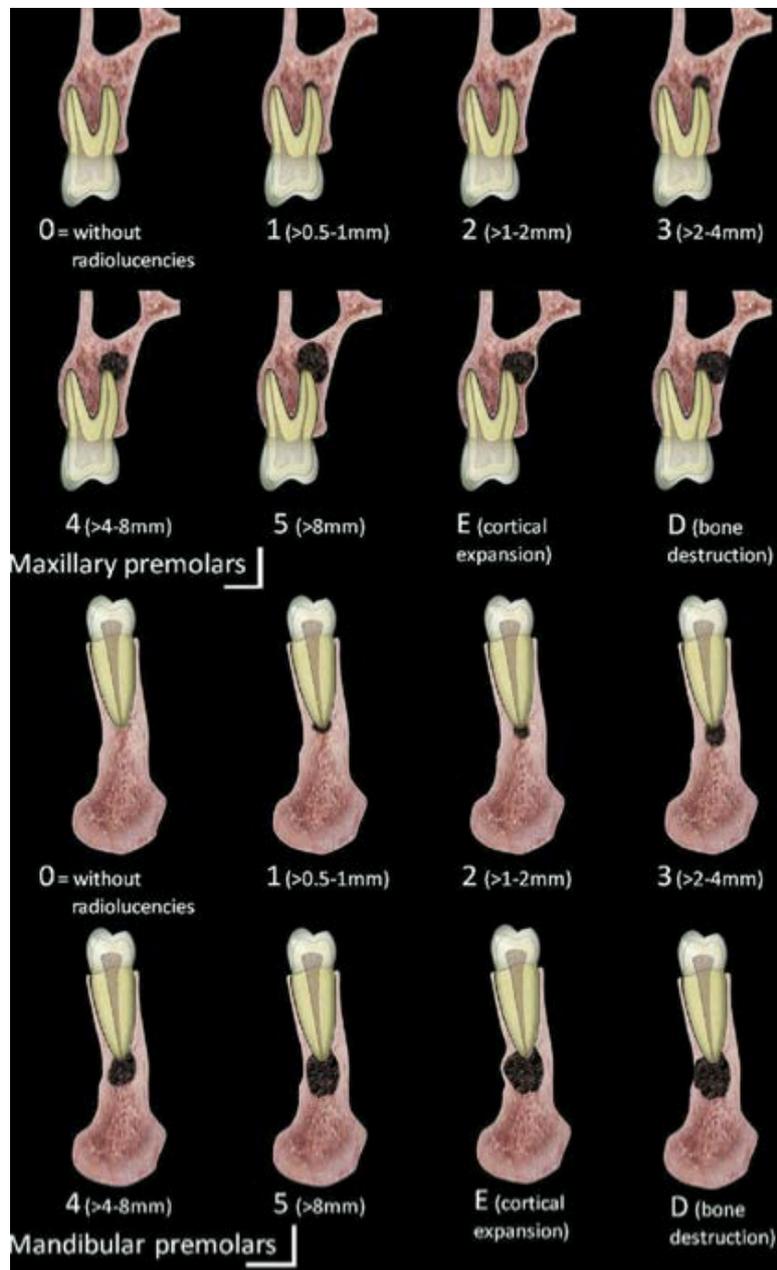


Figure 31: classification du CBCTPAI pour les prémolaires (35).

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

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

5.2 L'analyse de la morphologie canalaire

Le succès du traitement endodontique est basé sur la mise en forme des canaux radiculaires et leur désinfection puis une obturation du système canalaire et de la dent de manière hermétique. Cependant, les canaux ont une morphologie complexe et peuvent énormément varier d'un individu à l'autre et même chez le même individu. C'est pour cela que la visualisation de ce réseau canalaire complexe est indispensable à la réalisation d'un traitement endodontique (36).

En endodontie, pour la visualisation de ce réseau canalaire complexe on peut utiliser la rétro-alvéolaire ou le Cone Beam.

Une étude réalisée par Matherne et coll en 2008 compare la radiographie rétro-alvéolaire et le Cone beam pour la visualisation du nombre de canaux contenus dans des 1ères molaires maxillaires, des 1ères molaires mandibulaires et des incisives mandibulaires. Ils ont ainsi étudié 72 dents humaines extraites, soit 24 par catégorie. Ils ont réalisé des radiographies à l'aide de plaques au phosphore, puis avec des capteurs CCD/CMOS en utilisant la technique des plans parallèles et ensuite réalisé un Cone Beam de chaque dent extraite. Trois endodontistes ont par la suite analysé les radiographies sur un écran d'ordinateur et indiqué combien de canaux possédaient chaque dent selon eux. Les résultats de cette étude nous montre que les évaluateurs n'ont pas réussi à identifier au moins 1 canal dans 40% des dents avec les plaques aux phosphore et dans 41% des dents avec les capteurs CCD/CMOS (37).

Grâce à cette étude, on peut voir que la radiographie en 2 dimensions ne nous révèle pas tout le temps le bon nombre de canaux présents dans la dent. Cela peut potentiellement engendrer une désinfection incomplète du réseau canalaire et donc par la suite conduire à un échec du traitement endodontique.

Le Cone Beam semble plutôt être indiqué pour l'étude de la morphologie canalaire lorsqu'on est en présence d'anatomie canalaire atypique comme les *dens in dente* ou d'anatomie très complexe avec la présence de doubles courbures, d'anastomoses, d'isthmes apicaux par exemple (38).

5.2.1 Les anomalies dentaires.

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

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



Figure 32: radiographie d'une 32 présentant une invagination (39).

Voici l'exemple sur cette radiographie rétro alvéolaire utilisant la technique des plans parallèles d'une 32 présentant une invagination. La radiographie en 2D dans ce cas là ne nous fournit pas assez d'informations pour pouvoir planifier la réalisation du traitement endodontique, en effet elle ne nous donne pas assez d'informations sur la nature de l'invagination, et la communication ou non qu'il peut y avoir entre l'invagination et la dent. Oehler's a ainsi réalisé une classification qui porte son nom pour décrire les différents types de *dents invaginatus*. Dans cette classification, il existe 3 types principaux, dont le troisième contient deux sous-types (figure 33).

Le Cone Beam est alors important pour différencier les différents type de *dents invaginatus* et ainsi réaliser la meilleure prise en charge, en effet dans le type III l'invagination peut être traitée séparément du reste de la dent si elle est affectée alors que dans le type I et II il faut traiter la dent dans son ensemble s'il y a nécessité de dépulper la dent (40).

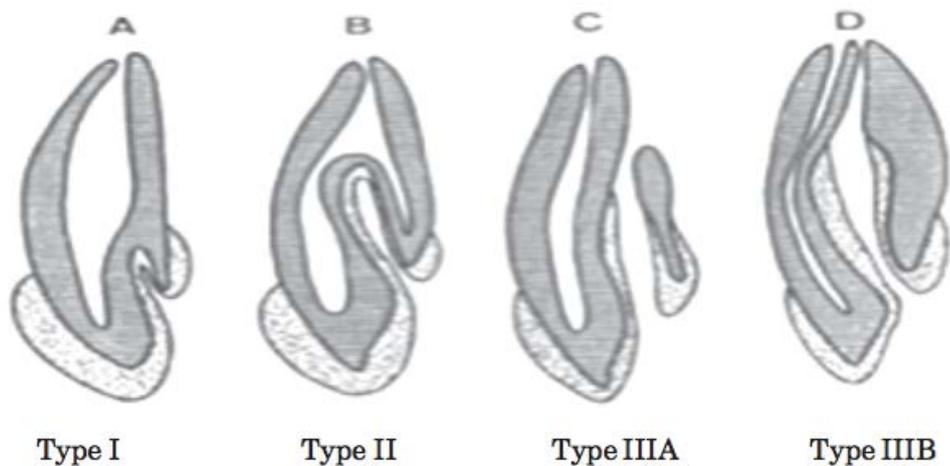


Figure 33: classification de Oehler's

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

Le suivi à 18 mois semble montrer une évolution positive, il n'y a plus de signe clinique de parodontite apicale et la lésion semble être en voie de cicatrisation (39).

Dans les cas d'invagination ou de *dens in dente*, il est nécessaire de réaliser un Cone Beam petit champ qui permet la mise en évidence de l'invagination et de voir si les canaux communiquent entre eux ou s'ils sont indépendants, cela a une importance quand à la thérapeutique à adopter (41).

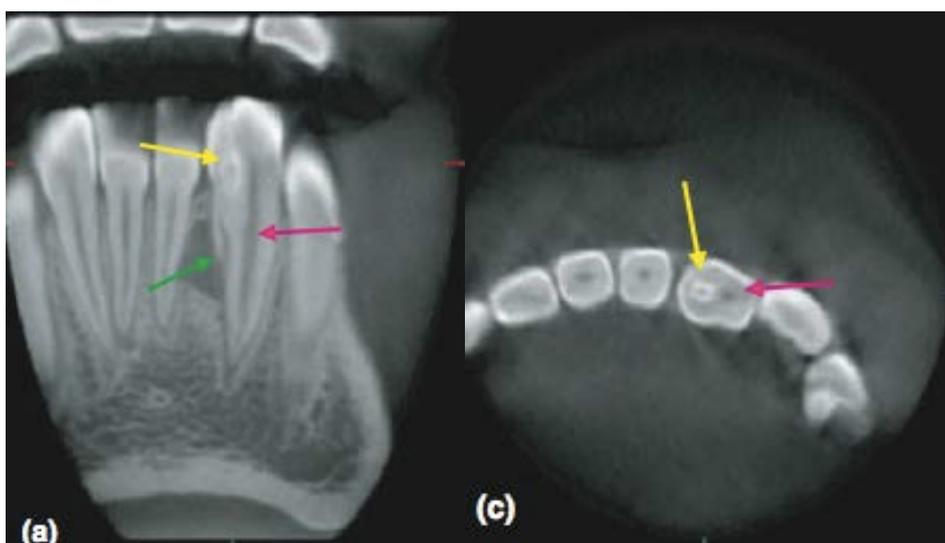


Figure 34: image montrant le Cone Beam de la 32 (39).

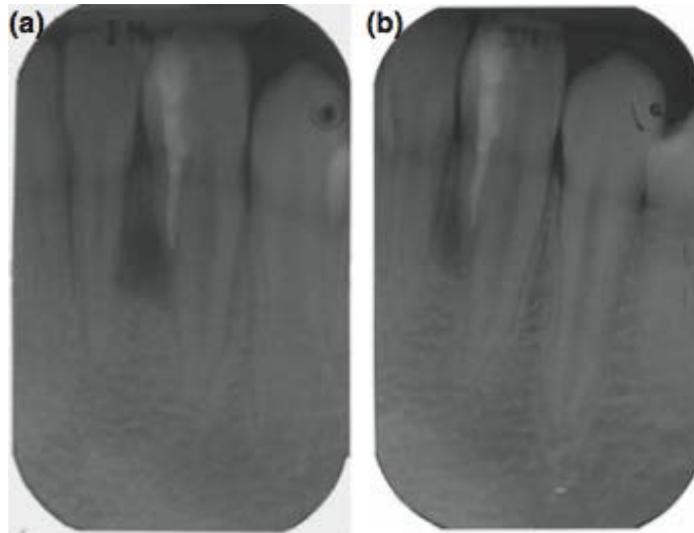


Figure 35: radiographie rétro-alvéolaire du traitement final de la 32 (39).

*La figure a est une radio post obturation
La figure b est un suivi à 18 mois.*

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

5.2.2 L'anatomie canalaire complexe.

L'endodontie est un acte imprédictible sans l'aide de la radiographie, et même avec l'aide de la radiographie c'est souvent un acte complexe à réaliser. Comme dit précédemment, le Cone Beam nous permet d'avoir des détails en 3 dimensions et cela est intéressant pour analyser l'anatomie canalaire, en nous montrant la présence de canaux accessoires, de delta apicaux et du type de canal qui n'auraient pas été visibles sur une simple radiographie en 2 dimensions (42).

Par exemple, dans le cas d'un canal minéralisé, qui est une situation complexe à négocier lorsqu'un traitement endodontique est à réaliser, la compréhension préopératoire de la calcification radiculaire, de son anatomie est aidée par le Cone Beam. L'utilisation de ce Cone Beam peut alors servir de guide pour une destruction minimale des tissus sains lors de la préparation de la cavité d'accès (43).

En effet, à partir de la réalisation du Cone Beam et grâce à un logiciel de planification il est maintenant possible de faire un guide pour la réalisation de la cavité d'accès selon le même principe que les guides implantaires. On a ainsi un guide avec un trou en occlusal au niveau de la zone définie sur la visualisation du Cone Beam, ce trou permet de guider et de stabiliser une fraise spécifique placée dedans (44).

On peut voir sur la figure 36 à quoi ressemble ce guide.



Figure 36: guide pour la réalisation de la cavité d'accès (44).

Voici ci dessous l'exemple d'un cas traité par le Dr Chaudeau.

Sur la radiographie initiale, on peut voir la présence d'une LIPOE en rapport avec l'apex de la 47 qui présente aussi un traitement endodontique. La morphologie canalaire semble être un canal unique assez large, ce qui n'est pas commun pour une 47 qui dans 74% des cas présente 3 canaux séparés. Devant cette configuration atypique le Dr Chaudeau décide de réaliser un Cone Beam préopératoire pour pouvoir visualiser l'ensemble du réseau canalaire et ainsi planifier le retraitement endodontique de manière optimale.



Figure 37: radiographie préopératoire de la 47. (Cas du Dr Chaudeau)

Le résultat du Cone Beam montre la présence du foramen canalaire représenté par la flèche rouge sur la figure 38 non obturé lors du premier traitement endocanalaire, il met aussi en évidence la présence d'un canal unique en C sur les coupes coronales.

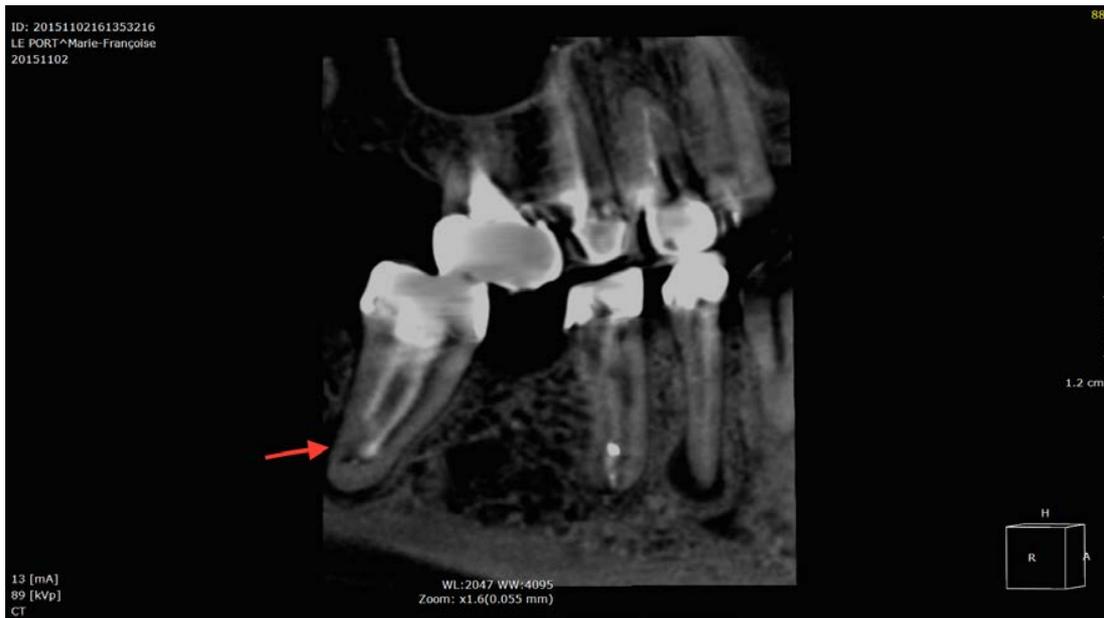


Figure 38: image issue du Cone Beam réalisé sur la 47. (Cas du Dr Chaudeau)



Figure 39: radiographie rétro-alvéolaire finale de l'obturation de la 47. (Cas du Dr Chaudeau)

Dans ce cas, la radiographie rétro-alvéolaire ne nous permettait pas de mettre en évidence la forme du réseau canalaire, ni la sortie foraminale du canal. Or l'analyse préopératoire est un élément clé pour la réussite d'un traitement ou retraitement endodontique, la plupart des échecs endodontiques sont liés à une mauvaise analyse préopératoire de la dent à traiter.

5.3 L'évaluation des fractures radiculaires et traumatismes

Les dents qui ont subi un traumatisme représentent un challenge clinique. En effet, le diagnostic, le plan de traitement et le pronostic sont souvent incertains (45).

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

- poser le diagnostic initial
- évaluer l'importance de la lésion
- déterminer un plan de traitement adapté
- servir de référence pour le suivi

Une détection précoce des fractures radiculaires est fondamentale pour prévenir d'éventuelles lésions extensives au niveau des tissus de soutien de la dent. C'est pour cela que l'examen clinique et radiographique doit être le plus précis possible (46).

5.3.1 Les fractures radiculaires verticales.

Les fractures radiculaires verticales sont un challenge diagnostique, en effet les signes cliniques et les symptômes peuvent être non spécifiques surtout quand elles sont incomplètes. Tsesis et coll en 2010 ont même conclu une revue de la littérature sur le sujet en disant que des données probantes quant à l'efficacité de l'évaluation clinique et radiologique que ce soit la rétro-alvéolaire ou le Cone Beam pour le diagnostic des fractures radiculaires verticales étaient manquantes (47).

La capacité du Cone Beam à détecter des fractures radiculaires verticales dépend du type de Cone Beam utilisé, en effet cela dépend des facteurs d'exposition, de la sensibilité du détecteur, de la taille des voxels et de la qualité des algorithmes de reconstruction de l'image. Il est aussi évident que la présence ou non d'un matériau d'obturation canalaire a une grande importance sur le résultat du Cone Beam, la présence de gutta ou la présence d'un tenon métallique radiculaire peut entraîner la présence d'artéfacts métalliques, c'est là que la qualité du Cone Beam intervient pour améliorer la qualité de l'image (48).

Des études ont été réalisées pour comparer la capacité à détecter des fractures radiculaires verticales en présence ou non d'obturation intra-canalaire et en fonction de la radiographie utilisée, Cone Beam et rétro-alvéolaire ont ainsi été comparés (49,50).

Les résultats sont les suivants :

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

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

Cela met en évidence la supériorité du Cone Beam dans la détection des fractures radiculaires verticales lorsque la dent n'est pas obturée. Mais en présence d'un matériau d'obturation le cone beam ne montre pas de supériorité, il a même des résultats inférieurs à

la rétro-alvéolaire. Cela est compréhensible du fait de la présence d'artéfact lié au matériau d'obturation.

Voici l'exemple dans les figures 40 et 41 de la mise en évidence d'une fracture verticale sur les racines mésiales de la 46. Sur la rétro-alvéolaire on aurait pu croire qu'il s'agissait du canal radiculaire qui n'était pas obturé jusqu'à l'apex radiographique, or sur le Cone Beam on se rend compte qu'il s'agit en fait d'une fracture verticale.

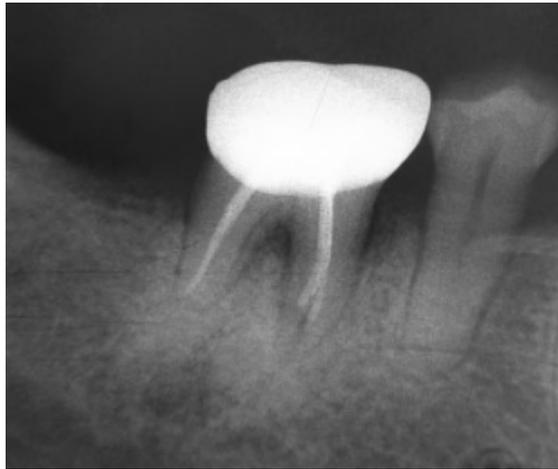


Figure 40: radiographie d'une 46 (51).

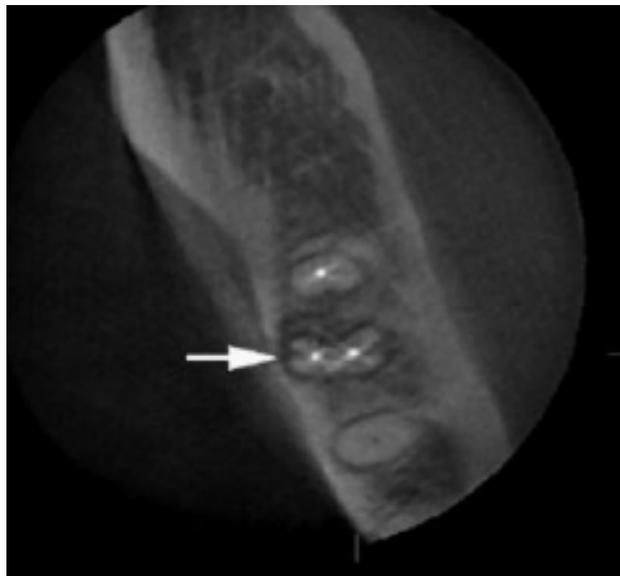


Figure 41: CBCT mettant en évidence une fracture verticale (51).

Pour conclure sur les fractures radiculaire verticale, il semble que le Cone Beam ne soit pas un moyen de radiographie optimal pour la détection de ce type de fracture quand la dent est obturée, même si la figure 41 peut nous montrer le contraire (50).

5.3.2 Les fractures radiculaires horizontales

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

Le diagnostic de ces fractures est clinique, on peut avoir une mobilité de la partie coronaire de la dent par exemple, mais il est surtout radiographique. S'il y a une fracture horizontale, on doit voir sur une radiographie rétro-alvéolaire une ligne de fracture, qui se définit par la présence d'un espace radio-clair entre deux fragments de la dent (45).

Cependant, il peut y avoir une absence de signe radiographique quand les rayons X ne sont pas parallèles au plan de fracture radiculaire, aux déplacements dentaires ou aux fractures alvéolaires, cela constitue une limitation de la rétro-alvéolaire. C'est pour cela qu'il est indispensable de prendre 2 ou 3 clichés rétro-alvéolaires angulés pour permettre sa visualisation. Même en réalisant 2 ou 3 radiographies, les fractures peuvent ne pas être diagnostiquées à cause de la superposition des structures anatomiques dans le dernier tiers radiculaire par exemple (52-54).

De plus, il est souvent compliqué de prendre des clichés rétro-alvéolaires après un traumatisme, en effet le fait de venir placer un capteur dans la bouche du patient peut être inconfortable voire douloureux pour le patient. La réalisation de radiographie à l'aide d'un angulateur pour la reproductibilité et le suivi est presque impossible, en effet le fait de devoir mordre sur l'angulateur peut être très douloureux. Cela est encore plus vrai si la dent est luxée ou extrusée (53).

Le Cone Beam qui est une technique de radiographie extra-orale élimine tous ces problèmes d'inconfort ou de gêne. De plus, le Cone Beam supprime les phénomènes de superposition anatomiques et de distorsion d'image. Cependant pour le suivi du patient la réalisation de radiographies rétro-alvéolaires initiales reste obligatoire pour permettre une comparaison, en effet le Cone Beam ne peut pas être utilisé en routine en suivi (17).

Des études ont été réalisées pour comparer la capacité des différents systèmes radiographiques à notre disposition, pour la mise en évidence des fractures radiculaires horizontales. Par exemple celle de Kamburoglu et coll (52), qui compare les plaques aux phosphore, les capteurs CCD et le Cone Beam dans la détection de fractures horizontales simulées. Dans leur étude, ils ont créé des fractures horizontales sur 18 dents et conservé 18 dents intactes pour servir de contrôle à l'étude. Ils ont replacé les dents dans les alvéoles des os maxillaires et ensuite réalisé les différentes radiographies. Trois radiologistes dentaires ont par la suite analysé les clichés et les résultats montrent que le Cone Beam obtient le meilleur résultat. En effet la sensibilité du Cone Beam pour mettre en évidence une fracture horizontale est de 92% alors que pour les techniques en 2D elle n'est que de 70% en moyenne sans différence significative entre les deux techniques.

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



Figure 42: radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la présence d'une fracture radiculaire horizontale de la 21.(45)

5.3.3 Le traumatisme.

Le Cone Beam permet aussi de pouvoir visualiser les structures adjacentes à la dent. Il permet de mettre en évidence des fractures associées à la fracture radiculaires telles que les fractures de l'os alvéolaire qui ne sont pas diagnostiquées par les radiographies conventionnelles, comme on peut le voir dans les figures 42 et 43.

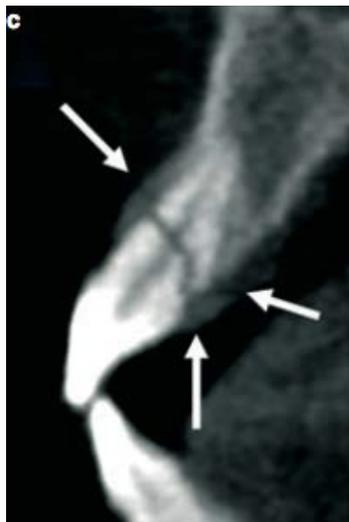


Figure 43: image issu du Cone Beam réalisé sur la 21.(45)

Cone Beam réalisé sur la 21 vue précédemment, on peut voir qu'il y a aussi plusieurs fractures de l'os alvéolaire désignées par les flèches entourant cette dent (45).

La radiographie intra-orale, c'est à dire la rétro-alvéolaire n'a qu'une faible sensibilité pour la détection de légers déplacements dentaires, radiculaires et pour les fractures alvéolaires. Cette limitation est causée par la projection géométrique, les superpositions des structures anatomiques (45).

Les traumatismes concernent dans 50% des cas seulement les dents, dans 36% des cas la dentition plus les tissus mous adjacents et dans 13,6% ils sont accompagnés de fractures alvéolaires ou maxillo-faciales (45).

C'est pour cela que le Cone Beam peut s'avérer utile pour le diagnostic de traumatisme dento-alvéolaire, de par les informations qu'il nous fournit sur la nature exacte du traumatisme, la sévérité de la luxation dentaire et des fractures alvéolaires et cela en un seul scan. Le Cone Beam est une aide précieuse en traumatologie, il permet de faire un diagnostic précis et ainsi d'adopter la meilleure stratégie thérapeutique pour le patient (54).

5.4 Les résorptions radiculaires

Les résorptions radiculaires sont un phénomène pathologique pour les dents matures, il s'agit de la destruction des tissus durs de la dent par un processus inflammatoire. On distingue deux catégories principales de résorptions qui sont, les résorptions internes dont le point de départ se situe à l'intérieur de la cavité pulpaire et les résorptions externes dont le point de départ se situe dans le parodonte et affecte la surface radiculaire externe de la racine au commencement (55). On retrouve deux étiologies principales à ces résorptions qui sont le traitement orthodontique et les traumatismes dentaires. Leur diagnostic est le plus souvent radiographique.

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

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

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

	Radiograph	180° CBCT	360° CBCT
No lesion vs. both sizes of lesion	0.665 (0.057)	0.984* (0.013)	0.990* (0.014)
No lesion vs. small lesion	0.584 (0.051)	0.969* (0.026)	0.979* (0.029)
No lesion vs. large lesion	0.733 (0.098)	1.000* (0.000)	1.000* (0.000)

*significantly different from radiographs ($P < 0.001$).

Figure 44: tableau montrant les résultats de l'étude concernant la mise en évidence des résorptions (56).

On peut ainsi noter qu'environ 42% des petites résorptions externes simulées n'ont pas été mises en évidence grâce à la radiographie rétro-alvéolaire alors que seulement 3% en moyenne pour le Cone Beam. On remarque aussi qu'il n'y a pas de différence significative entre une rotation de 180° par rapport à une rotation de 360°, ce qui va dans le sens de n'effectuer qu'une rotation de 180° (56).

On aurait aussi pu citer l'étude réalisée par Creanga et coll (57) qui confirme la différence significative de détection entre la rétro-alvéolaire et le Cone Beam.

Ces études nous montrent ainsi que la rétro-alvéolaire n'est pas un type d'imagerie adapté pour la détection des résorptions précoces, surtout quand la cavité de la résorption est de petite taille (0.5mm× 0.25mm par exemple). En effet les résorptions peuvent évoluer de manière très rapide, c'est pour cela qu'une détection précoce est nécessaire. Il faut donc relativiser les risques perçus de l'augmentation de la dose de rayonnement avec le risque de complications non détectées par la radiographie rétro-alvéolaire. Cependant, les résorptions restent la plupart de temps de découverte fortuite sur une rétro-alvéolaire et le Cone Beam est indiqué surtout en seconde intention si on ne peut pas établir le diagnostic différentiel entre une résorption interne ou externe (58).

La prise en charge des résorptions est souvent complexe, cela demande du temps, le résultat est la plupart du temps imprédictible et cela nécessite une approche pluridisciplinaire (59).

Une des raisons pour lesquelles le traitement est complexe est que la radiographie en 2D ne nous donne pas assez d'informations pour pouvoir planifier et organiser l'intervention. En effet, la radiographie en 2D ne permet pas de déterminer la taille de la lésion, son extension, sa porte d'entrée et même parfois de savoir si la résorption est externe ou interne, or le traitement des résorptions dépend du type de résorption, de sa localisation et de son degré d'extension (59).

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

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

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

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

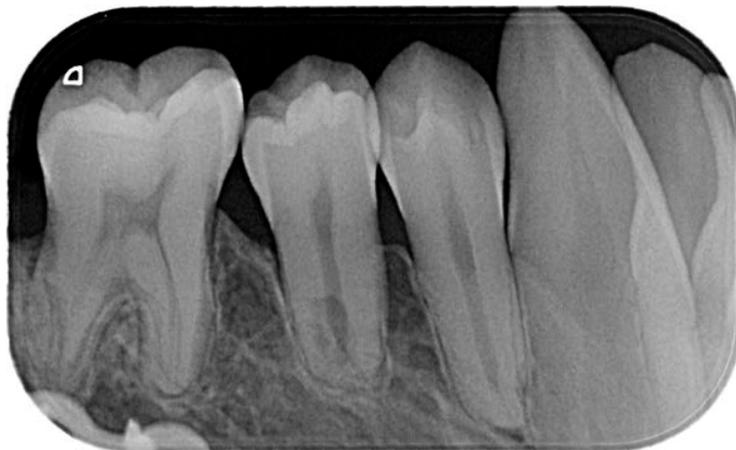


Figure 45: radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la présence d'une résorption sur la 45. (Cas du Dr Chaudeau)

Les figures 46 et 47 montrent le résultat de ce Cone Beam. La figure 46 met en évidence une communication entre la résorption et le parodonte. On note aussi que la résorption externe s'est étendue à la partie pulpaire de la dent. Il était bien difficile de visualiser cela sur la radiographie en 2D du fait que la lésion est dans le plan vestibulo-lingual et non dans le plan mésio-distal.

Il n'est pas rare de voir dans le cas inverse une résorption interne s'étendre vers le parodonte et ainsi créer une communication avec l'extérieur, cela est important à mettre en évidence grâce au Cone Beam car cela influe la décision et la stratégie thérapeutique (60).

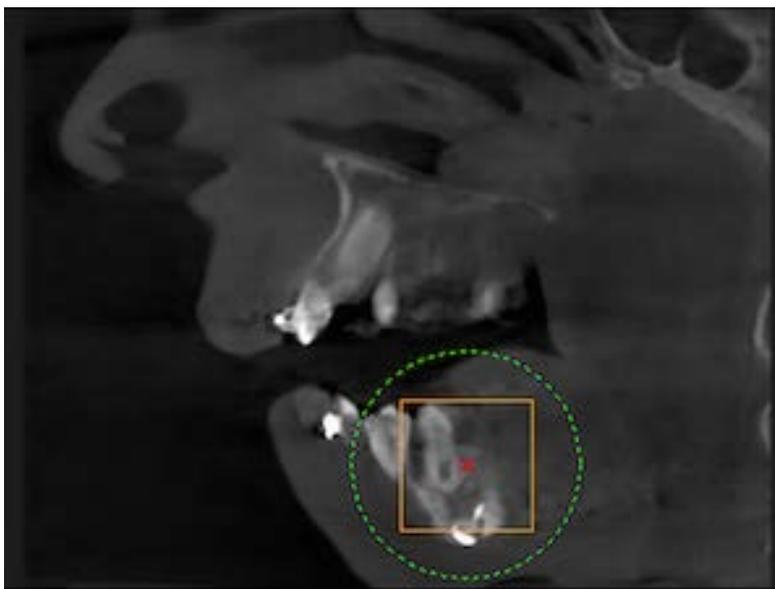


Figure 46: coupe sagittale du Cone Beam réalisée sur la 45. (Cas du Dr Chaudeau)

Un des autres avantages du Cone Beam réside dans le fait qu'il permet de mesurer avec précision la taille de la lésion de par son rapport 1/1 avec la réalité. En effet, la radiographie en 2D ne pourrait nous donner qu'une mesure dans 2 plans de l'espace de par la compression de l'image alors que la radio en 3D nous permet d'avoir accès à la lésion dans ces 3 plans, or le traitement des résorptions dépend en partie de la sévérité de la lésion. Il a été montré que la radio en 2D avait souvent tendance à sous estimer la taille des lésions comparativement au cone beam ce qui peut donc être responsable d'un mauvais choix thérapeutique (61).

Le Cone Beam permet aussi de localiser avec précision la lésion, en effet sur la radiographie en 2D de la figure 45 on ne peut pas savoir si la lésion est située du côté vestibulaire ou du côté lingual. Grâce au Cone Beam on peut localiser avec précision la lésion, on voit qu'elle est du côté lingual. Cela aura son importance pour le choix de la technique de traitement

Suite à la visualisation et à l'analyse du Cone Beam il a été décidé de conserver la dent et de réaliser la pulpectomie de cette dent. Il y a tout d'abord eu la réalisation de la préparation canalaire jusqu'à 80/100 avec une irrigation abondante au NaOCl 2,5% et EDTA 8% suivie d'une phase de temporisation à l'hydroxyde de calcium dense. Lors d'une seconde séance, l'hydroxyde de calcium a été retiré, une nouvelle irrigation abondante a été réalisée puis la dent et sa résorption ont été obturées entièrement à la BIODENTINE®, une obturation coronaire a ensuite été réalisée après la prise de la BIODENTINE®.

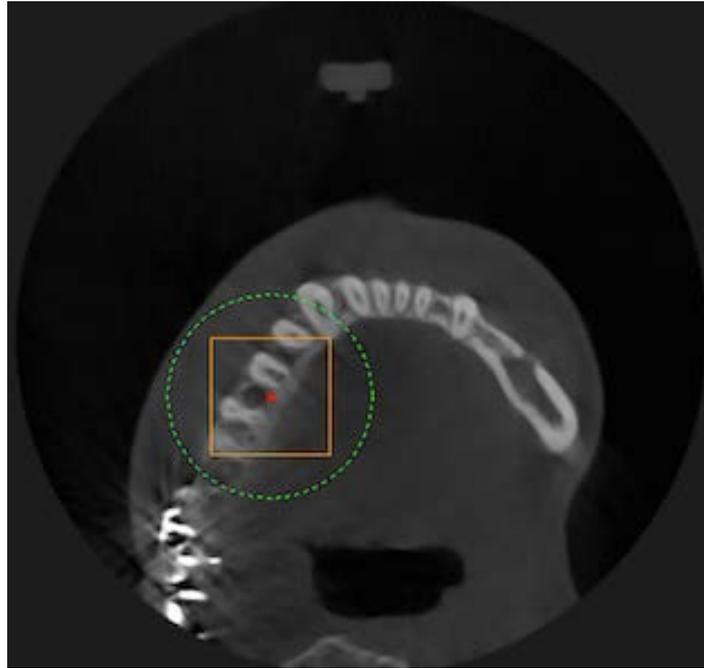


Figure 47: coupe axiale du Cone Beam réalisé sur la 45. (Cas du Dr Chaudeau)

Une meilleure étude préopératoire et une meilleure compréhension de la pathologie peuvent aider le dentiste à trouver et réparer les tissus affectés, ce qui améliore le pronostic du soin. C'est pour cela qu'un Cone Beam doit être réalisé de manière quasi systématique lorsqu'une résorption est mise en évidence sur une rétro-alvéolaire (59).

5.5 L'étude pré-chirurgicale endodontique

L'endodontie chirurgicale est la réalisation du traitement endodontique par voie rétrograde, elle est différente de la simple résection apicale qui ne comprend pas d'obturation *a retro*. Son but est de retirer la lésion inflammatoire et les 3mm apicaux de la racine puis de préparer le canal radiculaire de manière rétrograde avant de l'obturer de manière étanche.

Comme toutes les interventions chirurgicales, l'endodontie chirurgicale nécessite une planification en amont de l'intervention. Une étude radiologique détaillée s'avère donc nécessaire pour prévoir l'approche chirurgicale, les difficultés que l'opérateur pourrait rencontrer et les complications éventuelles. La question à se poser est alors : la radiographie en 2D est-elle suffisante pour planifier ce type d'intervention et répondre aux questions suivantes ?

Les facteurs clés à étudier avant de réaliser une endodontie chirurgicale sont :(48)

- La distance entre la corticale et la racine.
- La morphologie canalaire et le nombre de racines.
- La convergence ou la divergence des racines les unes par rapport aux autres.

- La relation avec les structures adjacentes, tels que le sinus ou le nerf alvéolaire inférieur.
- La relation entre la lésion et les dents et/ou les racines adjacentes.

Dans certains cas, la radiographie en 2D peut être suffisante, par exemple une incisive maxillaire sans complexité particulière. Mais dans de nombreux cas, la réalisation d'un Cone Beam s'avère indispensable pour l'analyse de l'anatomie.

5.5.1 Analyse et planification.

Pour l'analyse, nous allons prendre l'exemple d'un cas clinique. Une patiente est adressée au centre de soins dentaires du CHU de Nantes par un confrère pour la réalisation d'un retraitement endodontique sur la 16, qui présente une LIPOE (figure 48). Les tests de sensibilité s'avèrent négatifs et la percussion axiale est sensible. Une rétro-alvéolaire est réalisée, elle met en évidence la présence d'une lésion inflammatoire péri-radicaire d'origine endodontique qui semble être localisée sur la racine mésio-vestibulaire de la 16, en effet le Cone Beam réalisé par la suite ne mettra pas en évidence la présence de lésions sur les deux autres racines. On peut noter aussi la présence de deux tenons radiculaires et que la dent est support d'un bridge 14-16 bien adapté. Au vu de ces éléments, et du risque de fracture radiculaire qu'entraînerait la dépose du bridge plus de l'inlay-core à clavette, il a été décidé de réaliser une endodontie chirurgicale sur la racine mésio-vestibulaire de la 16.



Figure 48: radiographie rétro-alvéolaire d'une 16 réalisée avec un angulateur mettant en évidence une LIPOE. (Cas du Pr Pérez)

On note sur la radio en 2D une certaine proximité entre le sinus maxillaire et les racines de la 16, mais dans quelle mesure ? Avec la radiographie en 2D, il est bien difficile de pouvoir le juger et de savoir si la lésion est à proximité de la paroi sinusienne, ce qui pourrait compliquer l'intervention.

La radio en 2D ne permet pas non plus de savoir si la lésion s'étend aux autres racines ou si elle est juste localisée sur la racine mésio-vestibulaire. En effet, si on s'aperçoit que les autres racines sont concernées ou qu'elles présentent elles aussi une LIPOE, la prise en charge aurait-été différente d'une part à cause de la plus grande complexité de traiter les racines palatine ou disto-vestibulaire comparativement à la mésio-vestibulaire, et au vu de la longueur du tenon dans la racine disto-vestibulaire. Elle ne permet pas non plus de juger la distance entre l'apex de la racine mésio-vestibulaire de la 16 et la corticale. En effet, il s'agit d'une distance qui est dans le plan vestibulo-palatin or on a vu précédemment qu'avec la radiographie en 2D ce plan était aplati et compressé.

Il faut aussi ajouter que nous sommes dans une région où il peut y avoir sur la radiographie en 2D la superposition du zygomatique, cela pourrait masquer la morphologie radiculaire. En effet sur la radio, il est difficile de mettre en évidence la racine disto-vestibulaire à cause de cette superposition.

Il semble alors évident que la radiographie en 2D n'est pas assez fiable pour pouvoir analyser de manière correcte la situation et ainsi planifier cette endodontie chirurgicale.

La question qui peut se poser est alors : Le cone beam permet-il lui de répondre à ces questions et de réaliser une analyse précise de la situation ?

Nous allons essayer de répondre à cette question grâce aux coupes dans les 3 plans de l'espace du cone beam présentées ci-dessous qui ont été réalisées.

La coupe frontale nous permet de mettre 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.

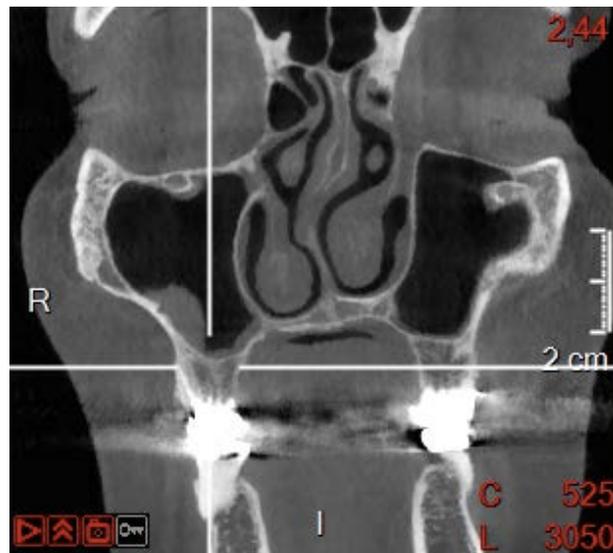


Figure 49: coupe frontale issue du cone beam réalisée sur la 16. (Cas du Pr Pérez)

Les coupes axiales qui vont suivre sont très intéressantes, en effet elle mettent en évidence la finesse de l'os cortical voire même l'inexistence d'os cortical 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 si elle est présente et l'apex radiculaire, ce qui peut être intéressant pour la planification opératoire.

Les coupes nous permettent aussi de mettre en évidence la localisation précise de la lésion, on peut voir qu'elle est localisée sur la racine mésio-vestibulaire de la 16 et que les autres racines ne sont pas atteintes. Cela est possible grâce à une analyse dynamique du cone beam.

On peut aussi mesurer la taille de la lésion, ses extensions, dans ce cas la lésion a plutôt une extension palatine.

Il est aussi possible en faisant défiler ces coupes réaliser une analyse de la morphologie radiculaire, canalaire et ainsi mettre en évidence la présence d'un canal non obturé par exemple ou une anatomie atypique avec la présence d'anastomose ou de morphologie apicale complexe expliquant la présence de cette lésion. Le fait de comprendre pourquoi la lésion est apparue peut nous permettre de la corriger lors de l'intervention chirurgicale. Sur ces coupes on peut aussi mettre en évidence la convergence ou la divergence des racines, cet élément est important pour améliorer le résultat du traitement (48).



Figure 50: coupe axiale issue du cone beam réalisée sur la 16. (Cas du Pr Pérez)



Figure 51: coupe sagittale du cone beam réalisée sur la 16. (Cas du Pr Pérez)

Le cone beam permet ainsi grâce à ces coupes dans les trois plans de l'espace d'avoir conscience de la taille, de la localisation et de la forme de la lésion et ainsi permettre de définir le meilleur accès pour la réalisation de la chirurgie (43).

Il est important de définir la taille de la lésion, en effet, il a été reporté que si la lésion fait plus de 5 mm de diamètre alors il peut se produire un retard ou une altération de la cicatrisation. Cela est dû au fait que les cellules épithéliales migrent 10 fois plus vite que les autres cellules responsables de la cicatrisation osseuse, et donc avoir une prolifération de cellules épithéliales dans le défaut osseux créé ce qui empêchera une bonne cicatrisation du site de la lésion péri-apicale. Cela pourra être le cas dans les lésions bi corticales par exemple ou les lésions très volumineuses dans ces cas là, l'application d'une membrane qui servira de guide de réparation osseuse pourra être utilisée. L'analyse du cone beam nous permet de prévoir quelle technique utiliser, en effet si la lésion est bi corticale alors il faudra faire un lambeau des deux côtés pour placer la membrane et ainsi améliorer la cicatrisation de la lésion péri-apicale (62).

5.5.2 L'analyse des relations avec les structures nobles.

Dans le cadre d'une endodontie chirurgicale, il y a surtout deux structures nobles qui peuvent être lésées de manière iatrogène. Cela s'explique de par leurs rapports et leur proximité avec les apex des molaires maxillaires pour le sinus maxillaire, et les apex des prémolaires mandibulaires pour le nerf alvéolaire inférieur.

- Le foramen mentonnier et le nerf alvéolaire inférieur.

Le nerf alvéolaire inférieur est une structure noble qu'il ne faut surtout pas léser sous peine de créer un déficit sensitif de la région labio-mentonnière. Il chemine au sein de la branche horizontale de la mandibule, le plus souvent en position inférieure aux apex des dents. La

réalisation d'un cone beam permet de mettre en évidence tout son trajet et ainsi de prévoir les possibles risques et difficultés opératoires. Si l'apex à traiter est en contiguïté avec le nerf alvéolaire inférieur alors l'intervention sera contre-indiquée.

La réalisation d'une rétro-alvéolaire permet de le mettre en évidence et d'apprécier son foramen et ses rapports avec les apex des dents. Mais il a été montré la présence dans certains cas de foramen mentonnier accessoire. Ce foramen mentonnier accessoire qui est en général d'un diamètre inférieur au foramen principal n'est pas objectivé lui sur une radio rétro-alvéolaire (63).

Sur le Cone Beam ci-dessous on peut noter la présence de deux foramina mentonniers accessoires, matérialisés par les flèches. Il est important de le mettre en évidence car dans le cas où il faudrait réaliser une chirurgie apicale sur la 35 le foramen mentonnier accessoire supérieur pourrait être à proximité de la zone d'ostéotomie de la chirurgie.

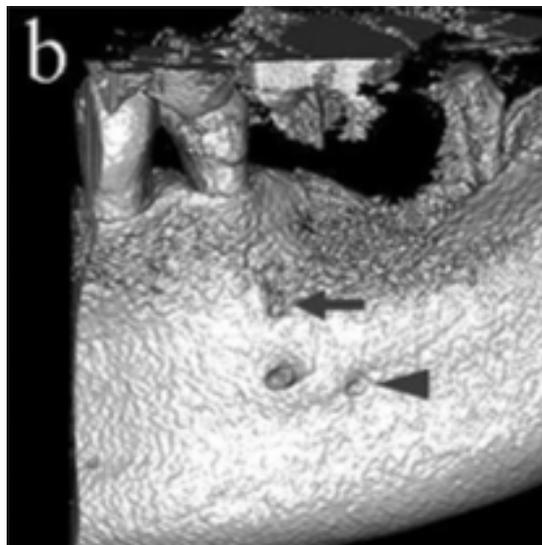


Figure 52: image issue d'un Cone Beam mettant en évidence la présence de foramens mentonniers accessoires (63).

Pour conclure sur le foramen mentonnier accessoire, il semble important de confirmer sa présence ou absence par la réalisation d'un Cone Beam pour prévenir et éviter les lésions nerveuses du nerf alvéolaire inférieur lors de la réalisation de la chirurgie apicale (63).

- Le sinus maxillaire.

La réalisation d'une chirurgie endodontique sur une molaire maxillaire est un acte complexe, surtout si c'est la racine palatine qui est concernée par la lésion. Cela s'explique par la proximité de structure anatomique noble tel que le sinus maxillaire. Les images obtenues grâce au Cone Beam nous apportent de nombreux avantages dans l'analyse préopératoire et la planification de la chirurgie.

En effet Rigolone et coll ont mesuré dans une étude réalisée sur 43 molaires supérieures la fréquence à laquelle le sinus maxillaire se trouvait entre les racines vestibulaires et la racine palatine grâce au Cone beam. Leur étude nous indique que dans 25% des cas, le sinus maxillaire est présent entre les racines vestibulaires et la racine palatine (64).

Le Cone Beam joue un rôle primordial dans l'optimisation de la chirurgie endodontique de la racine palatine d'une molaire maxillaire par voie vestibulaire, afin d'éviter de faire un accès palatin qui est plus compliqué et qui possède plus de risques hémorragiques (48).

-Les fosses nasales.

Les fosses nasales sont un élément à prendre en considération lorsqu'une lésion péri-apicale touche les incisives maxillaires. De manière générale, les racines des incisives maxillaires sont à distance de la paroi des fosses nasales, 5 mm en moyenne. Mais la présence d'une lésion péri-apicale volumineuse peut réduire cette distance et nécessite des examens complémentaires, qui est comme le Cone Beam pour évaluer la distance entre la lésion et les fosses nasales. En effet, le curetage d'une lésion qui est trop proche de la paroi des fosses nasales peut entraîner une perforation de celle-ci et aboutir à un saignement de nez (65).

5.5.3 L'utilisation de modèle.

Les données obtenues grâce au cone beam peuvent aussi être utilisées pour la réalisation de modèle physique. Un modèle à l'échelle réelle de la zone d'intérêt peut être produit par un processus de stéréolithographie.

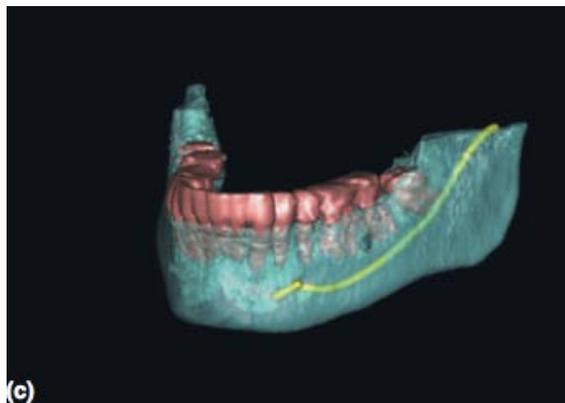


Figure 53: représentation de la reconstruction 3D du volume à partir du Cone beam (53).



Figure 54: représentation du modèle stéréolithographique (53).

La réalisation de ce modèle à l'échelle exacte permet à l'opérateur de se familiariser avec le site chirurgical et ainsi planifier son approche chirurgicale avec plus de confiance (53).

5.5.4 Conclusion.

Le Cone Beam est un préalable indispensable à la chirurgie endodontique dans de nombreux cas. Il est surtout indiqué pour les molaires maxillaires et mandibulaires du fait de leur proximité avec des structures nobles et du fait de la superposition anatomique du malaire pour la région maxillaire. De plus, il permet de donner de nombreuses informations concernant la lésion, l'anatomie radiculaire et de caractériser la zone concernée. Cependant, le Cone Beam ne doit être réalisé que si des techniques radiographiques moins irradiantes n'ont pas pu permettre la réalisation d'un diagnostic ou d'une analyse préopératoire suffisante (54,48)

VI - Conclusion

Le Cone Beam permet de par la nature de son image en 3 dimensions de s'affranchir de nombreux problèmes liés à la compression de l'anatomie tridimensionnelle en une image 2D. Il supprime ainsi la distorsion anatomique, le bruit anatomique et la perspective temporelle. De par son image en 3D, le Cone Beam permet aussi la réalisation d'un diagnostic plus précis et ainsi de réaliser une prise en charge mieux adaptée à la situation dans de nombreux cas. Il permet de mettre en évidence des lésions qui avec la radiographie en 2D seraient passées inaperçues dans le cadre des LIPOE par exemple.

Le rapport de la HAS de 2009 nous indique que le Cone Beam est indiqué en endodontie et en chirurgie endodontique lorsque les informations fournies par la clinique et la radiologie conventionnelle ne sont pas suffisamment contributives au diagnostic. Une imagerie tridimensionnelle sera alors conseillée pour les cas suivants :

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

On peut donc dire que le cone beam reste à l'heure actuelle un examen de seconde intention en endodontie. La principale raison est la dose d'irradiation qui est encore plus importante que pour la rétro-alvéolaire. En effet avec le principe ALARA, le Cone Beam ne peut pas être indiqué en première intention car dans de nombreux cas la réalisation d'une rétro-alvéolaire suffit au diagnostic et à la prise en charge et cela avec une dose d'irradiation pour le patient qui est inférieure à celle du Cone Beam.

La CCAM elle nous propose un code de cotation pour le Cone Beam, il s'agit du code LAQK027. Cependant pour être remboursable le Cone Beam en endodontie doit répondre à l'indication suivante : évaluation diagnostic et/ou préopératoire d'atypie anatomique en endodontie. De plus il est indispensable et obligatoire d'avoir reçu une formation pour la réalisation et l'analyse des images du Cone Beam. En effet l'analyse d'un Cone Beam est souvent plus complexe que l'analyse d'une radiographie rétro-alvéolaire et il faut souvent avoir les deux images sous les yeux pour pouvoir mieux se repérer. La visualisation d'un Cone Beam ne doit pas être statique, elle doit se faire de manière dynamique c'est pour cela qu'il est préférable d'avoir un CD où se trouve le Cone Beam plutôt que de recevoir des coupes dans les différents plans de l'espace.

En odontologie, une nouvelle technologie peut-être utilisée d'un point de vue pratique si elle peut-être intégrée tant au cadre d'un hôpital qu'à celui d'un cabinet. Le mot intégration dans notre domaine signifie une incorporation des appareils à l'espace des locaux et au rythme de travail des praticiens. Le Cone Beam est encore un outil qui ne semble pas être indispensable pour un omnipraticien qui ne réalise pas des endodonties complexes ou de la chirurgie endodontique.

Un des problèmes majeur du Cone Beam reste la présence des artéfacts qu'ils soient métalliques ou causés par le mouvement du patient. Cela nuit à la qualité de l'image et ainsi à son interprétation. Il s'agit là d'un des points d'amélioration et de développement des futurs Cone Beam pour limiter au maximum ces phénomènes.

VII - Bibliographie

1. Patel S, Durack C, Abella F, Roig M, Shemesh H, Lambrechts P, et al. European Society of Endodontology position statement: The use of CBCT in Endodontics. *Int Endod J*. 2014;47(6):502-4.
2. Cavézian R. Imagerie dento-maxillaire: approche radio-clinique. Paris: Masson; 2006.
3. Neugebauer J, Zöllner JE, Fougeront N, Khoury F. Cone beam: imagerie dentaire et maxillofaciale : principes, diagnostic et plan de traitement. Paris: Quintessence International; 2014.
4. Bonnet Éric, Chauvel Brice. Examens radiographiques dentomaxillaires: principes, matériels et indications. *Réal Clin*. 2014;25(2):93-102.
5. Haute Autorité de Santé. Tomographie volumique à faisceau conique de la face (cone beam computed tomography) - rapport d'évaluation technologique. http://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/2009-12/rapport_cone_beam_version_finale_2009-12-28_17-27-28_610.pdf
6. Sedentexct. Radiation Protection: cone beam CT for dental and maxillofacial radiology. 2011. http://www.sedentexct.eu/files/radiation_protection_172.pdf
7. Foucart J-M. La radioprotection en odontologie: réglementation française et nouvelles normes européennes. Rueil-Malmaison : CdP; 2004.
8. les effets biologique de la radioactivité sur l'homme [Internet]. <http://tpe-demantelement-nucleaire-limiter-impacts.e-monsite.com/pages/les-dangers-que-constitue-une-centrale-nucleaire-a-l-arret/les-effets-biologiques-de-la-radioactivite-sur-l-homme.html>
9. Bellaiche N. Dosimétrie et cone beam. *Dent Tribune*. 2013 ;14-5.
10. Conseil supérieur de la santé. Dental cone beam computed tomography - avis du conseil supérieur de la santé n°8705. <http://docplayer.fr/10422399-Avis-du-conseil-superieur-de-la-sante-n-8705.html>
11. Portales M. La radiographie retro-alvéolaire: comparatif des différentes techniques. Pourquoi? comment? Avantages et inconvénients. 2012.
12. Castellucci A. Endodontic radiography. In: *endodontics. Il tridente*; 2014. 66-119.
13. Bonnet É. Imagerie numérique intrabuccale. *Réal Clin*. 2008 ;19(2):115-23.
14. Lasfargues J-j, Bonte É, Buch D. De l'argentique au numérique un pari gagné. *Réal Clin*. 2008;19(2):125-37.

15. Patel S, Dawood A, Whaites E, Pitt Ford T. New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J.* 2009;42(6):447–62.
16. Goldman M, Pearson AH, Darzenta N. Endodontic success--who's reading the radiograph? *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1972;33(3):432–7.
17. C. Hodez, P. Bravetti. *Imagerie dento-maxillo-faciale par faisceau conique "Cone beam."* Montpellier: Sauramps Médical; 2010.
18. Bellaiche N. Cone beam pratique en odontostomatologie généralités: principes, technique, qualité d'image, artéfacts, types d'appareil, indications. *Dent Tribune.* 2014;10–1.
19. Scarfe WC, Farman AG. What is Cone-Beam CT and How Does it Work? *Dent Clin North Am.* 2008;52(4):707–30.
20. Hauret L, Hodez C. A new modality for dentomaxillofacial imaging: cone beam CT. *J Radiol.* 2009;90(5 Pt 2):604–17.
21. Baba R, Ueda K, Okabe M. Using a flat-panel detector in high resolution cone beam CT for dental imaging. *Dento-Maxillo Facial Radiol.* 2004;33(5):285–90.
22. Bellaiche N. Qualité d'image et artéfacts en cone beam. *Dent Tribune.* 2014;12–4.
23. Maret-Comtesse D. Cone Beam: du pixel au voxel. Conférence, Paris, 26 novembre 2015.
24. Morita [Internet]. Cone beam Morita
http://jmoritaeurope.de/cms/website.php?id=/fr/products/dental/diagnostic_and_imaging_equipment/3d_accuitomo_170.html
25. Carestream Dental [Internet]. Cone beam Carestream.
<http://www.carestreamdental.com/fr/fr-FR/3dimaging/81003D#Programs>
26. NewTom [Internet]. Cone beam New Tom
<http://www.newtom.it/fr/produits/newtom-vgi-evo>
27. Vallaëys K, Hodez C. Imagerie dentomaxillaire par faisceau conique: principes, matériels, indications et dosimétrie. *Réal Clin.* 2014;25(2):103–14.
28. Jaju PP, Jain M, Singh A, Gupta A. Artefacts in cone beam CT. *Open J Stomatol.* 2013;03(05):292–7.
29. Bechara B, McMahan C, Geha H, Noujeim M. Evaluation of a cone beam CT artefact reduction algorithm. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2012 Jul;41(5):422–8.
30. Estrela C, Bueno MR, Leles CR, Azevedo B, Azevedo JR. Accuracy of Cone Beam Computed Tomography and panoramic and periapical radiography for detection of apical periodontitis. *J Endod.* 2008;34(3):273–9.

31. Lofthag-Hansen S, Huumonen S, Gröndahl K, Gröndahl H-G. Limited cone-beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2007;103(1):114–9.
32. Low KMT, Dula K, Bürgin W, von Arx T. Comparison of periapical radiography and limited Cone-Beam Tomography in posterior maxillary teeth referred for apical urgency. *J Endod.* 2008;34(5):557–62.
33. Fuhrmann RA, Bücken A, Diedrich PR. Furcation involvement: comparison of dental radiographs and HR-CT-slices in human specimens. *J Periodont Res.* 1999;32(5):409–18.
34. Ørstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Dent Traumatol.* 1986;2(1):20–34.
35. Estrela C, Bueno MR, Azevedo BC, Azevedo JR, Pécora JD. A New Periapical Index Based on Cone Beam Computed Tomography. *J Endod.* 2008;34(11):1325–31.
36. Alrahabi M, Zafar MS. Evaluation of root canal morphology of maxillary molars using cone beam computed tomography. *Pak J Med Sci [Internet].* 2015 Jan 28 31(2). <http://pjms.com.pk/index.php/pjms/article/view/6753>
37. Matherne RP, Angelopoulos C, Kulild JC, Tira D. Use of Cone-Beam Computed Tomography to identify root canal systems in vitro. *J Endod.* 2008;34(1):87–9.
38. Patel S, Durack C, Abella F, Roig M, Shemesh H, Lambrechts P, et al. European Society of Endodontology position statement: The use of CBCT in Endodontics. *Int Endod J.* 2014;47(6):502–4.
39. Patel S. The use of cone beam computed tomography in the conservative management of dens invaginatus: a case report. *Int Endod J.* 2010 24;43(8):707–13.
40. Munir B, Tirmazi SM, Majeed HA, Khan AM, Iqbalbangash N. Dens invaginatus: aetiology, classification, prevalence, diagnosis and treatment considerations. *Pak Oral Dent J [Internet].* 2011 <http://search.proquest.com/openview/e4fe74244a1ac19ea1f0482407d54b9d/1?pq-origsite=gscholar>
41. Durack C, Patel S. The use of cone beam computed tomography in the management of dens invaginatus affecting a strategic tooth in a patient affected by hypodontia: a case report: Management of dens invaginatus using CBCT. *Int Endod J.* 2011;44(5):474–83.
42. Aydemir S, Helvacioğlu-Yigit D, Sinanoğlu A, Özel E. Retreatment of a maxillary lateral incisor with two separate root canals confirmed with cone beam computed tomography. *J Clin Med Res.* 2015;7(7):560–3.

43. Todd R. Dental imaging—2D to 3D: a historic, current, and future view of projection radiography. *Endod Top.* 2014;31(1):36–52.
44. Buchgreitz J, Buchgreitz M, Mortensen D, Bjørndal L. Guided access cavity preparation using cone-beam computed tomography and optical surface scans - an *ex vivo* study. *Int Endod J.* 2015.
45. Cohenca N, Simon JH, Roges R, Morag Y, Malfaz JM. Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma. Part 1: traumatic injuries. *Dent Traumatol.* 2007;23(2):95–104.
46. Junqueira RB, Verner FS, Campos CN, Devito KL, do Carmo AMR. Detection of Vertical Root Fractures in the Presence of Intracanal Metallic Post: A Comparison between Periapical Radiography and Cone-beam Computed Tomography. *J Endod.* 2013;39(12):1620–4.
47. Tsesis I, Rosen E, Tamse A, Taschieri S, Kfir A. Diagnosis of vertical root fractures in endodontically treated teeth based on clinical and radiographic indices: a systematic review. *J Endod.* 2010;36(9):1455–8.
48. Patel S, Durack C, Abella F, Shemesh H, Roig M, Lemberg K. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review. *Int Endod J.* 2015;48(1):3–15.
49. Brady E, Mannocci F, Brown J, Wilson R, Patel S. A comparison of cone beam computed tomography and periapical radiography for the detection of vertical root fractures in nonendodontically treated teeth. *Int Endod J.* 2014;47(8):735–46.
50. Patel S, Brady E, Wilson R, Brown J, Mannocci F. The detection of vertical root fractures in root filled teeth with periapical radiographs and CBCT scans. *Int Endod J.* 2013;46(12):1140–52.
51. Wang P, Yan X, Lui D, Zhang W, Zhang Y, Ma X. Detection of dental root fractures by using cone-beam computed tomography. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2011 ;40(5):290–8.
52. Kamburoğlu K, İlker Cebeci AR, Gröndahl HG. Effectiveness of limited cone-beam computed tomography in the detection of horizontal root fracture. *Dent Traumatol.* 2009;25(3):256–61.
53. Patel S. New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. *Int Endod J.* 2009;42(6):463–75.
54. Patel S, Dawood A, Ford TP, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J.* 2007;40(10):818–30.
55. Cochet JY. Pathological root resorptions and their treatments. *Rev Fr Endod.* 1988;7(2):29–43.

56. Durack C, Patel S, Davies J, Wilson R, Mannocci F. Diagnostic accuracy of small volume cone beam computed tomography and intraoral periapical radiography for the detection of simulated external inflammatory root resorption. *Int Endod J*. 2011;44(2):136–47.
57. Creanga AG, Geha H, Sankar V, Teixeira FB, McMahan CA, Noujeim M. Accuracy of digital periapical radiography and cone-beam computed tomography in detecting external root resorption. *Imaging Sci Dent*. 2015;45(3):153.
58. Maini A, Durning P, Drage N. Resorption: within or without? The benefit of Cone-Beam Computed Tomography when diagnosing a case of an internal/external resorption defect. *Br Dent J*. 2008;204(3):135–7.
59. Cohenca N, Simon JH, Mathur A, Malfaz JM. Clinical indications for digital imaging in dento-alveolar trauma. Part 2: root resorption. *Dent Traumatol*. 2007;23(2):105–13.
60. Friedland B, Faiella RA, Bianchi J. Use of rotational tomography for assessing internal resorption. *J Endod*. 2001;27(12):797–9.
61. Patel S, Dawood A. The use of cone beam computed tomography in the management of external cervical resorption lesions. *Int Endod J*. 2007;40(9):730–7.
62. Corbella S, Taschieri S, Elkabbany A, Del Fabbro M, von Arx T. Guided tissue regeneration using a barrier membrane in endodontic surgery. *Swiss Dent J*. 2016;126(1):13.
63. 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*. 2008 ;34(12):1441–5.
64. 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*. 2003;29(11):773–5.
65. Arens DE, Adams WR, DeCastro RA. *Chirurgie endodontique*. Paris; CdP; 1984.

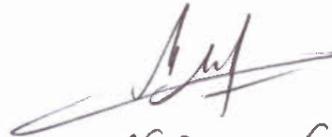
VIII - Table des illustrations.

Figure 1: courbe des effets des rayons X.....	13
Figure 2: schéma représentant la modification des doses reçue.....	14
Figure 3: tableau représentant les doses efficace des différents système radiographiques utilisé en endodontie, mise à part la rétro-alvéolaire.....	15
Figure 4: schéma montrant le technique des plans parallèles.....	16
Figure 5: schéma montrant la technique de Dieck dite de " la bissectrice".....	17
Figure 6: exemple d'un angulateur.....	18
Figure 7: radiographie panoramique.....	19
Figure 8: exemple d'une radiographie rétro-alvéolaire prise avec un angulateur.....	20
Figure 9: schéma représentant la règle de l'objet vestibulaire.....	21
Figure 10: radiographie orthocentre et excentré localisé sur une 24 mettant en évidence les 2 canaux.....	21
Figure 11: schéma expliquant la position idéale des différents éléments.....	22
Figure 12: exemple d'une rétro-alvéolaire prise chez un patient qui a une voûte palatine peu profonde.....	22
Figure 13: radiographie rétro-alvéolaire d'une molaire maxillaire droite.....	23
Figure 14: radiographie mettant en évidence la perspective temporelle.....	24
Figure 15: schéma représentant les différentes forme de faisceau de rayon X.....	25
Figure 16: schéma représentant le fonctionnement d'un récepteur plat.....	27
Figure 17: schéma représentant le fonctionnement d'un récepteur amplificateur de brillance.....	27
Figure 18: radiographie mettant en évidence les différences entre deux résolutions de Cone Beam.....	29
Figure 19: représentation d'une reconstruction tridimensionnelle.....	30
Figure 20: exemple de réalisation d'un cone beam grâce au Orthophos SL 3D.....	31
Figure 21: photo du Newtom 5G.....	31
Figure 22: isotropie vs anisotropie.....	33
Figure 23: radiographie mettant en évidence la présence d'artefact cinétique.....	35
Figure 24: différence entre le scanner et le Cone Beam concernant les artéfacts métalliques.	36
Figure 25: Cone Beam réalisé sans MARS.....	37
Figure 26: Cone Beam réalisé avec MARS.....	37
Figure 27: tableau montrant la prévalence des LIPOE en fonction du système radiographique utilisé.....	38
Figure 28: rétro-alvéolaire d'une incisive centrale maxillaire droite.....	40
Figure 29: Cone Beam de l'incisive centrale maxillaire droite.....	40
Figure 30: tableau résumant le CBCTPAI.....	42
Figure 31: classification du CBCTPAI pour les prémolaires.....	43
Figure 32: radiographie d'une 32 présentant une invagination.....	45
Figure 33: classification de Oehler's.....	46
Figure 34: image montrant le Cone Beam de la 32.....	46
Figure 35: radiographie rétro-alvéolaire du traitement final de la 32.....	47

Figure 36: guide pour la réalisation de la cavité d'accès.....	48
Figure 37: radiographie préopératoire de la 47.....	48
Figure 38: image issue du Cone Beam réalisé sur la 47.	49
Figure 39: radiographie rétro-alvéolaire finale de l'obturation de la 47.....	49
Figure 40: radiographie d'une 46.....	51
Figure 41: CBCT mettant en évidence une fracture verticale.	51
Figure 42: radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la présence d'une fracture radiculaire horizontale de la 21.	53
Figure 43: image issu du Cone Beam réalisé sur la 21.....	53
Figure 44: tableau montrant les résultats de l'étude concernant la mise en évidence des résorptions.	55
Figure 45: radiographie rétro-alvéolaire mettant en évidence la présence d'une résorption sur la 45.	56
Figure 46: coupe sagittale du Cone Beam réalisé sur la 45. (.....	57
Figure 47: coupe axiale du Cone Beam réalisé sur la 45.....	58
Figure 48: radiographie rétro-alvéolaire d'une 16 réalisée avec un angulateur mettant en évidence une LIPOE.	59
Figure 49: coupe frontale issue du Cone Beam réalisé sur la 16.	60
Figure 50: coupe axiale issue du Cone Beam réalisé sur la 16.....	61
Figure 51: coupe sagittale du cone beam réalisée sur la 16.	62
Figure 52: image issue d'un Cone Beam mettant en évidence la présence de foramens mentonniers accessoires.....	63
Figure 53: représentation de la reconstruction 3D du volume à partir du Cone Beam.....	64
Figure 54: représentation du modèle stéréo lithographique.....	65

UNIVERSITE DE NANTES
UNITÉ DE FORMATION ET DE RECHERCHE D'ODONTOLOGIE

Vu le Président du Jury,



Dr PEREZ.F

Vu et permis d'imprimer

Vu le Doyen,



Pr. Yves AMOURIQ
FU/PH

Y. AMOURIQ

GARNIER (Jérôme). – Intérêt et indications du cone beam computed tomography en endodontie. – 74 f ; ill. ; tabl. ; 65 réf. ; 30 cm (Thèse : Chir. Dent ; Nantes ; 2016)

RÉSUMÉ

La radiographie est un outil indispensable en endodontie pour le diagnostic, le traitement et le suivi. Le Cone Beam Computed Tomography (CBCT) est un système radiographique qui permet la visualisation de l'anatomie dans les trois dimensions de l'espace. Il constitue de ce fait une évolution majeure par rapport aux radiographies conventionnelles 2D. Le but de cette thèse est de mettre en évidence les indications du Cone Beam dans la pratique de l'endodontie. Malgré ses avantages, le CBCT comporte un certain nombre de limites qu'il est impératif de connaître afin de pouvoir prescrire cet examen, et ensuite savoir analyser les images obtenues.

RUBRIQUE DE CLASSEMENT

Odontologie - Endodontie

MOTS CLÉS MESH:

Tomodensitométrie à faisceaux conique - Cone beam computed tomography
Radiographie - Radiography
Endodontie - Endodontics
Diagnostic - Diagnosis

JURY

Président : Professeur Perez F.
Assesseur : Docteur Armengol V.
Assesseur : Docteur Richard C.
Directeur : Docteur Gaudin A.

ADRESSE DE L'AUTEUR

8 Boulevard Jean XXIII – 44100 Nantes
garnier.jer2@gmail.com